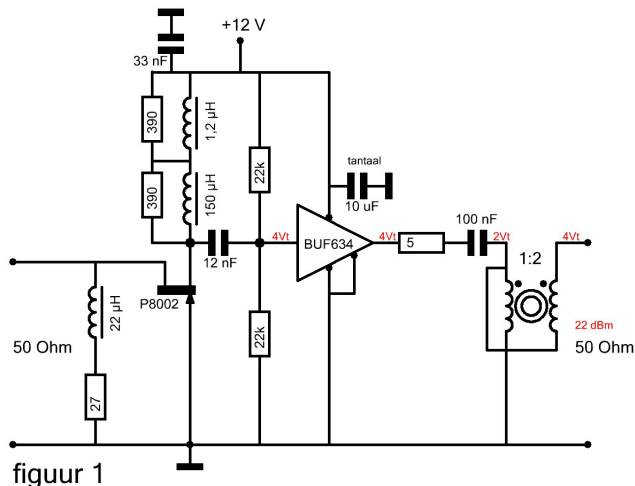


Breedband-versterker met BUF634

1. Inleiding

Indertijd heeft [N6RY] een schitterende breedband-versterker gepubliceerd die al heel lang in het front end van mijn transceiver zit. Met een ruisgetal van 3,8 dB en een $IP_{3,in}$ van 15,4 dBm wordt een dynamisch bereik beloofd van 106,4 dB (ik kom in mijn berekening niet verder dan 100 dB!) bij een versterking van 6,3 keer (16 dB). Wat wil een mens nog meer? Na het bouwen van een post mixer versterker met een FET in geaarde gate-schakeling (tussen DBM en KVG-filter, ook op deze website) en het ontdekken van de BUF634, becroop mij het gevoel dat de combinatie van die twee beter uit zou kunnen



figuur 1

pakken dan de N6RY-versterker. Het schema staat in figuur 1. Ik had nog een paar P8002's liggen, dus ben ik daar mee aan de slag gegaan. In het verhaal van de post mixer versterker behandel ik ook andere FETs. De post mixer versterker gaf een ruisgetal van 2 dB en een versterking van 10 keer (20 dB) naast de filter-frequentie, domweg doordat de drain-weerstand $500 \Omega (= 10 \times 50 \Omega)$ was. Voor 50Ω zou je natuurlijk een 1:3-trafootje kunnen gebruiken achter een $R_d = 450 \Omega$ maar dan is de versterking nog maar 3 keer. Dat schiet niet op. Een emittervolger er achter kan alleen als je tegenkoppeling toepast (zie N6RY). Een kale emittervolger is niet goed genoeg! Zou de BUF634

wel voldoen? Diens ingangs- en bedradings-capaciteit moeten natuurlijk gecompenseerd worden, maar zou het grootsignaalgedrag goed genoeg zijn?

2. Eerste experimenten

Mijn PSM-5, een tracking generator van Wandel und Goltermann (uit de 'Belgische ontwikkelingssamenwerking', zoals Dick PAoSE het noemt) komt bij dit soort projecten zeer goed van pas. Ik heb daar van Marten Dijkstra indertijd ook een meetbrug bij gekregen waarmee zeer nauwkeurig impedanties gemeten kunnen worden.

De ingangsimpedantie was snel gemeten. Die is op een haar na 50Ω (60 dB reflectie-demping!). Zonder uitgangstrafootje (dus aan de open uitgang van de BUF634) was de versterking 8,6 keer (18,7 dB). De maximale uitgangsspanning is daarbij $8 V_{tt}$ (+22 dBm).

Van een 12 mm ringkerntje een 1:2-trafootje gemaakt (5 windingen, 0,4 mm wikkeldraad bifilair) en de uitgangsimpedantie daarvan achter de BUF634 gemeten. Er bleek primair 5Ω mee in serie te moeten voor een goede aanpassing. Blijkbaar is de uitgangsimpedantie van de BUF634 inderdaad zo'n 7Ω . Immers: $(5 + 7) \times 4 = 50 \Omega$.

2.1. De gehele schakeling

Ik hoopte dat de trafo er voor zou zorgen dat de versterker belast met 50Ω dezelfde getallen zou geven als met de onbelaste BUF634. Dat is inderdaad het geval!

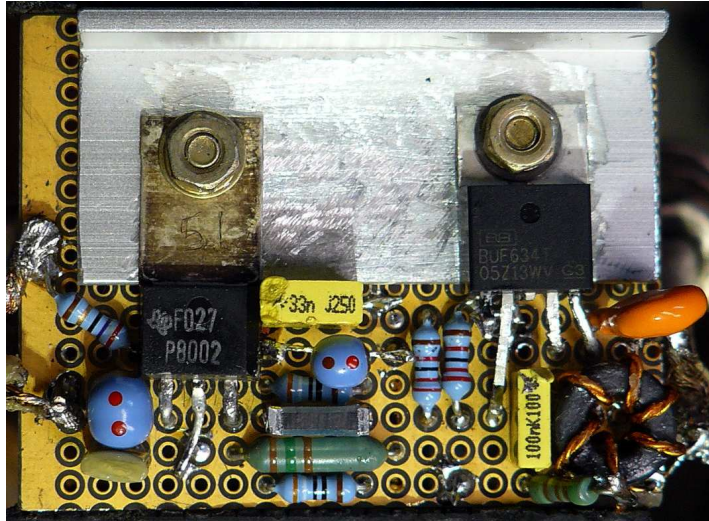
Om de frequentie-karakteristiek vlak te laten lopen van 1 - 33 MHz, moest de bovenste spoel in de drain $1,2 \mu H$ worden! Dit is dezelfde truc die N6RY uithaalde om de parasitaire capaciteiten van zijn emitter-volger te compenseren. De freq. kar is binnen 3 dB vlak van 0,5 - 36 MHz en binnen 1 dB van 1 - 21,3 MHz. De totale versterking blijkt 8,3 keer (18,4 dB) en het maximale uitgangsvermogen is $2,8 V = +22 \text{ dBm}$!

2.2. De voedingsspanning

De tot nog toe vermelde getallen zijn gevonden bij een voedingsspanning van 12 volt. Het is te verwachten dat bij hogere voedingsspanningen de maximale uitgangsspanning ook groter zal zijn. Dat gaat echter minder hard: vergeet de serieweerstand van 5Ω niet voor de juiste aanpassing! Bij 20 volt is de maximale uitgangsspanning een kleine $13 V_{tt}$. Dat is $4,62 V_{eff}$ (26,5 dBm). Je zult het maar nodig hebben...

2.3. Dissipatie

Als ik het mij goed herinner, loopt er in de N6RY-versterker zo'n 65 mA bij 12 V. Vooral de emittervolger wordt nogal heet met zijn 35 mA. Het zonder koelvinnetjes in een doosje bouwen, heb ik altijd griezelig gevonden. Bij deze versterker loopt er door de FET iets meer dan 30 mA en door de BUF634 maximaal 12 mA in rust en ook zo'n 30 mA bij voluit sturen. (Ja, het is een klasse AB-versterker!) Nou wil het geval dat de P8002 zowel als de BUF634T een TO-220-achtige behuizing hebben. Ik heb ze beiden op een stukje hoekaluminium gezet (zie foto). Ik kan met de hand nauwelijks temperatuursverhoging vaststellen. Wat dit betreft is deze versterker in ieder geval te verkiezen boven de N6RY.



3. Ruisgetal

Ik ben in het bezit van een zelfgebouwde ruisgenerator uit mijn twee-meter-tijd. Dat ding is zo'n 50 jaar oud! De gloeistroom door de ruisdiode verloopt nog al met de temperatuur van de regeltor. Wist ik toen veel.... Het is geen comfortabel meetinstrument, maar ik gebruik hem zo weinig dat ik er ook niet toe kom om het ding opnieuw te bouwen, alhoewel..... De versterker in kwestie werd domweg voor mijn transceiver (NF = 10-15 dB) gezet om met de ruisgenerator in de weer te kunnen. Het gaat er om bij welke hoeveelheid ruis aan de ingang de uitgangsruis-

spanning (van de transceiver met uitgeschakelde AVC!) 3 dB groter wordt. Daar heb je een meter voor nodig die uitslaat op de RMS (root mean square) van de uitgangsspanning. Ik heb ooit een printje van Jaap PA3CVS gekregen om daar zo'n meter mee te maken. Ik had nog een mooie draaispoelmeter met een dB-schaal liggen... Hij hoeft niet geijkt te zijn in absolute waarden. Ik kan met een potmeter de gevoeligheid instellen zodat de wijzer (zonder ruis uit de generator) op '0 dB' komt te staan. Met de ruisgenerator aan moet de uitslag 3 dB worden.

Til hier overigens niet te zwaar aan. Nu ik die meter heb, kan ik vaststellen dat de verschillen 'met een gewone buisvoltmeter' minimaal zijn, dus....

Het viel nog niet mee: op 80 meter is het ruisgetal van mijn ontvanger 9 dB. Met een 18 dB-versterker er vóór moet het toch lukken. Nou, met hangen en wurgen kwam ik bij zo'n 3 à 4 dB. Als je er aan gaat rekenen, klopt het ook wel. De ruis uit de 'achterzet' kun je toch niet helemaal verwaarlozen. Ik ga er maar van uit dat deze versterker net zo goed is als de versterker in het verhaal: 'Versterker tussen DBM en Xtal-filter' (elders op deze website). Anton ON4TI die destijds alle metingen deed op het QRL, had er ook moeite mee om een ruisgetal van 2 dB vast te stellen. Ik moet me niet verbeelden dat ik die meting thuis 'even doe'. In het vervolg van dit verhaal houd ik toch maar een ruisgetal: N = 3 dB aan. Je moet je niet rijk rekenen, toch?

3.1. Ruisgetal in dBm

Je kunt het 'overall' vinden (met de nodige fouten), maar ik zet het nog maar eens uiteen.

Als we 1 mW = 0 dBm noemen dan is de ruis alleen nog maar afhankelijk van de bandbreedte B. Uit de natuurkunde blijkt:

$$P \text{...(dBm)} = 10 \log(K_B \cdot T \cdot B \cdot 1000)$$

waarin:

K_B = de constante van Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$)

T = de absolute temperatuur in K (Kelvin)

B = de bandbreedte in Hz

De 1000, omdat we 0 dBm tov. 1 mW definiëren en niet tov. 1 watt.

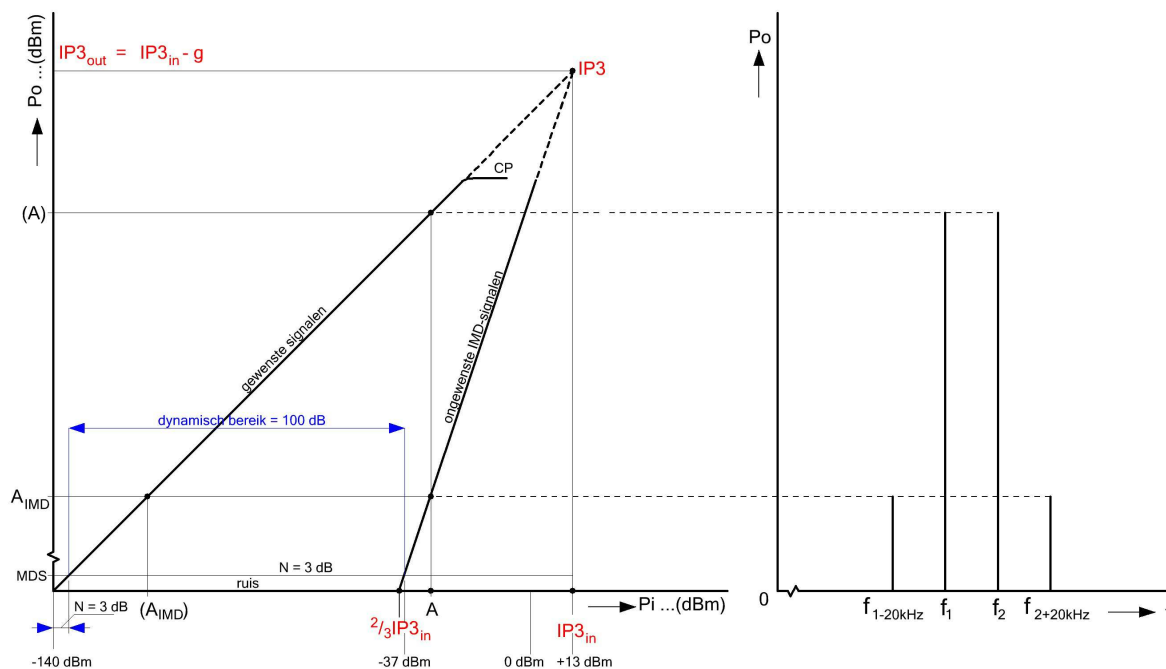
Na invullen blijkt: $P \text{...(dBm)} = -174 + 10 \cdot \log B \text{...(dBm)}$.

Bij een bandbreedte van 1 Hz ruist 'het spul' dus -174 dBm. Uit $(10 \cdot \log B)$ blijkt dat bij elke verdubbeling van de bandbreedte daar 3 dB bij komt. Bij B = 2500 Hz komt er 34 dB bij zodat de minimale (natuurlijke) ruis -140 dBm is aan de ingang van onze SSB-ontvanger. En SSB-ontvanger met een ruisgetal van 3 dB kan dus nog net een signaal van -137 dBm detecteren.

4. Dynamisch Bereik

Al weer dank zij Marten Dijkstra, ben ik in het bezit van een SG-823/URM-144 dubbel-toon-generator. Ik heb daar heftig in gemodificeerd, maar dat ter zijde.

Elders op deze site heb ik uiteengezet hoe je het dynamisch bereik kunt bepalen met een dubbeltoon generator: "Dynamic Range en zo...."



figuur 2

4.1. Rechtstreeks IP_3 bepalen

Is dit de enige manier om het IP_3 te vinden? Wat, als je geen ruisgenerator hebt en geen ontvanger met een ordentelijk dynamisch bereik? Wel, de PSM-5 heeft een ontvanger met een slecht ruisgetal en een kleine dynamiek. Die wil ik toch gebruiken voor de metingen. Een spectrum analyser is nog handiger, al haalt die ook geen bijzondere specificaties op dit punt. Als we het signaal nu eens flink opdraaien zodat A_{IMD} (zie figuur 2) zo'n slordige 30 dB boven de ruis uitkomt, dan kunnen we die aflezen op de S-meter van de ontvanger of de input-meter van de PSM-5 bij de frequenties $f_{1-20kHz}$ en $f_{2+20kHz}$. De precieze grootte is niet belangrijk als de waarde maar reproduceerbaar afgelezen kan worden (bv. S-4 op de S-meter). We lezen A af op de verzwakker van de generator (na ijken op de PSM-5!) en bepalen A_{IMD} op de frequenties f_1 en f_2 door er met de generator heen te draaien en het signaal zo veel terug te nemen tot we dezelfde uitslag krijgen als bij de intermodulatieproducten.

4.2. Meten van het IP_3

Ik heb gemeten op 80 meter. De twee frequenties zijn: $f_1 = 3,7777$ en $f_2 = 3,7977$ MHz, zodat de derde orde vervormings-signalen op $f_{1-20kHz} = 3,7577$ en $f_{2+20kHz} = 3,8177$ MHz te voorschijn zullen komen. De amplituden van f_1 en f_2 zijn gelijk. We noemden die A. Over het algemeen zullen de vervormings-signalen ook gelijk uitpakken. De amplitude daarvan noemen we steeds A_{IMD} .

Hoe groot moeten we hetingangssignaal A kiezen om een juiste uitkomst te krijgen? We weten inmiddels dat de lijn 'ongewenste IMD-signalen' in figuur 2 drie keer zo steil loopt als de lijn 'gewenste signalen'. Dat betekent dat bij het vermeerderen van de tweeingangssignalen met 1 dB, de derde orde producten met 3 dB moeten toenemen. Dat moet je bij elke meting controleren anders meet je 'wat anders' dan derde-orde-vervorming.

Nou, dat heb ik geweten!!

Met onze 18 dB-versterkende DUT direct aan de PSM-5 kwam er bij $A = -12$ tot -22 dBm iets zinnigs uit. Bij -5 dBm liep de PSM-5 vast, ook in 'Klirrmarm'-mode en bij -32 dBm zaten de derde orde producten op de PSM-5 dik in de ruis, ook in 'Rauscharm'-mode. Bij $P_i = -22$ dBm kwam IP_{3out} op $+12$ dBm uit en bij $P_i = -12$ dBm werd $IP_{3out} = +10$ dBm. Dat is aan de ingang resp. $+30$ en $+28$ dBm.

Als ik probeerde het IP_3 van de PSM-5 te meten, kwam ik dik signaal (uit de dubbeltoon-generator) te kort. De derde orde signalen verzopen in de ruis! Die generator moet nog eens onderhanden genomen worden. Toch ook nog even aan mijn transceiver gemeten. Ook daarvoor bleek de generator te weinig signaal in huis te hebben: Bij -25 dBm vond ik $IP_3 = +2,5 / +6,5$ dBm (hartstikke asymmetrische mixer ??), bij kleinere ingangssignalen werd het alleen maar beroerder en namen de derde orde pro-

ducten ook niet meer drie keer zo veel toe als hetingangssignaal. Bovendien kwamen er harde 80-meter-signalen door!! Een goede dichte opstelling blijkt toch moeilijk ondanks nette kabels met B&C-connectoren.....

5. Isolatie

Een van de fraaie eigenschappen van de N6RY-versterker is dat hij 'van achteren naar voren' meer dan 40 dB (met een maximum van 60 dB) verzwakt! Dat betekent dat je hem met een gerust hart tussen twee kringen of bandfilters kunt zetten zonder dat de zaak gaat oscilleren. In het front end van mijn transceiver zit er voor elke amateurband een 0,5 MHz breed bandfilter voor en achter de versterker. Omdat ik die unit ook gebruik bij zenden, heb ik daar meer dan 15 dB gain en dus een goede isolatie nodig. Bij onze versterker is, van 3,5 - 30 MHz, de 'achterwaartse verzwakking' >80 dB met een maximum van 113 dB bij 6,7 MHz. Ongelooflijk! De BUF634 blijkt dus 'een echte buffer'.

6. Resumerend

De combinatie FET-in-geaarde-gate schakeling met een BUF634 is een goede. Met hangen en wurgen heb ik het ruisgetal en het IP3 kunnen vaststellen, en ik ben er niet zeker van of ik het ding niet te kort doe!

In ieder geval zijn bij een voedingsspanning van 12 volt:

$IP3_{in} = +29$ dBm,

$N = 3$ dB (= -137 dBm), en dus:

$Dr = \frac{2}{3} (+29 + 137) = 110$ dB,

gain = 18,4 dB,

reverse gain = <-80 dB,

P out max = 22 dBm bij 12 volt en 26,5 dBm bij 18 volt.

7. Litteratuur

Dynamic range en zo....., elders op deze website.

[N6RY] Showdown - FET vs. Bipolar in QST van januari 1979 blz. 36 ev.

FET contra bipolaire transistor, Reflecties door PA0SE, Electron September 1979.

De N6RY – breedbandversterker en zijn mogelijkheden: een nieuw front-end, PA0SU, Electron Augustus 1981.