

De 23cm transverterkit MKU 13G2B

Bart van Ewijk PE1PFW en Hans Wagemans ON4CDU,
on4cdu@uba.be

Inleiding

De smalbandactiviteit op 23cm is geconcentreerd tussen 1296 en 1298 MHz. Het aanbod van kant-en-klare transceivers voor deze laagste microgolfband is beperkt. Daarom kiezen veel amateurs die met SSB of CW actief willen worden ervoor een transverter achter een 10m, 2m of 70cm-transceiver te plaatsen.

In het nog niet zo verre verleden werden transverters vaak zelf ontworpen en gebouwd. Dit vergt nogal wat inspanning, zeker als je tot een compact apparaat wilt komen.

Complete transverters kun je kopen, soms ook in bouwdoosvorm of in delen (bijvoorbeeld alleen de printen). De keuze viel op een kit voor een 2m naar 23cm transverter, de MKU 13G2B van Kuhne electronic GmbH (DB6NT) [1]. De kwaliteit van de transverters van deze firma is door de jaren heen wel bewezen. Een bouwdoos kost ongeveer 200 euro, en wie deze zelf niet in elkaar wil zetten kan tegen meerprijs ook een gebouwde versie kopen.

Deze transverter is nog niet zo lang beschikbaar en is de opvolger van de MKU 13G2. De opvolging was noodzakelijk omdat het in de MKU13G2 gebruikte powermoduul (M67715) niet meer leverbaar is. De 23cm-transverter is ook beschikbaar voor een IF van 28-30 MHz.

De opzet

De opzet van de transverter is klassiek. Bij een middenfrequentie van 144-146 MHz wordt in 23cm-transverters meestal 1152 MHz als oscillatorfrequentie gekozen. Dat is in deze transverter ook het geval, en deze frequentie wordt opgewekt door vermenigvuldiging van 96 MHz uit een kristaloscillator. De ingangstrap (LNA) van de ontvanger bevat een MGF4918D. Hiermee wordt een goede ontvangstgevoeligheid bereikt. De eindversterker van de transverter bevat een moderne power-MMIC, de AH102A. Het uitgangsvermogen van de vernieuwde transverter is ruim 400 mW en dus wel minder dan dat van zijn voorganger. Het is echter ruim voldoende om meerdere Mitsubishi RA18H1213G modules aan te sturen. De gebruikte mixer is een ADE-5, die gespecificeerd is voor een LO-sigitaal van +7 dBm. Bij metingen aan de transverter bleek echter dat het vermogen van het oscillatorsigitaal slechts +4 dBm bedraagt. Hierdoor zullen de ei-

genschappen van de mixer waarschijnlijk niet optimaal zijn. Met potmetertjes zijn de doorgangsversterking en het gewenste aanstuurvermogen van de 2m-transceiver instelbaar. De voedingsspanning van de transverter bedraagt 12 V. Met een extern signaal of met 12 V op de middenfrequentiekabel wordt de transverter van ontvangen naar zenden geschakeld.

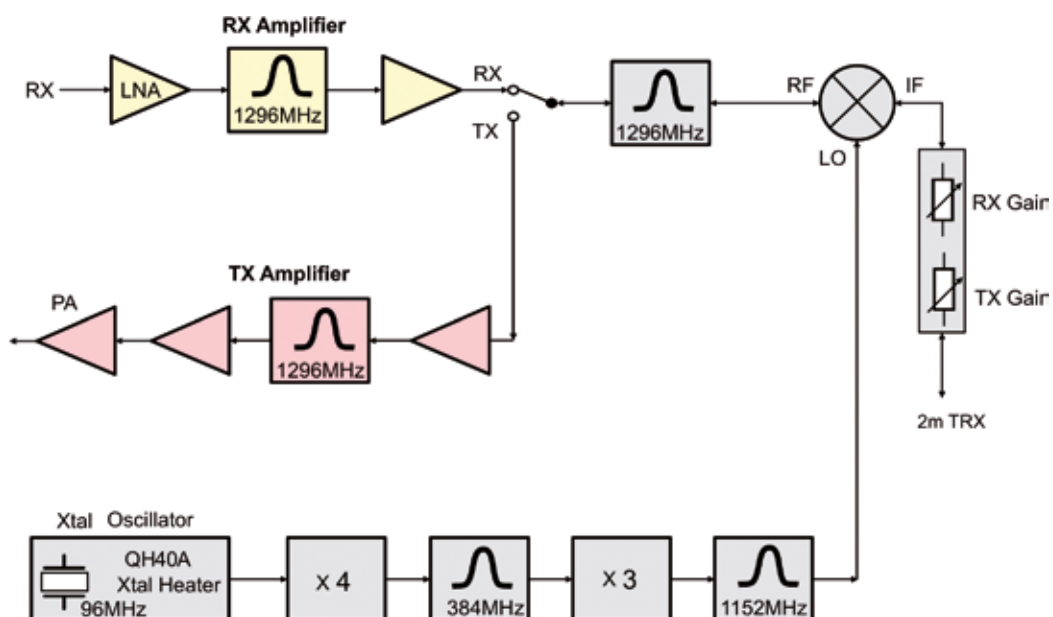
De documentatie van de transverter is beschikbaar op [2].

De bouw

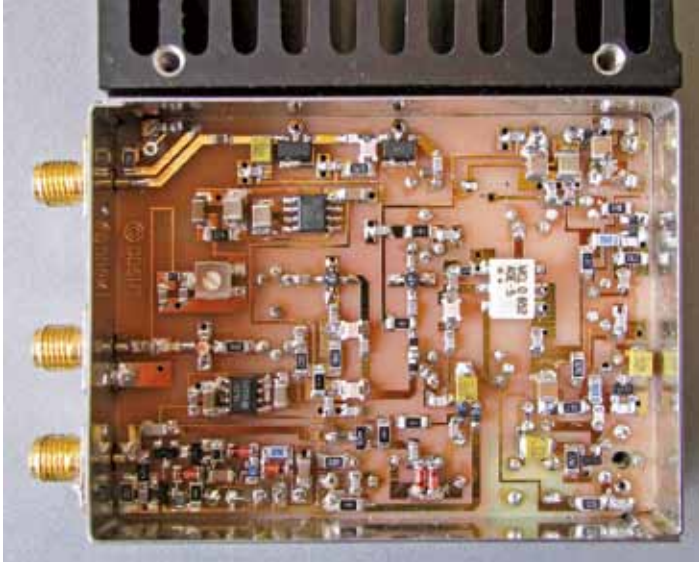
Het bouwpakket bestaat uit twee plastic dozen met componenten, een printje, een handleiding (Engels en Duits) en wat blik en koel-



De inhoud van het bouwpakket



Blokschema van de transverter



De gemonteerde kit: soldeerzijde met de SMD-componenten



De gemonteerde kit: de bovenzijde



De gemonteerde kit: gesloten behuizing

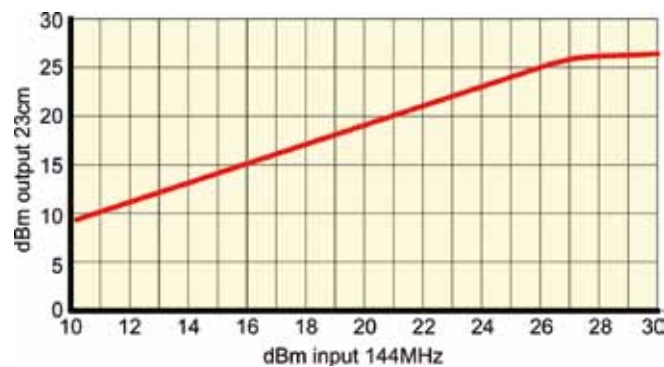
materialen. Het printje heeft afmetingen van ongeveer 72×53 mm en is verguld. Hierop worden alle componenten gesoldeerd. Aan de bovenzijde komen de spoeltjes, spanningsregulators etc., en aan de soldeerzijde de SMD-componenten. Het is een kwestie van de handleiding volgen, en na een dag intensief solderen zitten alle componenten op hun plaats. De mechanische delen, het blikwerk en de koelplaat, worden dan nauwkeurig rond de printplaat gemonteerd. Al met al moet het soldeerwerk en het mechanische werk met de nodige precisie worden gedaan. De weerstanden en condensatoren zijn SMD en hebben de afmetingen 1206 en 0805. Ervaring in het solderen van SMD-componenten met deze afmetingen is noodzakelijk om de bouw van de kit tot een goed einde te brengen. Het afregelen van de kit is uitgebreid in de handleiding beschreven en zal voor de meeste amateurs geen obstakel vormen. De afregeling gebeurt met een 2m-achterzet en een universeelmeter; er is dus geen 'ingewikkelde' afregelapparatuur vereist.

Metingen

Met professionele apparatuur zijn aan de kit enkele metingen verricht. De afregeling van de transverter is hierbij gehouden zoals deze met de handleiding is verkregen, en is dus niet geoptimaliseerd tijdens de metingen.

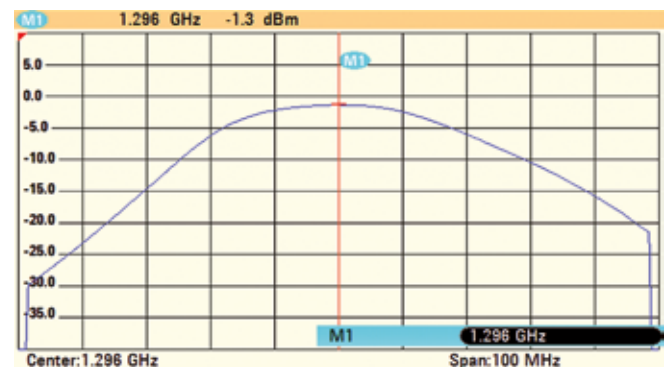
De zender

Aan de transverter wordt een 2m-sigitaal toegevoerd. In de standaarduitvoering is het benodigde vermogen om de transverter volledig uit te sturen instelbaar tussen 0,5 en 3 W. Indien gewenst kan door een simpele modificatie dit nog verder aangepast worden.



Het uitgangsvermogen van de transverter als functie van het ingangsvermogen

We zien dat bij een uitgangsvermogen van ruim 400 mW (26 dBm) verzadiging optreedt. Opmerkelijk is dat de door de transverter opgenomen stroom zonder uitsturing 380 mA bedraagt en iets afneemt bij volle uitsturing. Dit gedrag is het gevolg van het gebruik van een power-MMIC in de eindtrap. De 6dB-doorlaatbreedte van de zender bedraagt zo'n 40 MHz.



De doorlaatcurve van de zender

Ongewenste signalen

Er zijn metingen verricht aan spiegel- en harmonischenonderdrukking. De transverter werd aangestuurd met een 144 MHz CW-sigitaal en leverde op 1296 MHz een vermogen van 20 dBm. De belangrijkste ongewenste producten zijn in de volgende tabel samengevat.

Spiegelonderdrukking (1008 MHz)	>70 dB
Tweede harmonische onderdrukking (2592 MHz)	23 dB
Derde harmonische onderdrukking (3888 MHz)	25 dB
LO-onderdrukking (1152 MHz)	48 dB
Negende harmonische onderdrukking van 144 MHz	>70 dB

De onderdrukking van de negende harmonische van de aanstuurfrequentie 144 MHz is bij zelfbouwtransverters vaak onvoldoende. Bij deze transverter is door de toepassing van een dubbelgebalanceerde mixer een goed resultaat bereikt. De onderdrukking neemt echter snel af als de mixer met teveel vermogen wordt aangestuurd.

Intermodulatiemetingen

Aangezien het signaal van onze 2m-zender niet een enkele draaggolf is (behalve bij CW) maar een gemoduleerd SSB-sigitaal, is het interessant te weten hoe goed dit signaal wordt omgezet naar de 23cm-band. Dit wordt gemeten door niet één maar twee frequenties tegelijkertijd aan de transverter aan te bieden. Door te meten hoe sterk de mengsignalen zijn die de transverter produceert is af te leiden hoe goed ons SSB-sigitaal wordt omgezet. Het IP3 ('third order intercept point') gedrag van de zender is gemeten door aan de ingang van de transverter twee signalen op een afstand van 2 MHz (te weten 143 en 145 MHz) toe te voeren. Bij de IP3 meting speelt in dit geval

de afstand tussen de draaggolven geen rol omdat de versterkers in klasse A staan.

Op de afbeelding van hetingangssigitaal zijn geen mengproducten te zien. Op de afbeelding van het uitgangssigitaal zien we duidelijk twee mengproducten, links en rechts naast de meetsignalen. De frequentie van deze mengproducten is eenvoudig te bepalen. Het zijn derdeorderproducten, wat wil zeggen dat in de formule driemaal een frequentie voorkomt (dat hoeven geen drie verschillende te zijn). De interessantste combinaties zijn $2 \times F1 - F2$ en $2 \times F2 - F1$. Deze liggen het dichtst bij de gewenste signalen F1 en F2.

IP3 is een denkbeeldig punt waar de mengproducten net zo sterk zijn als de gewenste frequenties F1 en F2. Door de manier waarop derdeorderproducten ontstaan, wordt het vermogen in deze producten sneller groter dan de gewenste signalen. De gewenste frequenties F1 en F2 volgen de normale versterking van 1 dB/dB. De mengproducten volgen echter 3 dB/dB. Het amplitudeverschil tussen de mengproducten en de gewenste signalen verloopt dus met 2dB/dB. Er is dus een ingangsvermogen waarbij deze mengproducten net zo sterk zijn als F1 en F2.

IP3 is gemeten bij een uitgangsvermogen van ongeveer 18 dBm en 23 dBm. Bij 18 dBm uitgangsvermogen bedroeg het IP3 38 dBm, en bij ca. 23 dBm uitgangsvermogen was dat ruim 35 dBm.

Dit is uit te rekenen door bij een bepaald ingangsvermogen het uitgangsspectrum te bekijken en het amplitudeverschil tussen de gewenste signalen en de mengproducten te meten.

De meting is gedaan met een 22dB-verzwakker tussen transverter en analyser. Uit de afbeeldingen is af te lezen dat na de verzwakker F1 en F2 ieder $-1,8$ dBm zijn; ervoor zijn ze dus 20,2 dBm. (Het totale gemiddelde vermogen is op dat moment 23,2 dBm; het PEP-vermogen 26,2 dBm, dus ruim 400 mW.)

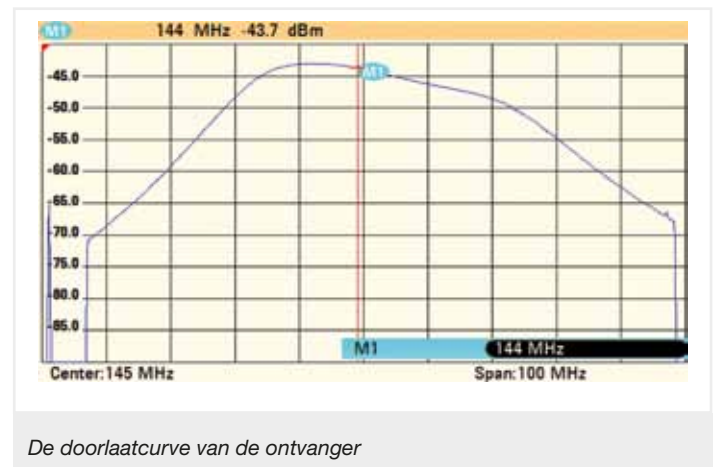
De mengproducten zijn 30,2 dB zwakker. Zouden we nu de niveaus van F1 en F2 kunnen verhogen totdat de mengproducten even sterk zijn geworden als deze F1 en F2, dan zou dat bij een $(30,2)/2 = 15,1$ dB hoger vermogen zijn, dus bij 35,3 dBm.

Dit getal is het IP3. In werkelijkheid zou de versterker natuurlijk meteen gaan begrenzen.

De ontvanger

De ontvanger van de transverter heeft een gemeten maximale doorgangsversterking van ongeveer 20 dB en een ruisgetal van 0,75 dB. Als de transverter dicht bij de antenne gemonteerd wordt, is door dit goede ruisgetal geen extra voorversterker nodig. De 20 dB doorgangsversterking is ruim voldoende om de kabelverliezen naar de transverter te compenseren.

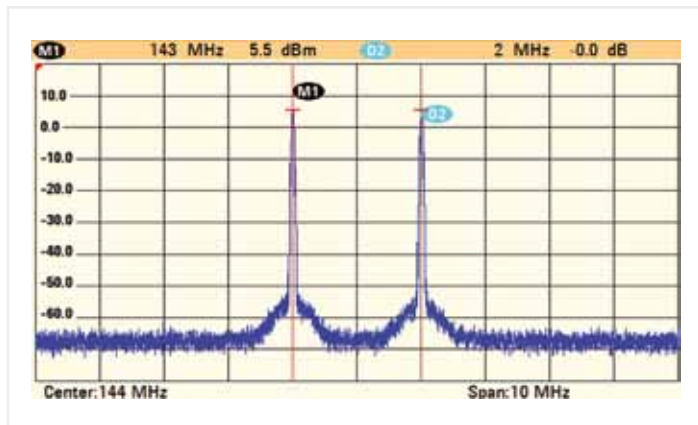
De 6dB-MF-doorlaatcurve loopt van 123 tot 169 MHz en bedraagt dus zo'n 46 MHz.



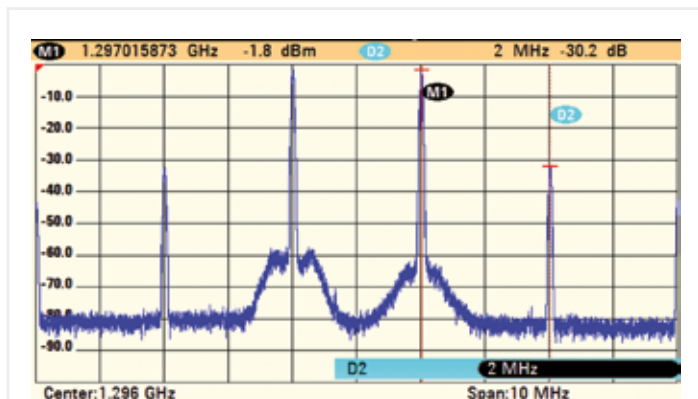
De doorlaatcurve van de ontvanger

Intermodulatiemetingen

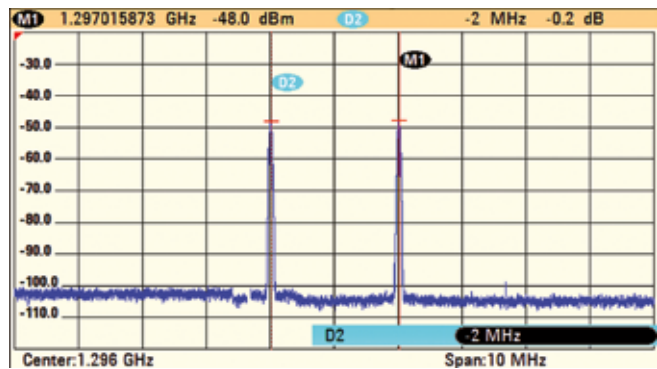
Ook aan de ontvanger kunnen we het IP3 meten. Dit wordt meestal voor de ingang bepaald. Gemeten wordt aan de uitgang, dus is het zaak de resultaten met de versterking van de transverter te corrigeren. Bij een ontvanger is het IP3 belangrijk. Het is duidelijk dat aan de ingang van de ontvanger meer signalen binnenkomen dan we willen ontvangen. Helaas (!) is het op 23cm niet zo druk als op de 40m-band, en de signalen zijn meestal ook zwakker. Wel is het aardig de stand van de techniek eens aan een moderne transverter te meten.



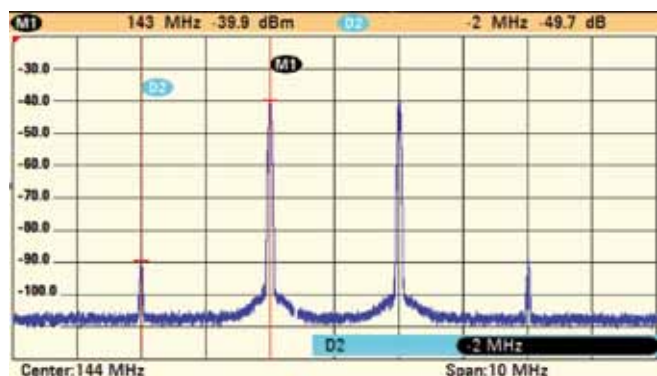
Intermodulatiemetingen aan de zender: ingangssigitaal



Intermodulatiemetingen aan de zender: uitgangssigitaal met IM3



Signaal aan de ingang



Signaal met IM3 aan de uitgang

Het intermodulatiegedrag is gemeten door twee signalen aan de ingang toe te voeren: 1295 en 1297 MHz. Het in- en uitgangssignaal zijn hierbij afgebeeld.

Het uitgangs-IP3 berekenen we als volgt: $-39,9 + (49,7)/2 = -15,05$ dBm. Omdat de doorgangsversterking 20 dB bedraagt, komt dat overeen met een IIP3 ('third order input intercept point') van $-35,05$ dBm.

De vraag is of dat goed, matig of zelfs slecht is. Om deze vraag te beantwoorden is het belangrijk eerst het begrip Spur Free Dynamic Range (SFDR) in te voeren. Dit begrip zegt zoveel als het dynamisch bereik van de ontvanger als spurious de begrenzendende factor is. De twee grenzen aan dit bereik zijn aan de onderkant de eigen ruis van de ontvanger (NF) en aan de bovenkant het spuriousvrije gewenste signaal.

Nu moet je bij ruis en vermogen een bandbreedte aangeven. Meestal wordt SFDR voor CW berekend en een bandbreedte van 500 Hz aangenomen. Het gemeten ruisgetal van de transverter is 0,75 dB. De thermische ruis in 500 Hz is dan: $10\log(kTB) + 30 + 0,75$ dBm. Dit geeft, bij een T van 15 °C, een ruisvermogen in deze 500 Hz bandbreedte van: $-174 + 27 + 0,75 = -146,25$ dBm.

We kunnen nu uitrekenen hoe sterk het gewenste signaal maximaal mag zijn terwijl het spurious signaal net niet boven de ruis uitkomt. De afstand tussen ruisvloer en IP3 is hier $-35,05 - (-146,25) = 111,2$ dB. We weten uit de metingen van de zender dat de mengsignalen drie keer zo snel aangroeien als de ingangssignalen, dus moet dit bereik door drie gedeeld worden: $(111,2)/3 = 37,07$ dB. We weten nu dat we ten minste zo ver onder het input intercept point moeten blijven om de spurious signalen niet sterker te laten worden dan de ruis. Als we geen extra voorversterking voor de transverter gebruiken, is bij $-35,05 - 37,07 \approx -72$ dBm dit punt bereikt.

Boven 30 MHz heeft de IARU S9 gedefinieerd als -93 dBm. Dus eerst bij signalen boven S9 + 21 dB zijn spurious signalen hoorbaar.

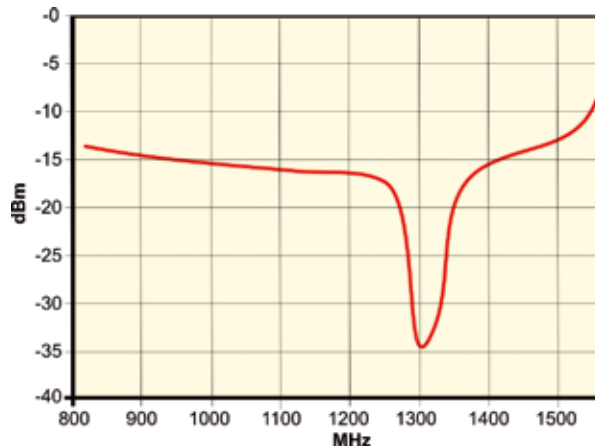
Een prima resultaat, want het is maar de vraag of de 2m-achterzet-transceiver ook zulke goede eigenschappen heeft.

Blokkingseffecten

Een niet onbelangrijke eigenschap van de ontvanger is de beïnvloeding van de ontvangst door signalen die dicht bij onze band liggen. Voor de

23cm-band zijn signalen uit de 900 MHz GSM-band en van L-band radars voor de meesten onder ons de belangrijkste stoorbronnen.

Er zijn wat metingen verricht aan de transverter door op 1296 MHz naar een bakensignaal te luisteren en het 1dB-compressiepunt te meten. Een bakensignaal op 1296 MHz werd aangeboden aan de transverter via een coupler. De sterkte van het ontvangen signaal was ca. S5. Aan de transverter werd ook een signaal van 800 tot 1600 MHz uit een generator toegevoerd. Gemeten werd bij welk toegevoerd vermogen van deze signaalgenerator het bakensignaal 1 dB zwakker werd.



1dB-compressiemetingen aan de ontvanger

In de grafiek is de horizontale as de frequentie van de signaalgenerator. De verticale as is het toegevoerde vermogen aan de ingang van de transverter.

Bij 1 dB compressie hoor je dat er iets 'stoort', het ontvangen signaal wordt zwakker, maar dat heeft verder weinig consequenties. Bij 1 dB compressie begint er in de ontvanger iets vast te lopen. Als het stoorsignaal sterker wordt zullen er echter ook snel hoorbare intermodulatieproducten ontstaan.

Uit de meting kun je ook conclusies trekken:

- Het uitgangs-1dB-compressiepunt van de ingangstrap ligt bij dit type FETs op ongeveer 0 dBm. Dit blijkt ook uit de meting als we uitgaan van een versterking van zo'n 15 dB. Indien we op bijvoorbeeld de 900 MHz GSM-band een beter gedrag van de transverter willen, dan zullen we of een filter ervoor moeten plaatsen om de GSM-signalen te verzwakken, of een ingangstrap moeten maken die beter bestand is tegen deze sterke signalen.

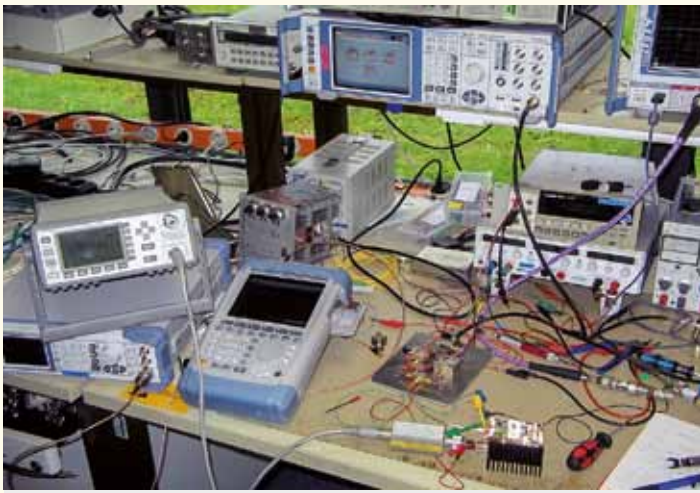
- Als we binnen de doorlaat komen dan is waarschijnlijk de mixer de beperkende factor (volgens de specificaties ligt het ingangs-1dB-compressiepunt voor de mixer ADE-5 bij +1 dBm). Nu wordt de mixer echter niet met +7 maar met +4 dBm aangestuurd, dus mogelijk wordt het 1dB-compressiepunt al bij een iets lagere waarde bereikt. De conclusie is dat indien we binnen de doorlaatband een beter resultaat willen bereiken, dit niet meer haalbaar is met een (scherp) filter, maar alleen met een betere (high-level) mixer.

Frequentiestabiliteit

De frequentie-opwekking in de transverter wordt gestuurd door een 96MHz-kristaloscillator. Dit kristal is op een keramisch substraat gemonteerd dat met een IC op een temperatuur van 40 °C wordt gehouden. Bij het inschakelen van de transverter zal dus wel wat frequentieverloop optreden. Na ongeveer vijftien minuten is echter geen drift meer merkbaar. Uiteraard is een fraaiere oplossing de transverter aan een (10MHz-)referentie te locken. De transverter is daar niet voor uitgerust, maar op diverse websites staan daarvoor oplossingen; bijvoorbeeld op [3].

Conclusie

De specificaties opgegeven door Kuhne GmbH worden door metingen bevestigd. De transverter is modern van opzet, klein, en voldoet prima aan onze wensen. De kit wordt geleverd met een voor ervaren



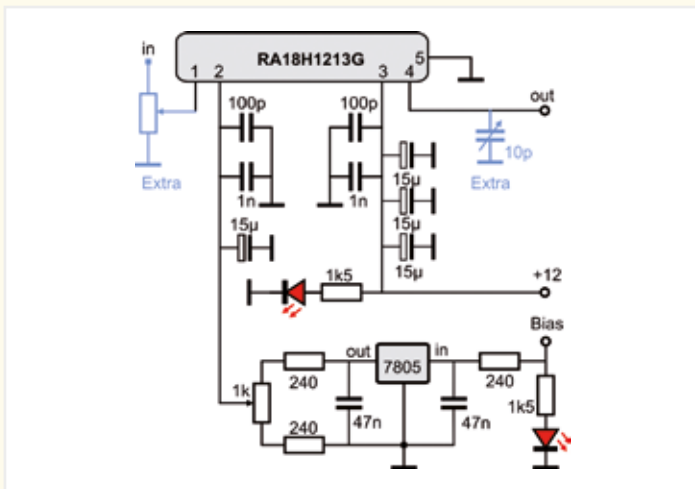
De meetopstelling

amateurs goede handleiding en de afregelprocedure was verrassend eenvoudig.

Als we met de kale transverter operationeel willen worden is een laag-doorlaatfilter in de zendtak noodzakelijk om aan de wettelijke eisen betreffende harmonischenonderdrukking te voldoen. Een (selectieve) eindtrap kan deze taak ook vervullen.

Een eenvoudig 23cm-station

Met een 'kale' transverter op 23cm actief te worden is niet erg effectief. De ontvangstprestaties zijn prima, maar meer zendvermogen is noodzakelijk. De transverter levert ruim 400 mW uitgangsvermogen, en hiermee zijn bijvoorbeeld vier stuks RA18H1213G aan te sturen.



Aansluitschema voor RA18H1213G



Opbouw van de eindtrap

Om te beginnen is één zo'n module al interessant en ook eenvoudig te realiseren. Met 12 V voedingsspanning kan dan zo'n 20 W uitgangsvermogen worden gemaakt. Met een printje van PE1RKI [4] is het wel heel eenvoudig de module aan de praat te krijgen. Goede koeling van de module is wel noodzakelijk, want het rendement ervan is vrij laag. Met een verzwakker aan de ingang van de RA18H1213G zorgen we dat deze niet overstuurd wordt. Aan de uitgang is ook nog een 10pF-trimmer toegevoegd om het uitgangsvermogen te optimaliseren.

Om het geheel te completeren is nog een sequencer en een antennere-lais nodig. Alles in een kast bouwen en bij voorkeur vlakbij de antenne monteren zijn dan de laatste stappen die nodig zijn om op 23cm actief te worden.



Ingebouwd in een Schyller 93244 montagekast met afmetingen van 150 × 220 × 75 mm



Klaar om in de mast gemonteerd te worden

Referenties

- [1] <http://www.kuhne-electronic.de/en/products/transverter/kit-13-ghz-13g2b.html>
- [2] <http://www.kuhne-electronic.de/fileadmin/userfiles/pdf/kit-handbuecher/transverter/1-3ghz/13G2B-Kit-144-Handbuch.pdf>
- [3] <http://pe9ghz.org/cmsms/index.php?page=lo-locking>
- [4] <http://members.chello.nl/b.modderman/>