

Technische Notities van PA0EZ

Heel korte golflengten

We hebben allemaal de nieuwe versie van de machtigingsvoorwaarden gekregen en de meesten van u zullen het papier na een vluchtige blik snel hebben opgeborgen. Maar wie nauwkeuriger keek zal gezien hebben dat er boven 70 GHz van alles is veranderd. Dit is het gevolg van beslissingen van WRC 2000. Die veranderingen zijn voornamelijk gebeurd om de radio-astronomen ter wille te zijn. Op die hoge frequenties zijn er onnoemelijk veel interessante spectraallijnen te vinden. Maar er was ook een aantal amateurbanden. Zelf heb ik ook aan de voorbereiding van de 'refarming' namens de IARU meegedaan. Met die radio-astronomen is het prima samenwerken. Eigenlijk zijn het ook amateurs want hun werk levert geen geld op. Alleen geven de regeringen grote subsidies en zij moeten dat geld wel 'waar maken'. Wat is er nu veranderd?

1. De 76 GHz band

Segment	Oud	Nieuw
75,5 - 76 GHz	Exclusief	Secundair tot 2006
76 - 77,5 GHz	Secundair	Secundair
77,5 - 78 GHz	Secundair	Exclusief
78 - 81 GHz	Secundair	Secundair

Voorlopig houden we wat we hadden, maar vanaf het jaar 2006 hebben we hier 500 MHz secundair minder. Maar dat is elders meer dan gecompenseerd. Wel zullen de amateuractiviteiten bij voorkeur 2 GHz naar boven moeten schuiven.

2. De 122 GHz band

Segment	Oud	Nieuw
119,98 - 120,02 GHz		Secundair
122,25 - 123 GHz		Secundair

Dit bandje is de afgelopen jaren in de ITU tabel verschenen. Het ligt vlak bij een voor astronomen en meteorologen erg interessant gebied. Daarom moesten de amateurs wat opschuiven en dat leverde tegelijk 710 MHz extra op wat het verlies bij 75 GHz goed compenseert. Doordat deze toewijzing in sommige landen nog niet in de amateurvergunning staat (in NL ook maar sinds kort) is er nog geen activiteit in Europa gemeld, maar dat zal wel komen.

3. De 137 GHz band

Segment	Oud	Nieuw
134 - 136 GHz	Primair	
136 - 141 GHz	Secundair	
142 - 144 GHz		Primair
144 - 149 GHz		Secundair

Het totaal is hier niet veranderd maar de band is 8 GHz naar beneden geschoven en voor de (weinig) stations die hier-

voor spullen hebben gebouwd is er om-bouwwerk aan de winkel. Helaas liggen de nieuwe 122 GHz band en de nieuwe 137 GHz band vrij dicht bij elkaar, maar het schijnt dat de atmosfeer zich op beide banden heel anders gedraagt.

4. De 250 GHz band

De toewijzing was en blijft 241 - 248 GHz secundair en 249 - 250 GHz exclusief.

Nog hoger

De komende WRC's zullen zich ook bezig gaan houden met de indeling tot 1000 GHz = 1 terahertz. De ARRL heeft hier alvast (via een USA discussiedocument) voor de amateurdienst segmenten geclaimd. Zoals u in figuur 1 kunt zien komen we in het sub-millimetergebied terecht. Zelf heb ik de indruk dat op korte termijn deze korte golflengten niet veel amateurbelangstelling zullen trekken. Want een 'klein' beetje hoger komen we bij de lichtgolven. De laatste tijd is er ook steeds meer te lezen over amateurverbindingen zo rond 400000 GHz (400 THz). Inderdaad dat zijn de frequenties van het licht. Lasers en fotodetectoren komen langzamerhand binnen amateurbereik. Hier is niet zozeer de radiotechniek (of lichttechniek) de uitdaging, maar het richten van de bundel naar het tegenstation. Overigens heb ik heel lang geleden al over experimenten gelezen waarbij als bron een gewone gloeilamp werd gebruikt die werd gemoduleerd met een signaal op enkele 10-tallen kHz. De modulatie diepte schijnt bij verschillende lampen nog redelijk te zijn bij modulatiefrequenties in het kHz gebied. Ook wie geen vermogenslasers heeft kan dus experimenten met gemoduleerde lichtsignalen uitvoeren. In figuur 1 kunt u zien dat er voorlopig nog heel wat frequenties 'braak' liggen voor onze experimenten.

Velen van u zullen denken 'ze doen maar', want iets maken voor die erg korte golflengten lijkt erg moeilijk. Ik moet toegeven dat het niets voor de beginner is. Maar spullen maken voor deze banden is wel het meest uitdagende deel van onze hobby. Het is allemaal pionieren in onbekend gebied en met wat 10 GHz bouwervaring is het best te doen.

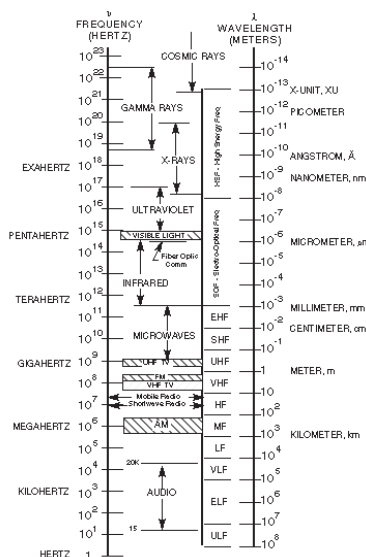
Een van die pioniers in ons land is Hans van Alphen, PA0EHG. Wie VHF-conferenties bezoekt heeft al fraaie spullen van hem kunnen zien. Maar voor wie daar niet was beschrijft EHG in de volgende bijdrage hoe hij op 47 en 76 GHz QRV is.

PA0EHG op de millimeterbanden

Nadat ik enkele jaren QRV was op 10 GHz en 24 GHz volgde eigenlijk vanzelf een stap naar de nog hogere frequenties in de millimeterbanden. In die tijd, rond 1987, waren er nog geen echt goede ontwerpen die nagebouwd konden worden. Met hulp van een 1N53, een kleine coaxiale mengdiode, werd een subharmonischmixer gebouwd welke tevens dienst kon doen als verdubbelaar en dus als zender. Door twee van deze subharmonischmixers te bouwen en daarbij de locale oscillatorfrequenties zodanig te kiezen dat er 144 MHz tussen zat kon een systeem gerealiseerd worden waarmee een verbinding gemaakt kon worden. Het principe lijkt op het oude systeem bij 10 GHz Gunnplexers met 100 MHz middenfrequentie. Beide stations horen elkaar op dezelfde middenfrequentie. Doordat de oscillators kristalgestuurd waren kon uiteraard een hoge frequentiestabiliteit gemaakt worden en er dus met smalband gewerkt worden. Met een SSB-ontvanger werden de draaggolven door het aan- en uitzetten van de LO-gedetecteerd.

Uitgaande van deze simpele opzet werd op 8 maart 1992 de eerste verbinding in Nederland op 47 GHz gemaakt. Een van mijn stations werd uitgeleend aan PA0PLY die op de schoorsteen van de centrale in Diemen stond tijdens een contest, terwijl het andere door mijzelf werd bediend vanuit Almere. De eerste verbinding was een feit, waarvoor ik enige tijd later werd uitgeroepen tot Amateur van het jaar 1991 wat wel een heel bijzondere stimulans gaf voor verdere experimenten. Op 4 juli 1992 werd met deze opzet de eerste verbinding gemaakt tussen DL en PA door een verbinding met DCODA/p waarbij DCODA zijn eigen station gebruikte gebaseerd op een ontwerp van DB6NT.

In de jaren daarna heb ik een aantal keren deelgenomen aan de Microwave Activity Week in Denemarken waar op 47 GHz een verbinding met DB6NT over ca. 40 km gemaakt werd met deze spullen. Michael DB6NT had in die jaren al vele ontwerpen gemaakt voor de micro-



Figuur 1. Het EM-spectrum van 1 hertz naar boven (10 GHz = 10¹⁰ hertz)

golfbanden en had ook voor 47 GHz en 76 GHz ontwerpen gemaakt. Vergelijking tussen de stations van hem en mij gaven een duidelijk betere werking van zijn systeem te zien en dus werd besloten dit ontwerp ook te bouwen. Verder was natuurlijk ook de wens om meer zendvermogen te hebben en liefst ook met SSB. Na mijn eerste deelname aan de Microwave Activity Week in Denemarken werd ik ook gestimuleerd om voor 76 GHz spullen te bouwen. In de daarop volgende winter werd een zender gebouwd voor 76 GHz en een DB6NT transverter mark 1 gebouwd. Deze transverter heeft een beamlead diode als mixer die tegelijk als verviervoudiger werkt. Met een uiterst minimaal vermogen van minder dan 50 microwatt kon toch een verbinding met DB6NT over 40 km gemaakt worden. Ook mijn zender met 'groot' vermogen werd over de 40 km ontvangen waarbij zelfs met alleen een open golfpijp, dus zonder spiegel, dit signaal bij DB6NT te ontvangen was. In de jaren daarna werd een nieuw station voor 47 GHz gebouwd met een DB6NT transverter en een zendversterker met ca. 15 mW uitgangsvermogen. Met één golfpijpschakelaar wordt omgeschakeld tussen zenden en ontvangen. Verder is een PLLSSB schakeling gebruikt die de LO van de zender lockt aan de PLLSSB generator. Op deze manier wordt de zender voorzien van SSB/FM modulatie.

Met dit station zijn daarna diverse verbindingen gemaakt. Het eerst werd tijdens de IJsselmeercontest dit station gebruikt voor verbindingen over afstanden tot 15 km. Verder werd met PAOHRK een verbinding gemaakt over ca. 40 km vanaf Schiphol naar Rotterdam. Ook werd met PAOHRK een first gemaakt door portabel vanuit Oostende naar Zoutelande een verbinding te maken. Dit werd gevolgd door een QSO met G3PYB/p tussen Frankrijk en Engeland van Calais naar Dover.

In Nederland is sinds de introductie van de IJsselmeercontest het aantal stations op 47 GHz gegroeid. Tijdens de IJssel-

Figuur 3. Het 76 GHz-station van PAOEHG.



meercontest in mei 2001 was er maar liefst een zevental stations QRV maar het lukte helaas niet om met allen een verbinding te maken. Ook tijdens de VERON VHF-UHF-SHF wedstrijden ontstaat activiteit op de millimeterbanden. Sinds ca. 3 jaar is vanuit Rotterdam PA3AWJ op 47 GHz QRV die ik met de antenne in mijn slaapkamerraam kan werken. We maken deze verbinding over 15 km vrijwel elke contest waarbij afhankelijk van het weer de verbinding matig tot zeer goed te realiseren is. Het station van PA3AWJ heeft echter nog volop mogelijkheden tot verbetering en als dat up-to-date is dan zal een uitstekende verbinding altijd mogelijk zijn. Ook op 76 GHz is als gevolg van de IJsselmeercontest een groei van stations opgetreden. Zowel ikzelf als PAOHRK hebben in de afgelopen winter een nieuw station gebouwd uitgaande van het ontwerp van DB6NT. Harke heeft echter een andere manier gebruikt om het LO signaal op 38 GHz te maken namelijk via een vermenigvuldiger uit de dump, die op 38 GHz voldoende vermogen kan maken om de subharmonischenmixer te sturen. Beide stations waren net op tijd klaar om te gebruiken tijdens de IJsselmeercontest van dit jaar. Na een mislukte test tussen PAOJGF en

PAOEHG lukte het wel om een verbinding te maken tussen PAOHRK/p en PAOEHG/p waarmee het eerste Nederlandse QSO op 76 GHz een feit was geworden. Verdere QSO's zijn er tot nu toe nog niet gemaakt maar zullen zeker volgen.

Werkfrequenties

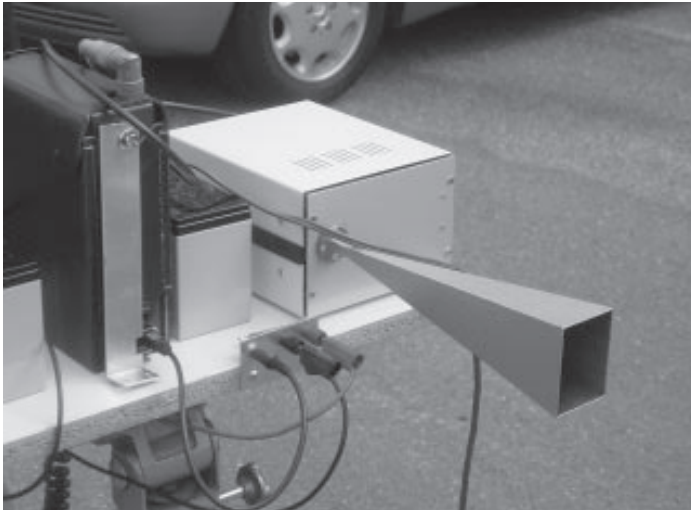
In aansluiting op het eerste deel van deze notities van PAOEZ even de huidige werkfrequenties waarop met SSB of CW verbindingen gemaakt worden. Op 47 GHz wordt met smalband gewerkt rond 47.088,100 MHz. Zoals te zien in het overzicht van Arie zijn in deze band geen wijzigingen gekomen. Op 76 GHz wordt op het moment door smalband stations gewerkt rond 76.032,100 MHz. Hier is de status secundair en die zal in de toekomst ook niet veranderen. Alhoewel ik het streven van IARU ondersteun, dat het goed is om wereldwijd één en dezelfde frequentie in het exclusieve segment te gebruiken, is mijn verwachting dat die amateurs die QRV zijn, op de oude frequentie zullen blijven en niet naar het nieuwe primaire deel van de band gaan schuiven.

Bouwontwerpen en het bouwen

Goede ontwerpen voor 47 en 76 GHz zijn tegenwoordig beschikbaar. Gebaseerd op ontwerpen van DB6NT waarvoor naast de benodigde printplaatjes ook de aluminium freesbakjes te koop zijn, is het tegenwoordig niet al te moeilijk een goed werkende transverter te maken. Enig fijnmechanisch werk is daarbij wel nodig: gaatjes van 1,7 mm boren en m2 tappen moet vaak gebeuren. Ook het precies aftekenen waar een gaatje of doorvoer moet komen is van belang. Bij DB6NT is het printmateriaal te bestellen en bij DG1KBF zijn aluminium bakjes te koop die geschikt zijn voor het ontwerp. Nadat enkele gaatjes geboord zijn en de printplaatjes voorzien zijn van de massavlakcontacten kunnen zij in het bakje gemonteerd worden. Dit monteren doe ik door het bakje in te smeren met 2-secondenlijm en daarna het printje erin vast te lijmen en te borgen met 4 stuks m2-schroefjes. De secondenlijm is gewenst om een mechanisch stabiele opbouw te krijgen. Ook zonder de lijm gaat het maar als het printje een beetje bol

Figuur 2. Het 47 GHz-station van PAOEHG.





Figuur 4. Het 76 GHz-station van PAOHRK.

staat kan het bewegen en dus ook HF-matig zorgen voor variatie. Nadat het printje gemonteerd is worden weerstanden en FET's erop gesoldeerd waarbij uiteraard gelet moet worden op statische ontladingen. Dus alles aan aarde leggen en voorzichtig monteren. Zeker in de winterdag wanneer de luchtvochtigheid laag is oppassen met het monteren van de FET's want dan is het risico op beschadiging door statische elektriciteit zeker aanwezig. Het afregelen van versterkers en vermenigvuldigers is een zaak van geduld. De kleine restanten van de aansluitingen van de gebruikte FET's zijn prima vaantjes om te gebruiken voor het afregelen. Met een tandenstoker wordt het vaantje over de schakeling bewogen totdat er duidelijk winst gehaald wordt. Daarna wordt het vaantje vast gesoldeerd en wordt het tijd om het volgende vaantje te proberen. Het resultaat van het optimaliseren hangt af van je geduld waarbij het een strijd is om iedere dB winst. Wees daarbij niet snel tevreden en realiseer dat iedere halve dB weer een stapje voorwaarts is en veel halve dB's echt merkbaar zijn. In figuur 5 is (als het in Electron nog te zien is) te zien hoe vaantjes experimenteel zijn gemonteerd in de 12/24 GHz verdubbelaar en de 24 GHz versterker.

Nadat het laatste vaantje gemonteerd is kan er nog met de plaats van het deksel geoptimaliseerd worden. Plaats het deksel en kijk wat het effect is. Als het winst geeft prima, anders kan een stukje dubbelzijdig printplaat tegen het deksel geplakt worden om een positieve reflectie te maken. Ook hiermee valt vaak weer winst te halen soms wel meer dan 1 dB, dus zeker de moeite waard.

Voor de 47 en 76 GHz transverters wordt als mixerdiode een beamlead model gebruikt met in één huisje twee diodes welke anti-parallel staan. De montage van een beamlead diode is een verhaal op zich waarbij enige oefening zeker verstandig is. We hebben het hier over een diode die pakweg $f120$, - kost en zo klein is dat hij met het blote oog net te zien is. Afmetingen zijn ca. 0,1 bij 0,1 mm en dus veel te klein om te solderen of met de blote hand beet te nemen. Een absolute must is het gebruik van een microscoop, liefst een stereo microscoop, waarmee de plaats waar de diode ge-

monteerd moet worden goed in beeld gebracht kan worden. De diode hanteren kan gedaan worden met een tandenstoker of met een fijne speld. De montage wordt gedaan met hulp van zilverlijm waarbij de lijm eerst op het printbaantje gelegd wordt en daarna de diode in de lijm gedruwd wordt. Enig geduld maar ook een stabiele hand zijn daarbij onontbeerlijk. Als de zenuwen op gaan spelen, het is en blijft tenslotte ook nog een duur ding, dan is het wellicht beter even te wachten. Tot nu toe heb ik een tiental diodes gemonteerd en slechts een enkele keer heb ik tijdens de montage een diode verloren doordat deze doormidden brak. Gelukkig betrof het toen een type dat aanmerkelijk goedkoper was. Alternatief voor het zelf inlijmen van de diode is het door iemand te laten doen die het goed kan. Onlangs zag ik de 76 GHz transverter van PAOHRK waarin de diode door Bart PEI PFW op een zeer fraaie manier gemonteerd was.

Antennes

Als antennes voor de millimeterbanden kunnen hoornantennes of niet al te grote parabolantennes gebruikt worden. Voor een parabolantenne geldt wel dat de vormnauwkeurigheid erg goed moet zijn wil de antenne optimaal werken. De meeste parabolantennes zijn maar matig geschikt om te gebruiken omdat de afwijkingen t.o.v. de werkelijke parabolvorm vaak groter zijn dan 1 mm. Toch valt door het optimaliseren van de brandpuntsafstand het totaal wel mee. Dat optimaliseren moet dan wel gedaan worden op een manier waarbij de zender voldoende weg staat van de antenne. Minimaal enige tientallen meters is nodig en beter is om enige honderden meters aan te houden tussen de zender en de te optimaliseren antenne.

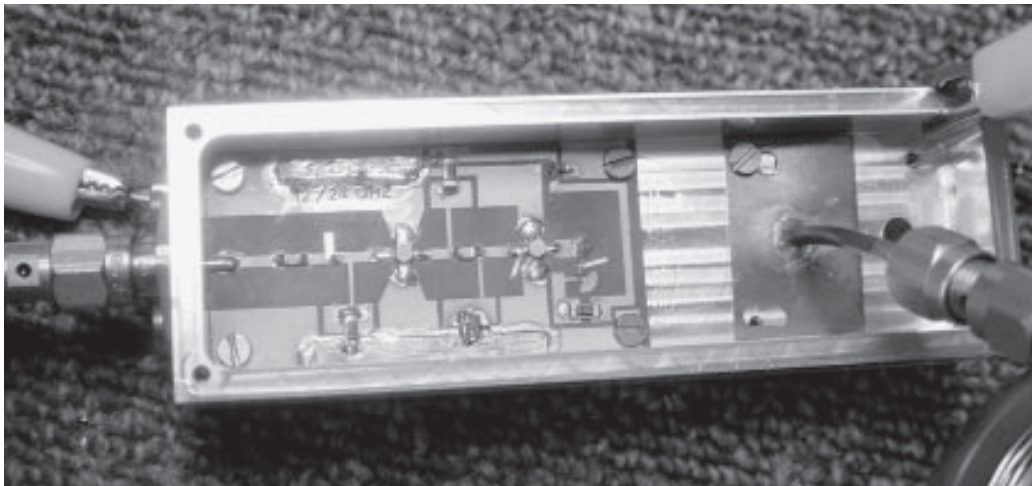
Het maken van verbindingen

Voor de millimeterbanden geldt dat het maken van zichtverbindingen eigenlijk het enige is wat redelijk kans op succes geeft. Op dit ogenblik zijn er nog te weinig stations QRV om over de horizon propagatietesten mee te doen. Het is zeker dat er tijdens sommige weersomstandigheden ook op de millimeterbanden verbindingen over grotere afstand mogelijk zijn. De komende jaren zal wellicht

hiermee getest worden maar het zal aanzienlijk meer moeite kosten om 200 km op 47 GHz te overbruggen dan op bijv. 24 GHz. Voor het maken van zichtverbindingen hebben we in het vlakke Nederland een voordeel maar ook een handicap. Het voordeel is dat er voor relatief korte afstanden bijna altijd wel een vrij pad te vinden is. Voor wat grotere afstanden ontbreekt het hier echter aan de hoge bergen om ver te komen. Daarom wordt gebruik gemaakt van hoge gebouwen en soms de duinen om toch een verbinding over iets grotere afstand te maken. Om de verbinding tot stand te brengen moeten de beide stations de antennes al redelijk goed gericht hebben voordat er iets ontvangen kan worden. Met name door de nauwe bundel van de antennes wil dit probleem wel eens zo lastig zijn dat juist door het niet vinden van de goede antennestand het niet tot een verbinding komt. De verbindingen die tot nu toe gemaakt zijn geven in feite de praktijkervaring dat het zoeken naar de juiste antennestand soms lang kan duren. Toch is het zo dat de meeste verbindingen die ik op de millimeterbanden gemaakt heb binnen 2 minuten na begin van het zoeken tot stand kwamen. Het is maar zeer zelden dat na langdurig zoeken de verbinding pas tot stand komt. Meestal is langdurig zoeken alleen nodig wanneer het te ontvangen signaal erg zwak is. Bij afstanden tot 40 km is bij een zichtverbinding de signaal-ruisverhouding meestal zo groot dat signalen vrijwel direct gevonden worden.

Frequentiestabiliteit

Voor het maken van de verbinding moeten beide antennes redelijk goed staan maar moet ook de frequentie waarop gewerkt wordt redelijk goed kloppen. We maken de verbindingen met een SSB-ontvanger en dus een bandbreedte van 3 kHz. Als er dan onverhoopt een grote frequentiefout zou bestaan van bijv. meer dan 100 kHz moet dus een groot stuk van de band afgezoekt worden. Het risico dat daardoor de verbinding mislukt wordt dan aanzienlijk groter. Tijdens de laatste IJsselmeercontest mislukte een 76 GHz-verbinding tussen twee stations omdat een van hen, zo werd achteraf geconstateerd, meer dan 300 kHz verkeerd zat. Als de frequentie goed was geweest dan was een verbinding vrijwel zeker gelukt. Voor het opwekken van een stabiele frequentie wordt gebruik gemaakt van een kristaloscillator in kristaloven die doorgaans opgebouwd is naar een ontwerp van DF9LN. Dit is een ontwerp waarbij de hele oscillator verwarmd wordt naar 75 graden en zeer stabiel op deze temperatuur gehouden wordt. Afhankelijk van de kwaliteit van het gebruikte kristal is met deze opzet een zeer goede stabiliteit te maken. Helaas is het voor de Nederlandse kristalfabrikanten erg moeilijk om een dergelijk stabiel kristal te maken. Goede ervaringen zijn er met KVG kristallen die in Duitsland gemaakt worden. Ze kosten wel iets meer en de levertijd is lang maar daarmee heb je een zeer stabiel signaal. Het exact op frequentie zetten moet dan gebeuren met een zeer goede referentie-



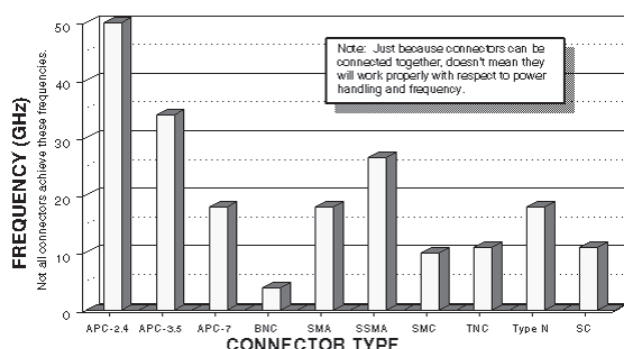
Figuur 5 De 23,5 GHz oscillator/vermenigvuldiger van het 47 GHz station

standaard, bijv. afgeleid van Droitwich. Ondertussen zijn aan dit oscillatorontwerp enkele wijzigingen aangebracht en door G8ACE gepubliceerd waarbij met name de signaalruisverhouding aanzienlijk verbeterd is.

Nog hoger?

In de jaren dat ik net QRV was op 24 GHz wist ik zeker dat ik nooit op hogere frequenties zou beginnen. Toen de stap naar 47 GHz gedaan was voldeed een kleine stimulans om ook op 76 GHz wat te bouwen. De banden daarboven zijn in Nederland nog niet gebruikt, maar toch kriebelt het niet echt om voor deze banden wat te bouwen. Wat niet is kan echter nog komen zoals dat ook in het verleden gold voor de stap naar 47 GHz. De millimeterbanden zullen de komende jaren steeds actiever door amateurs gebruikt gaan worden. Dit is voor een belangrijk deel te danken aan die amateurs die de afgelopen jaren als pionier hierop zijn bezig geweest. Hierbij is met name door goed reproduceerbare ontwerpen van DB6NT voor velen een mogelijkheid ontstaan om ook daadwerkelijk zelf een station te bouwen. DB6NT kreeg hiervoor de IARU Region 1 medaille. Naarmate het aantal stations groeit zullen ook anderen nieuwe ontwerpen publiceren en dit zal meer experimenten stimuleren. Hierbij valt dan met name te denken aan verbindingen over grotere afstanden, zoals bijv. een first op 47 GHz met Engeland of wellicht als er ooit TWT's beschikbaar komen om vermogen te maken een EME-verbinding op deze millimeterbanden.

73 de PA0EHC



Figuur 6 Het maximum frequentiegebied van verschillende coax-stekers

Coaxiale stekers en contacten op de microgolven

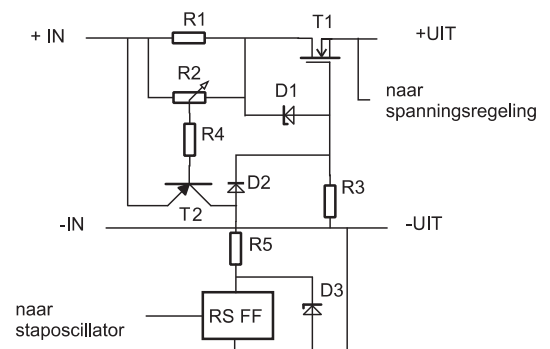
Op UHF en hogere frequenties is een goede coaxiale steker belangrijk. Hoewel golfpomp nog steeds, zeker boven 18 GHz, de beste keuze is, is voor de lagere microgolffrequenties coax toch wel erg prettig. Zelf gebruik ik voor niet al te hoge frequenties de typen N en BNC. Maar hoewel N-stekers het op 10 GHz nog redelijk doen, is hier voor amateurgebruik het type SMA aan te bevelen. Een prima overzicht van de voor hoge frequenties ontworpen coaxiaalstekers is te vinden in het EW and Radar Engineering Handbook. Dit is op het internet te vinden en de coaxiale zaken staan in http://ewhdbks.mugu.navy.mil/coax_con.htm. Een heel leuk plaatje hieruit is in figuur 6 te zien. Nu stellen we als amateur iets lichtere eisen en SMA is bij ons doorgaans wel bruikbaar op 24 GHz. Opvallend is het verschil tussen BNC en TNC. Hoewel eigenlijk dezelfde geometrie blijkt het vast kunnen schroeven van enorm belang boven zo'n 3 GHz. Om wat meer inzicht te krijgen in al die verschillende stekertypen is er een werkelijk uitstekend overzicht gemaakt door WA1MBA. Onmisbaar voor wie op de microgolven experimenteert. Dat overzicht is op het internet te vinden op <http://www.wa1mba.org/rfconn.htm>. Na het lezen van dit artikel weet je beter te kiezen op rommelmarkten. Wat het artikel helaas niet vertelt is het probleem van het monteren van de stekers aan de kabel. Hoewel bijvoorbeeld het type N goed is voor 10 GHz gaat de zaak snel verkeerd wanneer een coaxkabel met de gebruikelijke gevlochten buitenmantel wordt gebruikt. Zelf geef ik de voorkeur aan die typen, waarbij een bus om het dielectri-

cum wordt geschoven in plaats van dat uitvlechten van de buitenmantel over een ring. Ook is het bij buitenmontage van belang of er water door kan lopen. Bij goede N-contacten is dit geen probleem evenals bij SMA. Maar ik vertrouw daar toch niet op en wikkel die stekers en contacten buiten in met zelfvulcaniserend band.

Een elektronische zekering

Voor het voeden van de eindtrap van mijn 13 cm zender gebruik ik een schakelende voeding. Oorspronkelijk zat daar een smeltzekering van 2*10A in. Maar zo'n zekering mag dan wel de voeding zelf beschermen (die dan wordt uitgeschakeld), de uitgangselco's bevatten nog ruim voldoende lading om grote schade in de gevoede schakeling aan te richten. Daarom ben ik overgegaan op een elektronische beveiliging. Het schema is getekend in figuur 7. Hart is de MOSFET (n-kanaal) type IRF9540. Die kan vrij veel stroom hebben (zo'n 19 A) en heeft een lage doorlaatweerstand. De stroom wordt gemeten over R1. Het is een 0,06 ohm vermogensweerstand (parallel geschakelde 0,12 ohm weerstanden).

Bij 10 A is de spanningsval erover 0,6 V en bij een grotere stroom gaat T2 open die de gate met de source verbindt waardoor de MOSFET niet meer doorlaat en tegelijk wordt de RS Flipflop omgezet die de schakelende voeding uitzet. Met potentiometer R2 kan worden ingesteld bij welke stroom de begrenzing/afschakeling begint. D1 beschermt de MOSFET tegen een te grote Vgs (max +- 20 V). De spanningsval over R1 en de MOSFET kost wel wat vermogen, maar mijn voeding (uit Budel) heeft nog genoeg reserve.



Figuur 7 De elektronische zekering/stroombegrenzing voor meer dan 10 ampère

