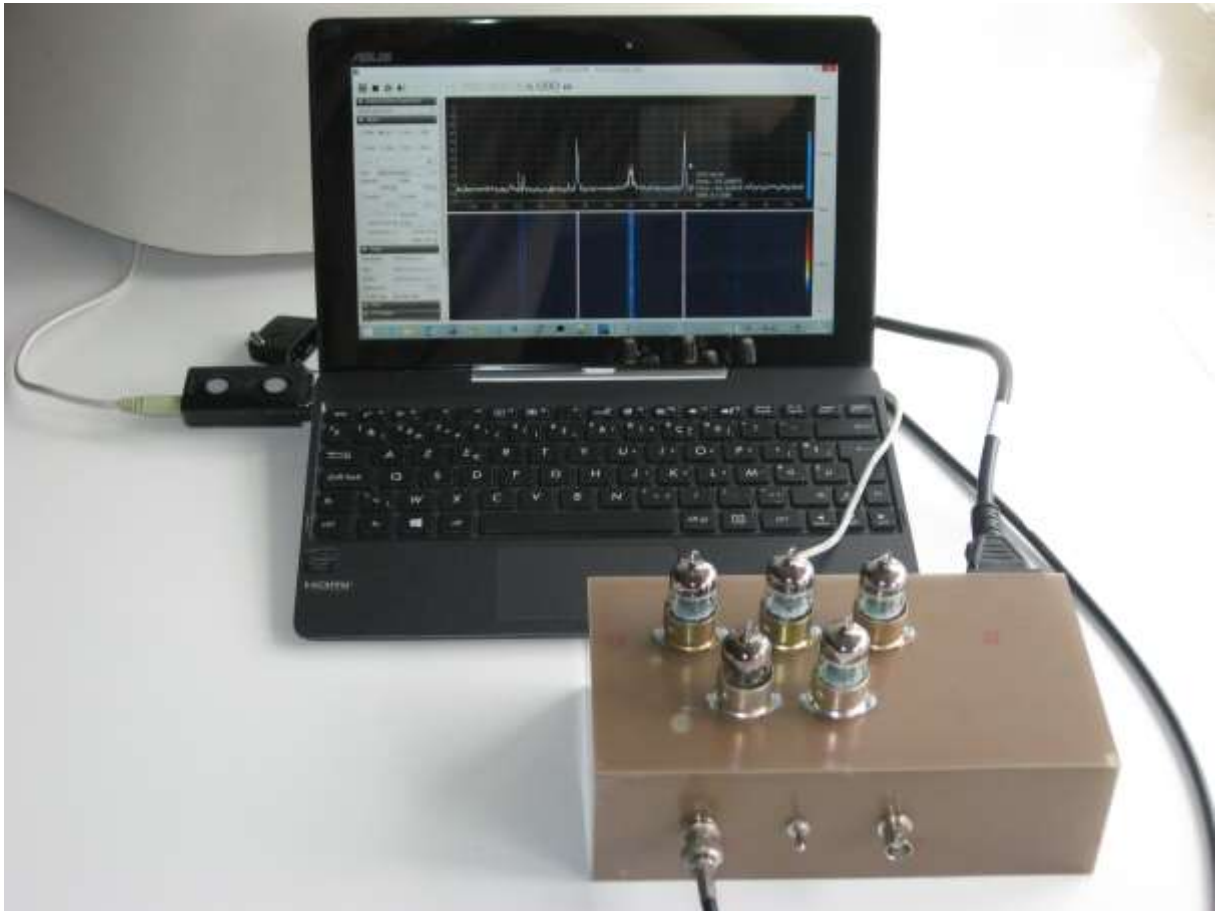


SDR op lampen



Inleiding

Omdat er nog een tegoedbon van Elektor op de plank lag en die binnenkort zou gaan vervallen, ben ik nog eens gaan rondneuzen in hun webwinkel. Twee boekjes in de ramsj, het bedrag van de bon er af en voor minder dan de verzendkosten heb ik weer enkele avonden leesplezier in het verschiet...

In een club als BSE – en ik ga er van uit dat dit in andere secties niet anders is – zijn er enkele leden die de geschiedenis koesteren en fervent met lampen aan de slag zijn, terwijl andere leden zich op het scherp van de innovatie met digitale modes, Raspberry Pi en SDR onledig houden. Zelf ben ik geïnteresseerd in zowel het ene als het andere. De techniek vind ik persoonlijk interessanter dan het pure communiceren.

Burkhard Kainka, auteur van het “Radio-bouwboek, van detector tot DRM-ontvanger” (ISBN 90-5381-209-1) blijkt een echte knutselaar en is kennelijk ook op de hoogte van zowel oude lampentechnologie als moderne transmissiemodes. Er staat in elk geval een aardige schakeling in zijn boek die, gebruik makende van vier EF95, een dubbel-super-heterodyne DRM¹ ontvanger realiseert. Met de PC als uiteindelijke detector uiteraard. Dit artikel beoogt alleen maar aan te tonen dat het

¹ Digital Radio Mondiale, een digitale mode voor radio-omroep, dus niet DMR waar radioamateurs vandaag mee bezig zijn.

nog altijd mogelijk is om schakelingen met lampen te realiseren. Het lijkt me wel een project waard. Een mooie combinatie van de beide strekkingen in de club en een goede aanleiding om de clubleden er bij te betrekken.

Het schema van de schakeling in kwestie is te zien op www.b-kainka.de/bastel101.htm en in het boek, uiteraard.

DRM

Alle (summiere, als je het mij vraagt...) informatie over DRM is terug te vinden op www.drm.org.

Uit het programmarooster blijkt dat er bijzonder veel zeer lokale zenders zijn, met name in Duitsland en vooral in India. Maar de meeste van deze zenders gebruiken zeer kleine uitzendvermogens (in de orde van een tiende tot enkele watt meestal) en zijn bijgevolg niet te ontvangen in België. Bovendien zenden de meeste van die zenders uit volgens een nogal lastig uurrooster en bijna nooit 24 uur per dag. RTL – de zender waarop Kainka zijn prototype heeft afgestemd – is ondertussen volledig gestopt met DRM uitzendingen. De enige zenders die nog in DRM 24 uur per dag uitzenden met een vermogen dat ons toch nog enige hoop op goede ontvangst geeft zijn Radio France International, Bit Express (een station uit Erlangen, Duitsland) en de BBC (en volgens het meest recente programmarooster op www.hfcc.org/drm/ is die laatste ook niet meer voltijds in de lucht; het programmarooster is trouwens niet meer bijgewerkt sinds enkele maanden geleden). Niet bijster veel DRM stations beschikbaar dus.

Zou het niet mogelijk zijn om een ander programma dan DReaM – het voorstel van Kainka – te gebruiken en op die manier ook andere modulatietypes dan alleen maar DRM te kunnen ontvangen?

I en Q

Er zijn vandaag veel en goede SDR programma's beschikbaar. Daarmee kunnen ongeveer alle mogelijke modes worden ontvangen; dus niet alleen DRM. Maar vrijwel allemaal vereisen die programma's een I (In-Phase) en een Q (Quadrature) signaal. Dus tweemaal hetzelfde signaal, maar het ene 90° verschoven ten opzichte van het andere. Het moet toch mogelijk zijn het oorspronkelijke schema uit te breiden met een schakeling om die fase-draaiing te verwezenlijken.

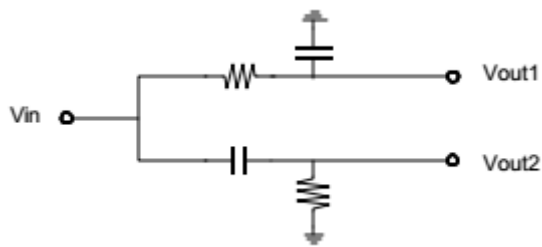
Nu zijn er tientallen schakelingen om een I en een Q signaal te genereren, maar bijna allemaal gebruiken die een IC, of in elk geval een al bij al vrij groot aantal actieve componenten. Een IC is best wel te gebruiken, maar dat zou het kernidee van dit project teniet doen. Inderdaad, het is de bedoeling om een buizen-SDR te bouwen. Anderzijds is het ook niet realistisch om een schakeling met grote aantallen transistoren om te bouwen naar elektronenbuizen, want dan wordt de investering te groot en gaat de eenvoud van de oorspronkelijke schakeling volledig verloren.

Na meerdere uren "Google & Friends" brengt uiteindelijk een wetenschappelijk artikel over een "I-Q Quadrature Generator" de oplossing. Of toch bijna... Maar daar kom ik dadelijk op terug.

Het artikel in kwestie is te lezen op

<https://pdfs.semanticscholar.org/f14c/f447d9d6645e2e0569e94a18c8ff394b905b.pdf> Een gans pak hogere wiskunde in een degelijk werkstuk uit 2001 van een universiteitsstudent dat mijn petje voor

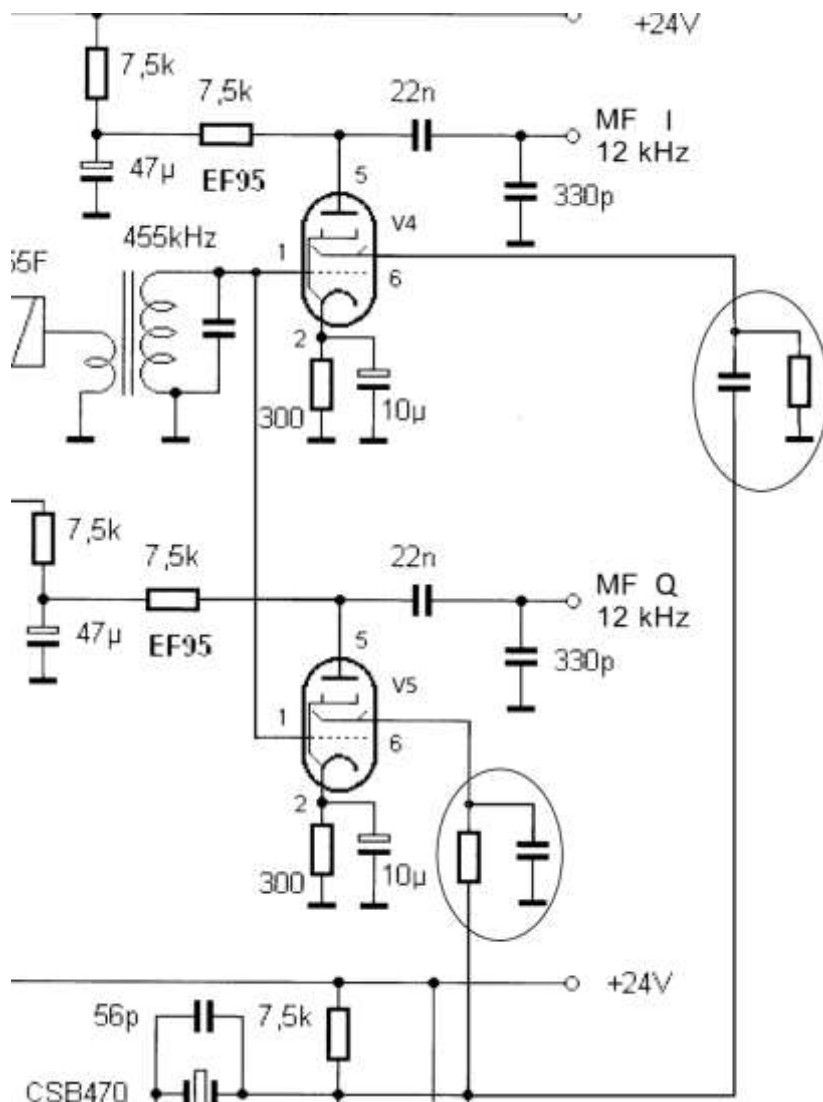
een groot stuk te boven gaat, maar er staat wel in het eerste hoofdstuk een schema in van een (zéér) eenvoudige “Quadrature network using RC-CR circuit” met alleen maar passieve componenten.



Figuur 1 - RC-CR netwerk

De rest van het artikel bespreekt de invloed van een “begrenzer” op het resultaat hiervan en presenteert nog twee andere technieken om I en Q te genereren met verfijningen in meer ingewikkelde schakelingen.

Om zeker te zijn dat er een groot genoeg uitgangssignaal beschikbaar zou zijn, heb ik er voor gekozen om een de fase-draaiing te doen direct op de uitgang van de tweede lokale oscillator en een extra mengtrap toe te voegen. Ik denk dat op die manier een betere isolatie tussen beide uitgangen mogelijk is en ik verwacht dat het evenwicht in amplitude tussen beide signalen makkelijker te handhaven zal zijn. Het is namelijk zo dat de amplitude van het uitgangssignaal van de beide takken van het RC-CR netwerk afhankelijk is van de frequentie. Door de filters aan de ingang van de mengtrappen aan te brengen blijft de frequentie (die van het signaal van de tweede lokale oscillator) constant en verandert de amplitude dus niet in functie van de frequentie van het ontvangen signaal. Bovendien geeft dit de mogelijkheid om eventueel de versterking van elke mengtrap afzonderlijk te regelen mocht blijken dat de amplitudes van de uitgangssignalen onderling te veel afwijken. Dat geeft dan volgende wijzigingen in het schema:



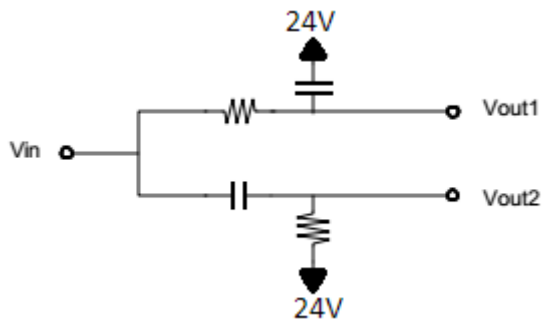
Figuur 2 - Het RC-CR netwerk in het schema gebracht

Nu nog de exacte waarden van de toegevoegde weerstanden en condensatoren vaststellen. Best eerst eens bespreken met de meer ervaren lampenamateurs op de vergadering van de sectie volgende donderdagavond...

Alex ON1KNM suggereert om maar eens te proberen met een capaciteit van 330 pF en te berekenen hoe groot de weerstanden dan moeten zijn. Een beetje buikgevoel en verder proefondervindelijk vaststellen; "l'approche de l'ingénieur, quoi...". Maar dan komt er een koude douche. Jean-Pol ON4DJP merkt op dat het zo nooit kan werken omdat het schermrooster g2 (hier gebruikt als tweede stuurrooster) aan de massa ligt. Hoezo, het rooster aan de massa? Ha, heu, juist, ja... het rooster trekt geen stroom – en als het dat wel zou doen, zou er een ander en groter probleem zijn... – dus loopt er ook geen (gelijk)stroom door de weerstand, is er bijgevolg geen spanningsval over en heeft het rooster van V4 wel degelijk het (gelijkspannings)potentiaal van de massa. Die buis gaat dus niet werken. Terug naar de tekentafel...

Er volgen lange overpeinzingen en verschillende opties worden overwogen. Kunnen we de condensatoren niet door spoelen vervangen? Hmmm, maar dan komt het schermrooster van V5 weer aan massa te liggen voor gelijkstroom. Misschien één kant met spoel en de andere met

condensator, maar dan opent er zich weer een ander gelijkstroom-pad en hoe groot moet die spoel dan wel zijn? Uiteindelijk, na 6 weken denken tot hoofdpijn er op volgt: Eureka! De eenvoud zelve: gewoon omdraaien, die handel! Inderdaad:



Figuur 3 - RC-CR netwerk met een andere referentiespanning

De massa uit het oorspronkelijke schema is ten slotte slechts een referentiepunt ten opzichte van waar de spanning wordt gemeten, meer niet. Als we de hoogspanning (het is maar 24 V, maar in dit project is dat dus wel degelijk de hoogspanning), die ook constant is, als referentie nemen verandert dat niets aan het gedrag van de combinatie van weerstand en condensator: er treedt nog steeds een fase-draaiing van 45° op in elke tak van de schakeling.

De auteur van het bovenvermelde artikel over de “I-Q Quadrature Generator” wijst er wel op dat de fase-draaiing in het RC-CR netwerkje altijd tweemaal 45° , dus in totaal 90° is, ongeacht de frequentie, maar dat de amplitude van de beide uitgangssignalen wel degelijk afhankelijk is van de frequentie. I en Q hebben slechts voor één enkele, welbepaalde frequentie een gelijke amplitude. En het is voor een deugdelijke decodering met gelijk welk SDR programma wel van belang om beide signalen zo exact mogelijk op dezelfde amplitude te houden. Het komt er dus op aan de componenten zo te dimensioneren dat de uitgangssignalen gelijke amplitude hebben bij 467 kHz, de frequentie waarop de tweede lokale oscillator draait.

Om niet alle condensatoren en weerstanden uit de recuperatiebak te moeten proberen (en telkens te moeten solderen en weer lossolderen) is een simulatie aangewezen. Dan kan er zeer eenvoudig en snel een veelheid van combinaties worden geprobeerd zonder dat het rolletje soldeertin opraakt. Er bestaan vandaag een pak goede programma's waarmee elektronische schakelingen kunnen worden getekend en gelijk ook worden doorgerekend. Impedanties, signaallooptijden, impulsgedrag... het kan allemaal worden berekend. Voor ons volstaat een eenvoudig programma dat spanning en fase kan berekenen. GIYF² en die komt na wat zoeken met de volgende suggestie: PartSim <https://www.partsim.com/simulator>, een online toepassing waarmee een schema kan worden getekend en doorgerekend met behulp van de SPICE Simulator calculator die PartSim wordt aangeroepen. Het werkt volledig in de Cloud en, op voorwaarde dat je een account aanmaakt³, kan je projecten ook opslaan en later verder bewerken.

Na wat experimenteren met verschillende waarden blijkt 10 k Ω met 33 pF een bruikbare combinatie op te leveren. Orde van grootte lijkt me dit zeker aanvaardbaar.

² Google Is Your Friend

³ Wat ik niet heb gedaan; ik heb al veel te veel accounts op veel te veel websites.

De kast

Dit is een echt zelfbouwproject. Er moet dus een zelfbouwkastje op maat komen. Kainka geeft hierover geen enkele uitleg. Zijn eigen prototype, te zien op <http://www.b-kainka.de/bastel101.htm>, is wat "in de lucht" gebouwd. Daarmee wil ik absoluut niet zeggen dat het een luchtkasteel zou zijn, maar draden rechtstreeks aan de pennen van de lampen solderen is niet het soort afwerking waar je mee kan uitpakken. Nee, dit moet beter kunnen. Een volledig zelfgebouwd, mooi en degelijk kastje moet het worden. En het moet duidelijk blijken dat het op lampen draait, de gloed van de gloeidraad moet zichtbaar zijn. En ik wil het ook presentabel, netjes afgewerkt en compleet dus met ingebouwde netvoeding.

Van Guy ON4MS, die eerder aan de digitale kant van de club is te situeren, heb ik een stel grote printplaten gekregen. Die waren dertig jaar geleden fotogevoelig en zijn dat wellicht nu nog, al weet ik niet in welke mate. Het hars komt er met een beetje aceton op een prop watten en een zeer degelijke (en hoogst noodzakelijke!) verluchting van de werkplaats moeiteloos af. De metaalzaag heb ik op school nog leren hanteren en met de plaat vlak op de tafelrand gespannen lukt het prima om de verschillende wanden van het kastje op maat te maken. Nadenken over welke deel over welk ander deel uitsteekt en waar er dus één of twee diktes moeten worden bijgeteld of afgetrokken zodat het uiteindelijk netjes past, moet natuurlijk vooraf gebeuren. Een tekening is meer dan aangewezen.

Nog twee reepjes zagen die straks de bodemplaat moeten vast houden. Alles van de nodige gaten voorzien voor de buisvoeten, de connectoren voor in- en uitgangen en voor het schakelaartje. Een uitsparing maken voor de netstekker (recuperatie van een kapot computerscherm; nooit die dingen zomaar weggooien, het komt ooit toch nog eens van pas...).

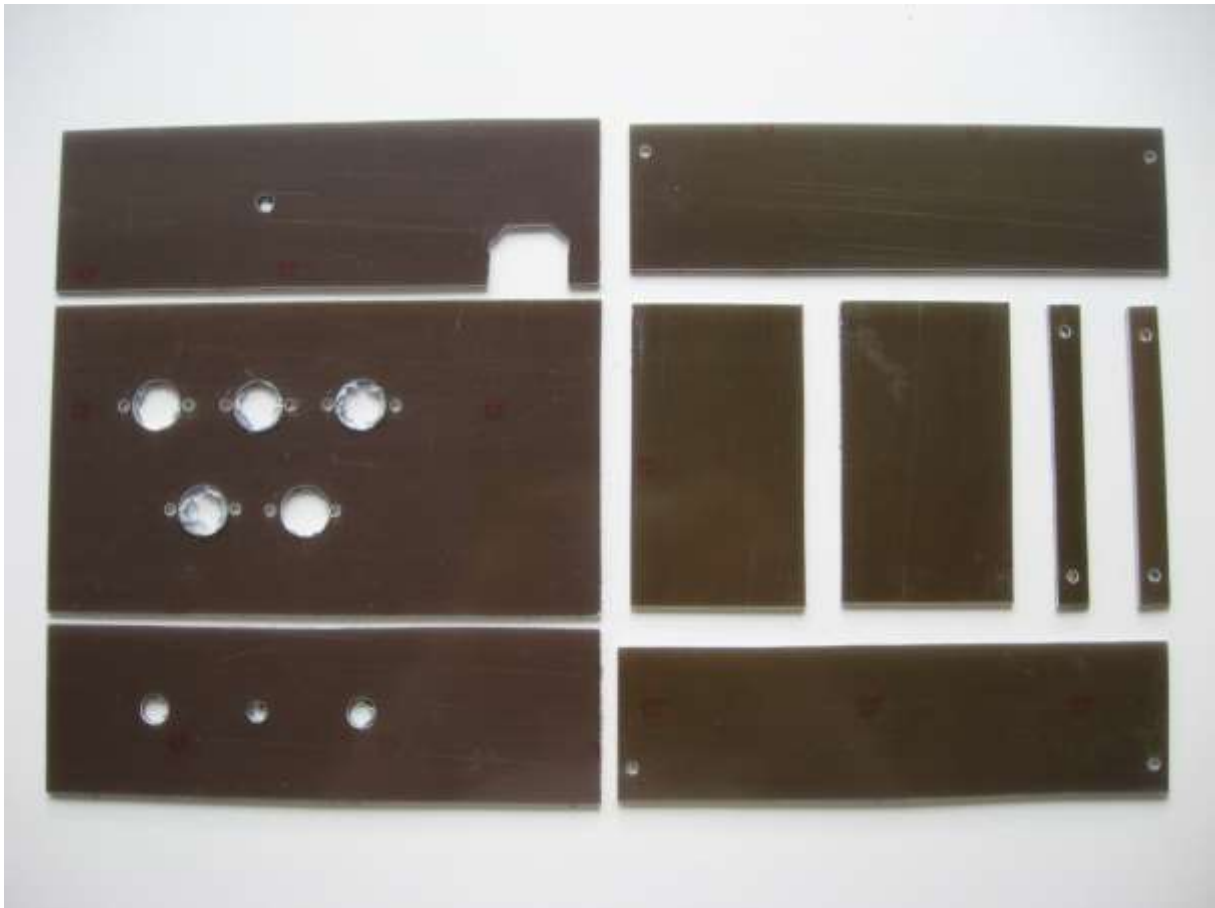


Foto 1 - De printplaatwanden

Eerst een M3 moertje over de gaten in de bodemreepjes solderen; daar komen later de boutjes in die de bodem vast houden. Een beetje vet op de schroefdraad smeren om te voorkomen dat het soldeer de schroefdraad onbruikbaar zou maken en een beetje soldeerflux op de zijkant van de moertjes om het soldeertin makkelijker op het metaal te laten pakken. De moertjes op hun plaats houden door er een boutje in te draaien (niet te hard aanspannen, het soldeer moet er nog tussen kunnen) en het solderen lukt vanzelf. Nu de zijwanden monteren. Dat kan gemakkelijk door de koperzijde in de hoeken aan elkaar te solderen. Er wel voor zorgen dat een en ander netjes loodrecht op elkaar staat. De verschillende panelen op voorhand vast zetten met schilderplakband helpt om de randen mooi strak te houden. De topplaat waar straks de buisvoeten op komen is als laatste aan de beurt.

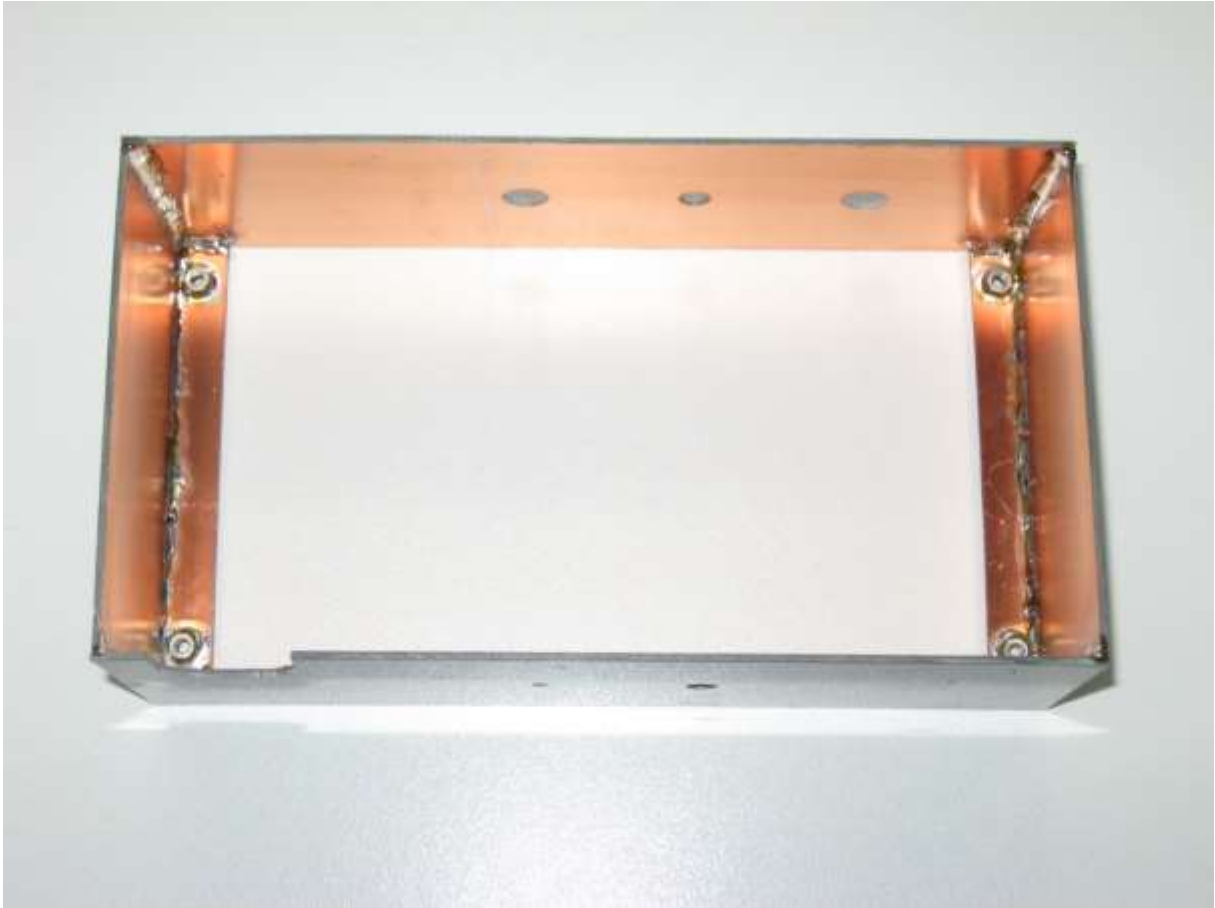


Foto 2 - Beginnen met de zijwanden

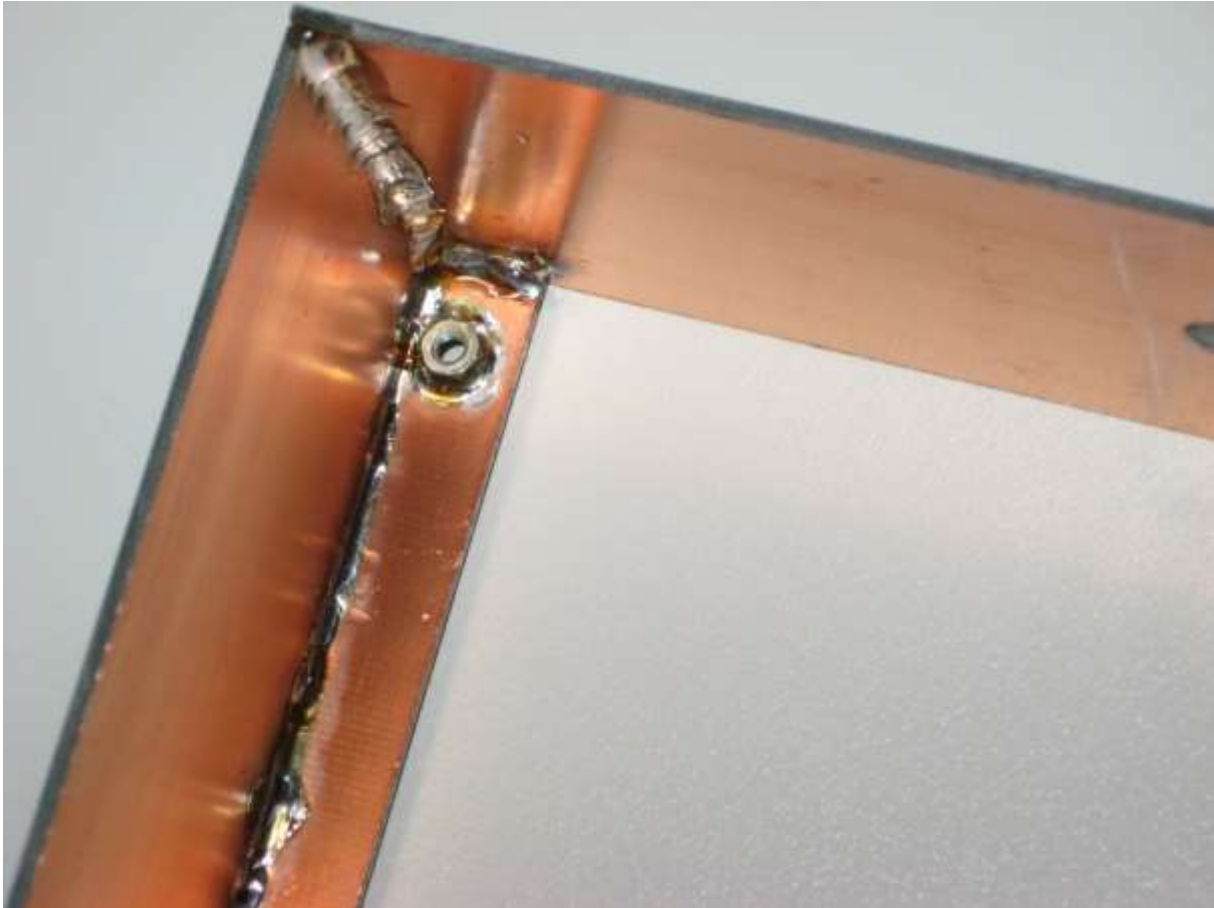


Foto 3 - De bodem kunnen we straks schroeven

Uiteraard hebben we alle panelen met de koperzijde van de printplaat aan de binnenkant van het kastje gehouden om ze aan elkaar te kunnen solderen. Een bijkomend voordeel van deze manier van bouwen is dat er straks zo ongeveer overal een massa-aansluiting beschikbaar is. Dat komt handig uit bij het inbouwen van de onderdelen. De klos soldeertin wordt wel met een schrikbarend tempo dunner... Het is wel een aanslag op de klos soldeertin. Ongelofelijk hoeveel soldeertin er in de randjes tussen de verschillende panelen gaat zitten. En ik heb het nochtans netjes gehouden (al zeg ik het zelf). De naden zijn zeker niet te dik.

De onderdelen

Guy ON4MS levert ook de buisvoeten. Waarvoor oprechte dank!



Foto 4 - De buisvoeten

Je zou verwachten dat de voorraad elektronenbuizen op geraakt – ze worden hier nu niet meer gemaakt – en dat het nu bijna onmogelijk is om er nog aan te geraken. Wel, dat valt dus best mee. Op eBay zijn er tientallen leveranciers van “NOS (New Old Stock)” buizen te vinden. Zoals gewoonlijk, kost de verzending bijna meer dan de lampen zelf.



Foto 5 - Nieuwe oude stock buisjes

Niet de échte EF95, maar vier stuks JAN 5654W, het “Joint Army Navy” equivalent ervan en een 6096/CT, die zullen het ook wel doen.

Eindelijk komt ook die schuif met recuperatieonderdelen nog eens te pas. Oude weerstanden, nog enkele echte MBLÉ condensatoren en nog wat ander klein grut maken de lijst van aan te schaffen dingen weer wat korter. Maar niet helemaal leeg; er zijn altijd dingen die toch nog niet voorradig zijn. Dus moet ik toch nog naar de winkel.



Foto 6 - Uit de voorraad

De voeding

Kainka heeft in zijn prototype de gloeidraden van de vier lampen in serie geschakeld om ze op die manier met 24 V te kunnen voeden. Die 24 V gebruikt hij dan tegelijk als hoogspanning. Omdat ik de schakeling heb gewijzigd en daardoor 5 lampen nodig heb, heb ik er voor gekozen om de gloeidraden parallel te schakelen en te voeden uit een aparte trafo voor 6,3 V. Dat maakt het testen makkelijker omdat ik dan niet telkens alle lampen hoef te plaatsen. Het laat me ook toe om de 24 V trafo een pak kleiner te kiezen; die moet nu immers alleen maar de hoogspanning leveren en de benodigde stroom daarvoor is eerder beperkt.

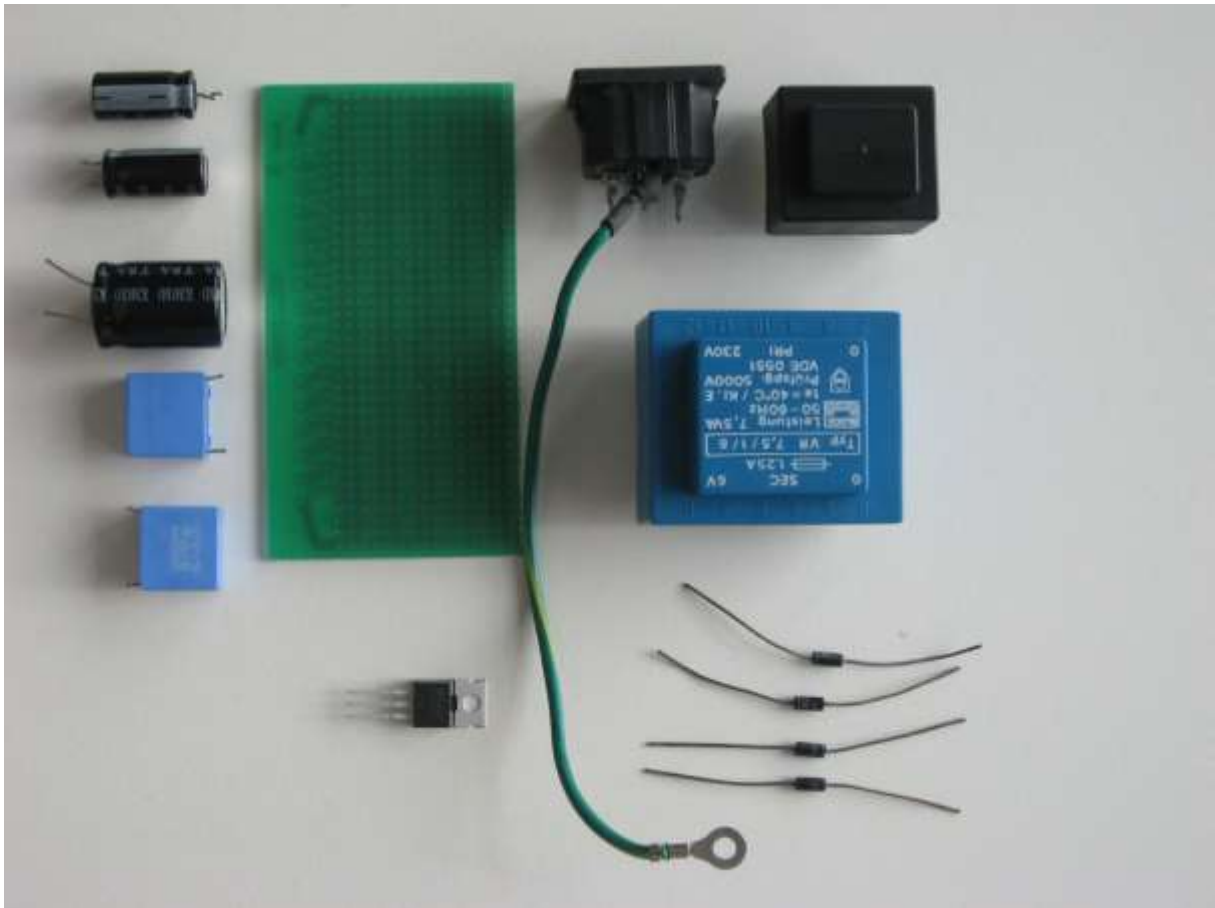


Foto 7 - De onderdelen voor de voeding

Als u zich nu afvraagt: "Waarom twee aparte transformatoren?" Wel, probeer maar eens een trafo te vinden die net die combinatie van secundaire wikkelingen heeft... Geen gemakkelijke opdracht. En als er al eentje te vinden is met verschillende secundaire wikkelingen, dan is die zo duur dat het alsnog voordeliger is om twee aparte trafo's aan te schaffen.

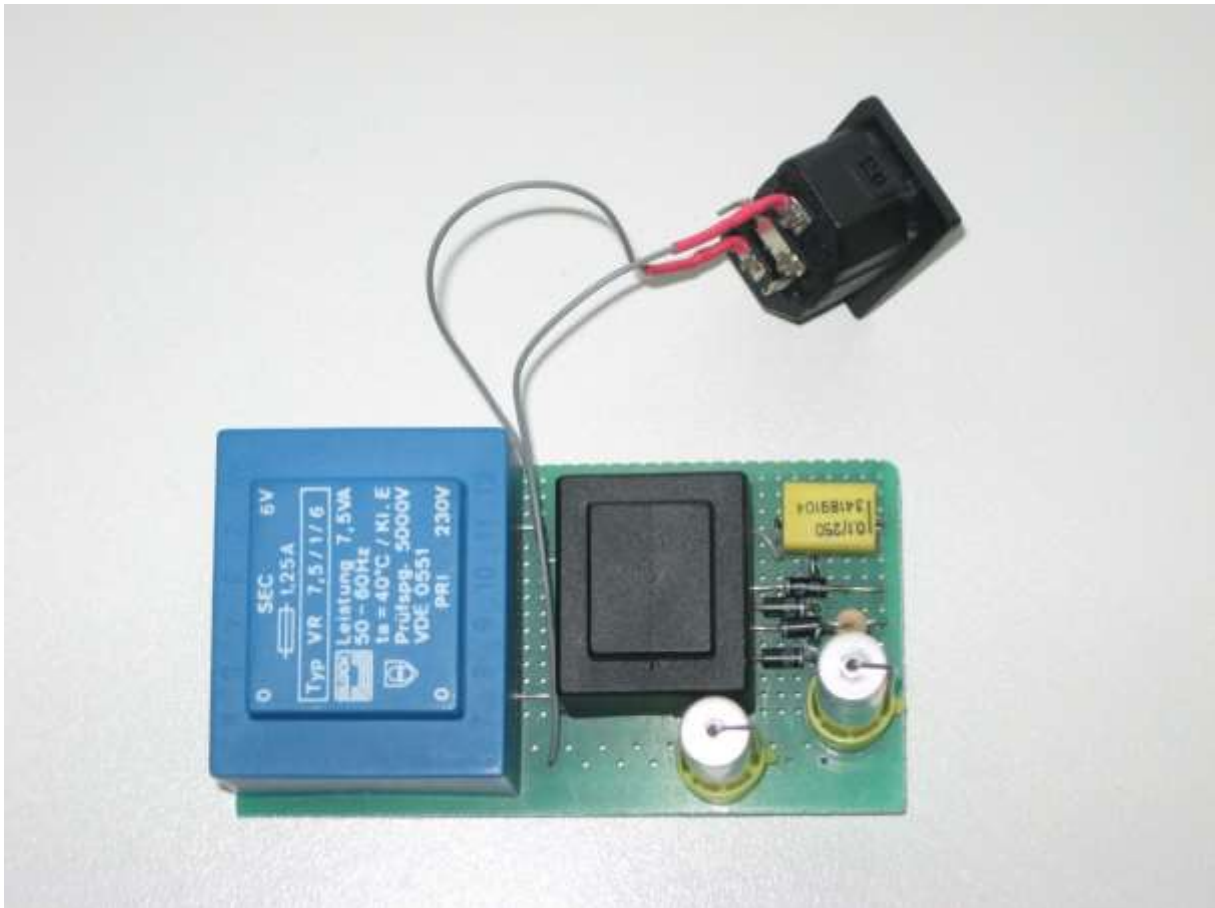


Foto 8 - De voeding is klaar

En dan moet ik bekennen dat er toch nog een valse noot in het project is gesloten. Ik heb namelijk een 7824 gebruikt om de 24 V hoogspanning te stabiliseren. Mea culpa.



Foto 9 - De voeding staat op haar plaats



Foto 10 - Dat ziet er al behoorlijk uit

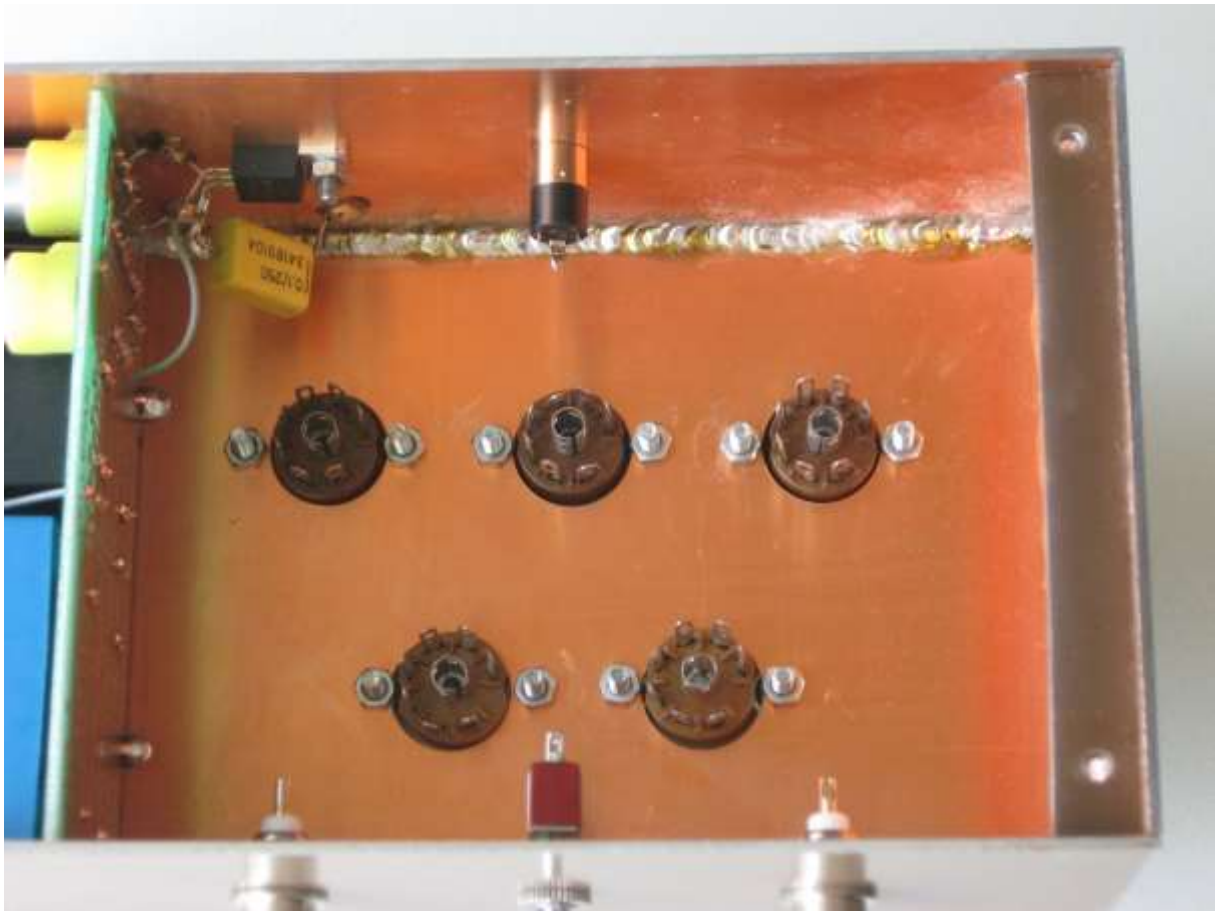


Foto 11 - Van binnen is het nog kaal

De tweede lokale oscillator

Hoewel het de tweede is, ben ik toch eerst begonnen met de opbouw van de tweede lokale oscillator. Dit om eerst de belangrijkste wijziging van het oorspronkelijke schema te kunnen testen: de 90° fase-draaiing, nodig om het I en Q signaal te kunnen maken. Die test kan slechts gebeuren als het oscillatorsignaal beschikbaar is.

Het type van de keramische resonator die ik had besteld is CSB470. Maar er werd me een ZTB470E geleverd. Nu blijkt dat dit ook het type is dat Kainka op de foto van zijn onderdelenverzameling heeft staan. Hij vermeldt dat hij "grote capaciteiten" heeft gebruikt om die 3 kHz lager te trekken. Nochtans blijkt dat de opgegeven waarden wat te hoog zijn; tenminste toch in mijn opstelling. De 56 pF, parallel met de resonator, blijkt overbodig en de beide 330 pF kunnen de ene ongeveer de helft, de andere een derde kleiner. Maar dan draait het zaakje wel op 466,9 kHz. Kortbij genoeg voor mij...

De wisselspanning van het signaal op de uitgang van de tweede lokale oscillator is 6,2 V P-P (Peak to Peak = piek tot piek).

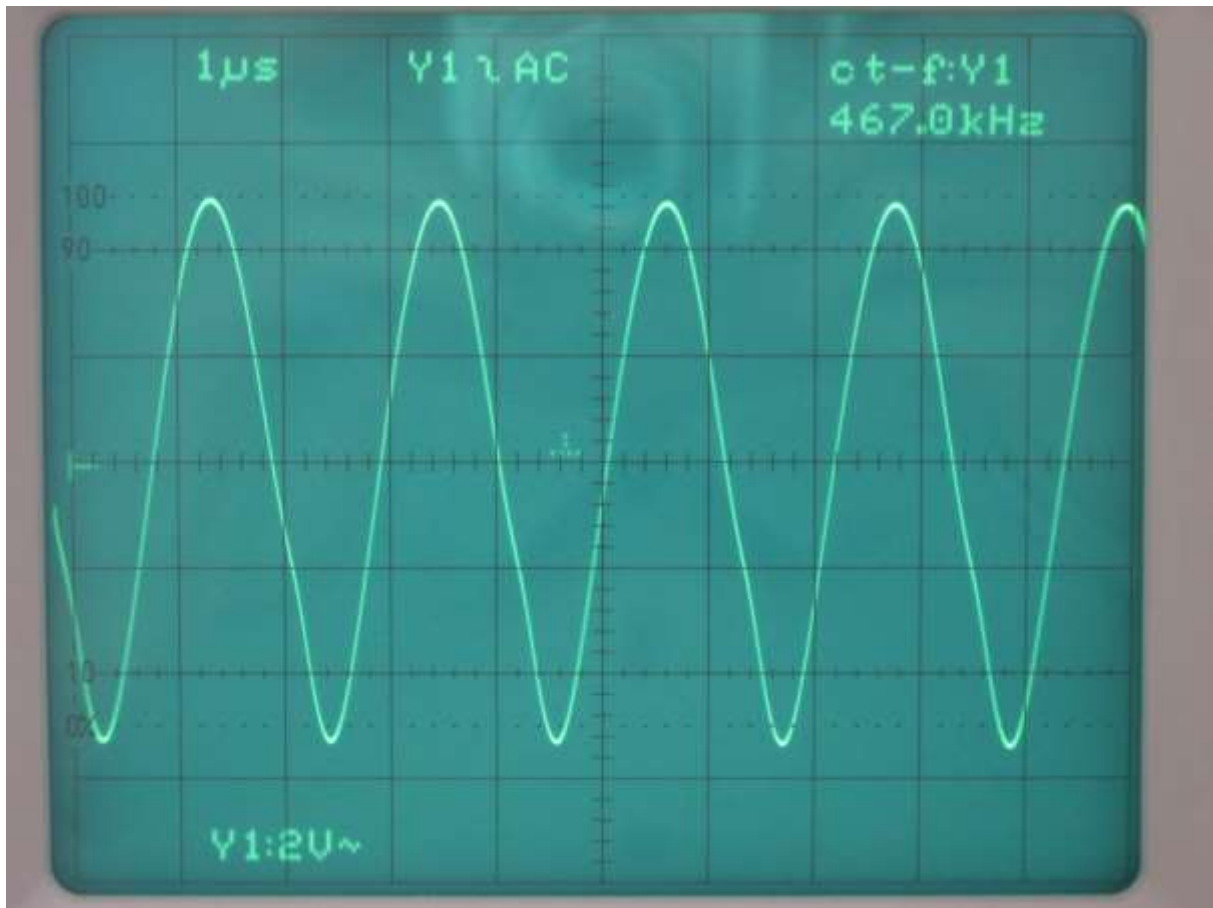


Foto 12 - Uitgang van de tweede lokale oscillator

Na de fase draaiingsfilter is dat nog 1,91 V P-P. Afwachten of dat genoeg zal zijn. Bij het schema van Kainka wordt de uitgang van de tweede lokale oscillator immers rechtstreeks met het schermrooster g2 van de mengtrap verbonden. In mijn variant zit de fase draaiingsfilter er nog tussen, waardoor er dus een lager signaalniveau beschikbaar is aan de oscillatoringang van de mengtrappen.

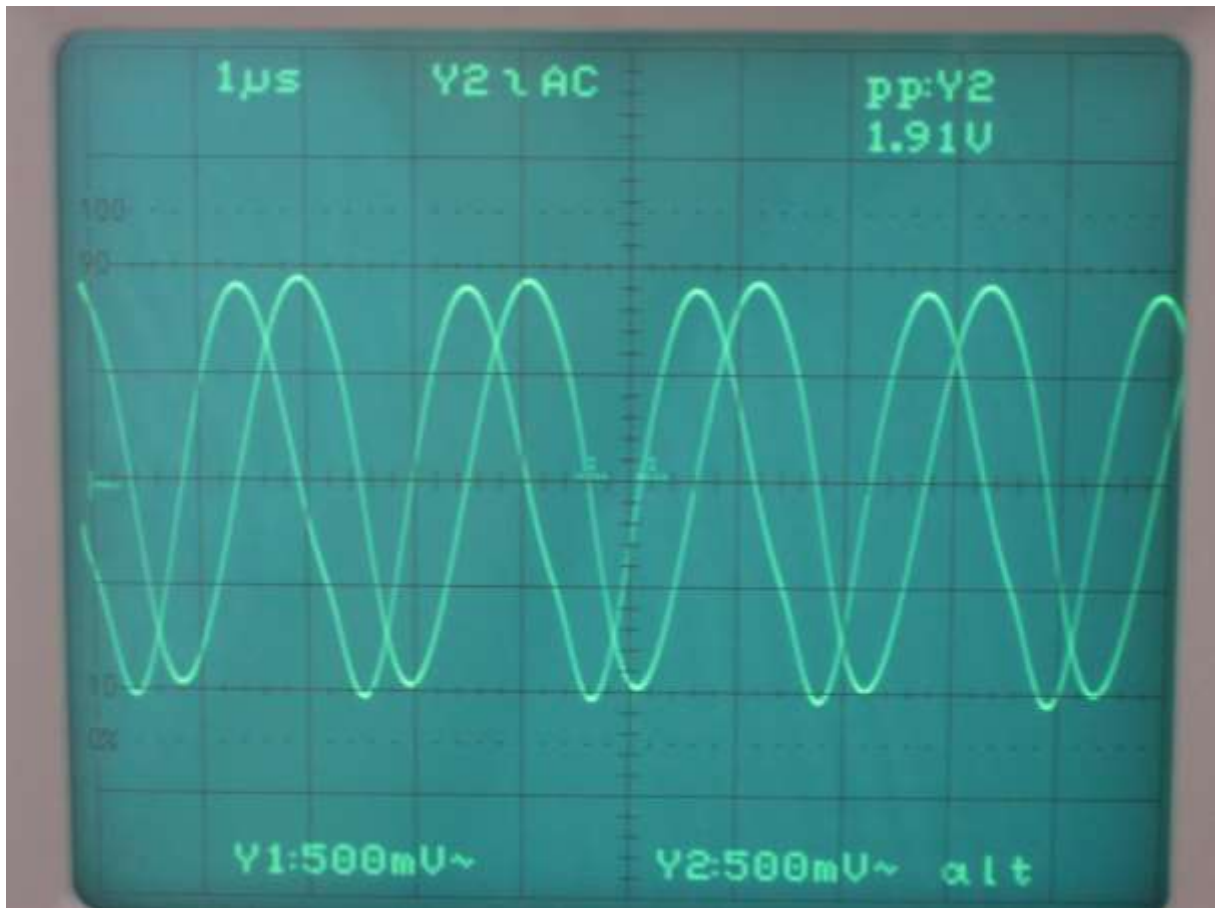


Foto 13 - Op de ingang van de beide mengtrappen

De spanning is wel wat kleiner; dat is uiteraard ook te verwachten: het is een passieve filter en daar is natuurlijk altijd verzwakking op. Maar de fase-draaiing die zit klaarblijkelijk wel goed. Dat blijkt als we de beide signalen op respectievelijk de X en de Y ingang van de oscilloscoop zetten. De figuur van Lissajous die we verwachten bij een fase-draaiing van 90° is een cirkel. De scope toont dat het (net niet helemaal) goed rond draait. De deuk is te wijten aan het feit dat de uitgangspanning van de tweede lokale oscillator wat vervormd is; de onderste helft van de sinus heeft wat van een driehoekgolf.

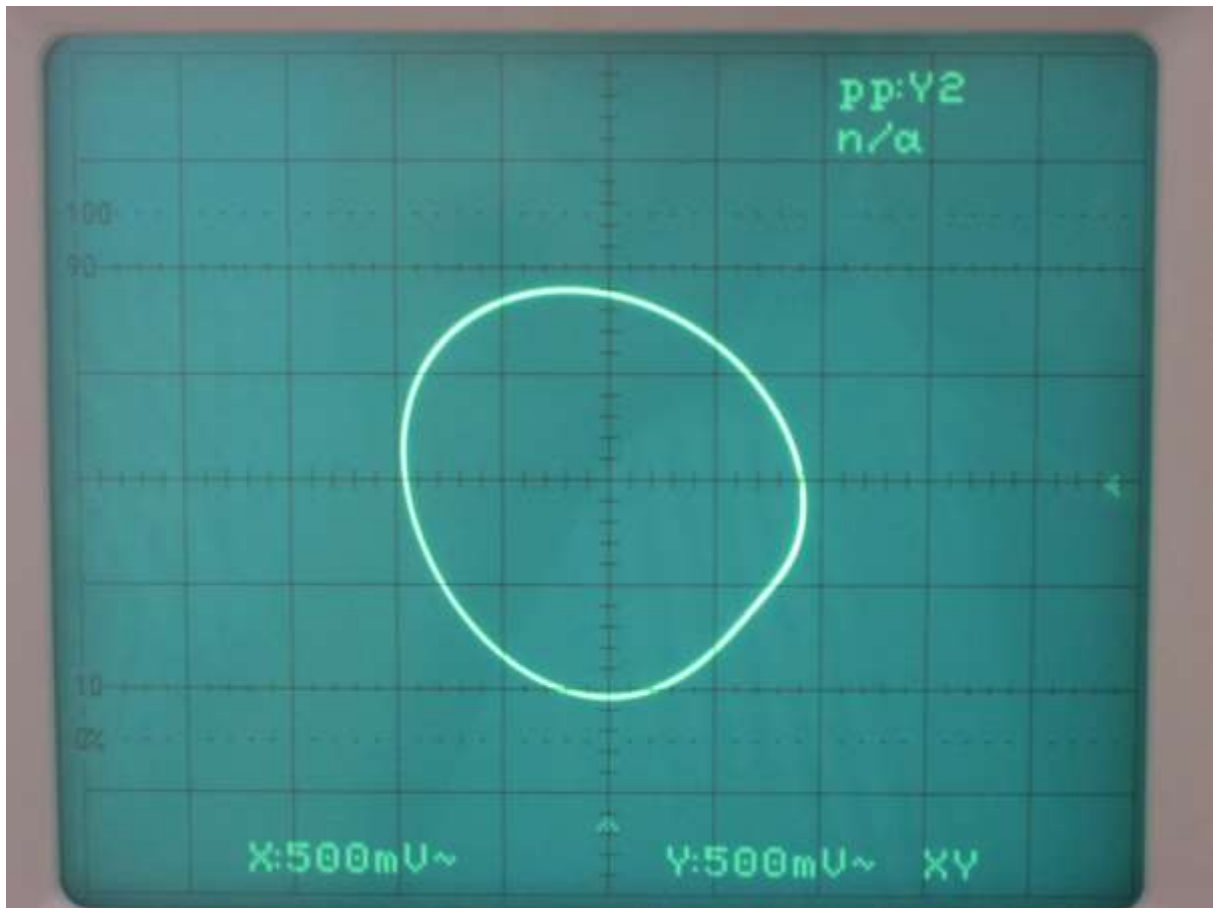


Foto 14 - Het draait (net niet helemaal) rond

Wellicht zal dit voor wat vervorming zorgen in het uitgangssignaal, maar het is nu nog te vroeg om daar iets definitiefs over te zeggen. Het zal moeten blijken of en hoe gevoelig de verschillende SDR programma's zijn voor dit soort vervorming.

De mengtrappen

Volgende stap is dan te kijken of met de verminderde spanning aan de ingang, het uitgangssignaal nog groot genoeg is. Daarom komen nu de mengtrappen aan de beurt.

Een eerste test laat al direct het ergste vrezen: 0 V op de uitgang en geen DC voorspanning op de kathode. Wat is er mis? Die buizen zullen toch niet stuk zijn? Even niet in paniek schieten nu, maar wel even nadenken. De schakeling is nog niet volledig en er is geen signaal op het stuurrooster g1. Sterker: er is helemaal niets aangesloten op het stuurrooster g1. Dus heeft dat rooster alle kans om de elektronen die er langs vliegen te vangen en te accumuleren. Dat zorgt voor een negatieve spanning op het stuurrooster en dus wordt de buis dichtgeknepen. Er kan geen stroom naar de anode vloeien; de kathode trekt dus ook geen stroom en er is bijgevolg ook geen spanningsval over de kathodeweerstand. Precies de symptomen die we net hebben gemeten.

Met een draadje met twee krokodillenklemmetjes wordt het stuurrooster g1 tijdelijk aan de massa gelegd en onmiddellijk verschijnt er een mooie sinus aan de uitgang. 245 mV P-P is niet bijzonder veel, maar a priori zou dat wel moeten volstaan voor de microfooningang van de geluidskaart vermoed ik. Dat zal later moeten blijken. Belangrijker nu is vast te stellen dat beide mengtrappen

effectief een bijna even grote uitgangsspanning afleveren. Het zal dus wellicht toch niet nodig zijn de 24V DC op het schermrooster g2 van de ene te verlagen tot de 19,3 V DC die op het schermrooster van de andere staat.

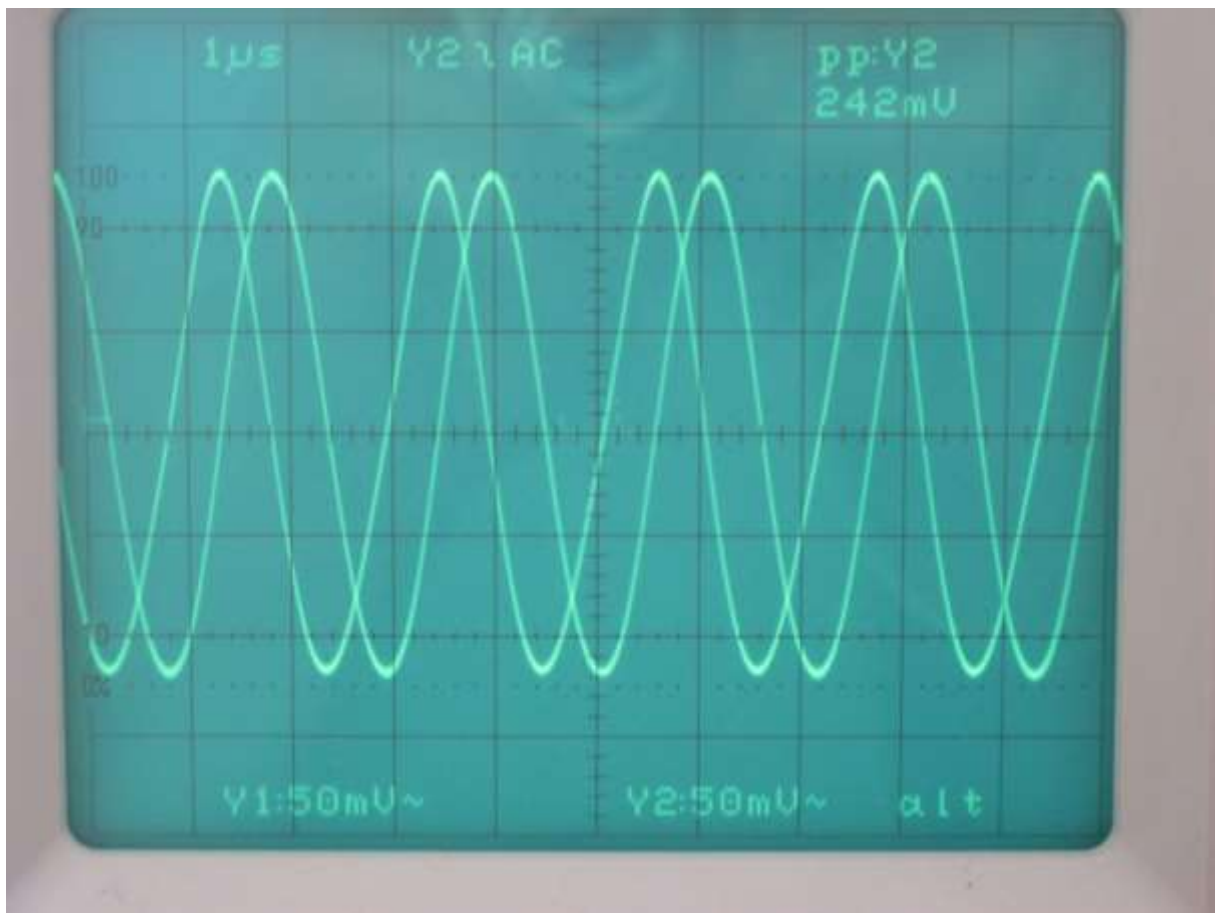


Foto 15 - I en Q

De eerste lokale oscillator

Het enige probleem met de eerste lokale oscillator is het benodigde kristal. Dat moet op de juiste frequentie oscilleren, willen we de zender kunnen ontvangen. Die frequentie is dus de zenderfrequentie verlaagd met de 455 kHz van de middenfrequentiefilter. Het doosje met variakristallen bevat er geen op die frequentie en de lijst die Guy me stuurde vermeldt er ook geen in het juiste bereik. Wellicht zal ik er eentje speciaal moeten laten slijpen. Daarmee wordt dat wellicht het duurste onderdeel in gans de montage.

Voorlopig maar een kristal waarvan de frequentie in de buurt komt gebruiken, dan kan de schakeling in elk geval al worden getest. De kristallenzoektocht zal ik later wel voortzetten.

De oscillator werkt verder zonder problemen, zij het dat ook hier het signaal niet helemaal perfect sinusoidaal is.

Om een en ander toch wat flexibeler te maken zonder het project te denatureren, heb ik een ingang voorzien voor een apart extern op te wekken oscillatorsignaal. Met behulp van een dubbelpolig schakelaartje (bedankt Roger ONL 6570) kan de ingebouwde eerste lokale oscillator worden

losgekoppeld en via de extra ingang kan de schakeling dan van een extern oscillatorsignaal worden voorzien. Het extern oscillatorsignaal wordt op de kathode van de ingangstrap geïnjecteerd. Het schermrooster g2 van de ingangstrap wordt omgeschakeld naar de hoogspanning waardoor het zijn functie van schermrooster weer echt vervuld, waar het met de interne lokale oscillator eigenlijk als tweede stuurrooster wordt gebruikt. Het idee voor deze opstelling komt rechtstreeks van de beschrijving van de variant die Kainka in zijn boek voorstelt met een DDS als eerste lokale oscillator.

De HF trap

De beschrijving in het boek van de HF trap is vrij summier. En de inhoud van de recuperatie-onderdelenschuif is niet in overeenstemming met wat er staat, noch met wat er op de foto van het prototype is te zien. Hier zal moeten worden geëxperimenteerd...

Een wikkeldraad met regelbare ferrietstaaf van 8 mm (dat is wat ik meen te zien op Kainka's foto) heb ik niet. Maar ik heb nog wel een rode T37-2 ferrietringkern en wat dunne wikkeldraad; overschot van een vorig project. Daarmee moet wel iets zijn te doen. Tenslotte is de ingangstrap niet meer dan een simpele parallelresonantietrap met een spoel en een condensator. Als ik de spoel niet regelbaar kan maken, dan maar de condensator variabel maken.

<http://toroids.info/T37-2.php> heeft een handige calculator om het aantal windingen en de draadlengte te berekenen en geeft bovendien de mogelijkheid om een frequentie te specificeren waarbij de kring moet resoneren. De calculator berekent dan de nodige capaciteit. Omgekeerd is het ook mogelijk om de frequentie en de capaciteit te specificeren en de inductie te berekenen. Handig. Even invullen: 6,175 MHz en 300 pF (de frequentie van Radio France International en de capaciteit uit het schema van Kainka) geven een zelfinductie van 2,21 μH bij 23,5 windingen. Kainka spreekt van 20 windingen op zijn spoel, met aftakking voor de antenne op 7 windingen. Dat zit dus wel snor qua orde van grootte.

Nog maar eens het simulatieprogramma er bij halen en wat waarden voor L en C uitproberen. Met 2 μH en 270 pF is er een piek op het hoge einde van de 49 m band en met 330 pF is er een piek op het lage einde van die band. Nu denk ik niet dat ik zomaar een regelbare condensator kan vinden die precies tussen die waarden in te stellen is, maar de orde van grootte is goed en met een vaste capaciteit parallel aan een variabele, eventueel met nog een C-tje in serie met het variabele deel van de kring moet het lukken.

Dus nu eerst maar een kwartiertje priegelen met dat ringetje en een halve meter wikkeldraad. Niet vergeten na 7 toeren een aftakking te maken... Dan de LCR-meter uit het schap halen. 2,45 μH wijst die aan. De laatste toer er weer af halen en de meter wijst 2,19 μH . Close enough! Een C-tje van 270 pF er parallel aan solderen en de Mini-VNA nog eens gebruiken. De piek in de impedantie ligt op 6,178 MHz. Again: close enough!

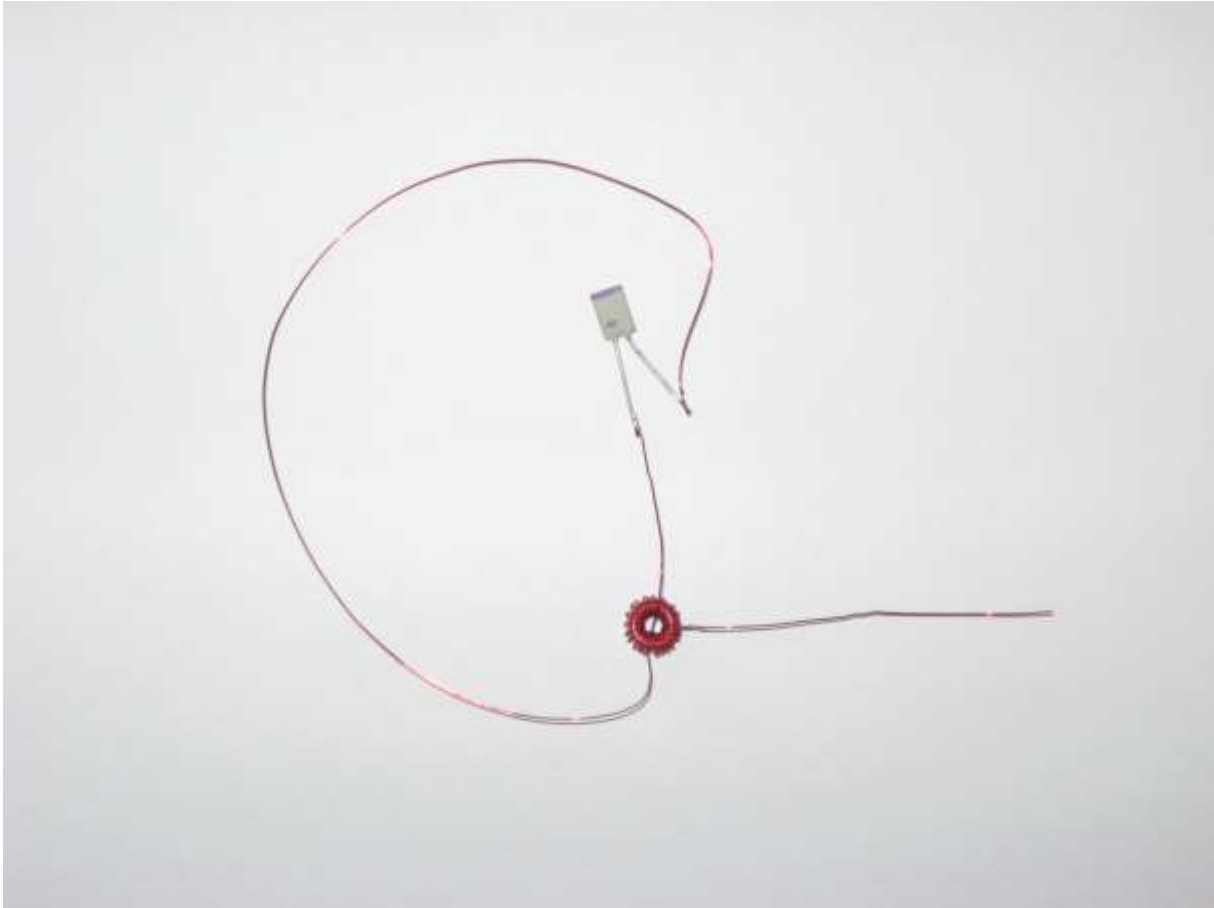


Foto 16 - Het prototype van de ingangskring

De middenfrequentie filter

Geen probleem met de eigenlijke filter; daarvan heb ik er nu trouwens nog twintig over (en ook hier weer heb ik meer betaald aan verzendingskosten dan aan het materiaal...). Maar de beide transformatoren zijn helemaal niet gespecificeerd in het boek. Kainka wil er alleen maar over kwijt dat ze uit een assortiment van bij www.pollin.de komen. Daar word ik natuurlijk niet veel wijzer van.

Een uitgebreide discussie op de volgende maandelijkse vergadering van de club levert de conclusie op dat het met recuperatiemateriaal uit een oude transistorradio wellicht wel zal lukken. Jean-Pol ON4DJP kent de kleuren voor de verschillende functies uit het hoofd. Guy ON4MS heeft me net zulk een setje gegeven. Op hoop van zegen dan maar.

Ik heb wel helemaal geen idee van hoe je die dingen nu precies moet afregelen. Dus dat wordt ook nog wat experimenteren. Misschien kan ik de Mini-VNA nog eens uit de kast halen; die heeft een modus waarmee filters “door te fluiten” zijn. Dat moet mogelijk zijn terwijl alles al gemonteerd is, behalve de anode van de HF trap aan de ingang en de stuurroosters van de mengtrappen aan de uitgang zijn er geen andere onderdelen aangesloten op de filterschakeling. Dus is er niets dat de meting te sterk kan beïnvloeden, lijkt me.

Om de beide trafo's en de filter te monteren, heb ik ze samen op hun zijkant op een stukje printplaat gesoldeerd en vervolgens dat stukje print in het doosje vast gesoldeerd. Drie draadjes voor in, uit en 24 V. Massa is overal.

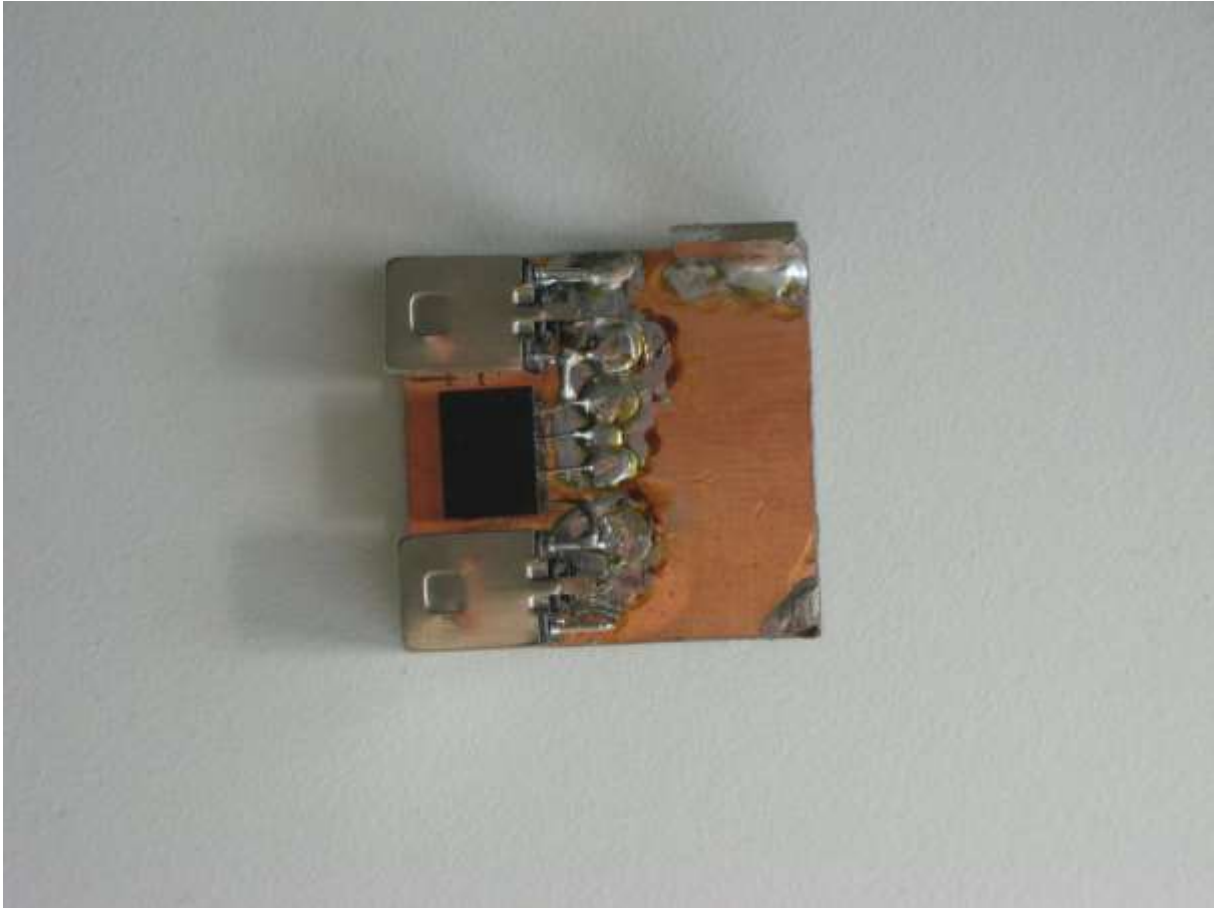


Foto 17 - Middenfrequentfiltermontage

The proof of the pudding...

Eindelijk zijn alle onderdelen gemonteerd.



Foto 18 - Alles zit er in

De vijf buisjes in hun voet gezet, de uitgang aangesloten op de computer en dan de spanning er op. Het programma SDR# starten en de juiste ingang op de PC selecteren en daar is zowaar wat ruis te zien. Maar nog geen signaal... Nu, ja, met een kristal uit de beschikbare voorraad dat op een (veel) te hoge frequentie resoneert om nog in de 49 m band te werken is dat misschien niet zo verwonderlijk. Bovendien zijn de middenfrequent transformatoren, waarvan de karakteristieken ook niet echt bekend zijn, nog niet afgeregeld (ik vraag me trouwens nog altijd af hoe ik dat eigenlijk op een goede manier kan doen).

In elk geval is er duidelijk een microfooneffect te horen: wanneer ik (stevig) op de bodemplaat tik, hoor ik een halve seconde later een ping door de ruis. Die is ook duidelijk te zien op de waterval in SDR#. Dat wijst er op dat er in elk geval signaal genoeg is op de I en Q uitgangen om één en ander te laten werken.

Mogelijk brengt een ander kristal in de eerste lokale oscillator beterschap. Laat ons eens kijken wat er allemaal nog op voorraad is. De doos uitgieten op tafel en één voor één kijken (met de loep, uiteraard) welke getallen er op staan. Uiteindelijk heb ik er eentje gevonden dat op 5,824 MHz resoneert. Plus 455 kHz geeft dat 6,279 MHz, een frequentie die net boven de band valt, maar wellicht toch kortbij genoeg is om nog iets te ontvangen. Even luisteren met de Icom toont dat er een signaal is op 6,2749 MHz; dat moet nog net binnen de 12 kHz bandbreedte te horen zijn. Het is echter een signaal met een modulatietype dat ik niet ken; geen van de modes die de Icom aankan, geeft enige verstaanbare audio. Zou dat misschien een DRM station zijn?

Misschien moet ik toch eens overwegen om een HF signaalgenerator aan te schaffen. Om de HF trap te testen zou het wel zo handig zijn te kunnen starten met een bekend en stabiel ingangssignaal. Dat zou de meting wel een pak eenvoudiger maken. Met een antennesignaal van een zender die dan nog niet juist op de goede frequentie zit, is er eigenlijk geen beginnen aan.

Het blijkt wel dat de spanningen die ik tevoren gemeten had bij het testen van elke trap apart afwijken van de spanningen die ik nu meet met alle buizen geïnstalleerd. Problematisch is dat de DC op het rooster g2 van de beide mengtrappen nu wel een pak verschilt: 14,9 V voor de Q-mengtrap tegen 20,4 V voor de I-mengtrap. Het resultaat is dat de uitgangsspanning nu ook een flink verschil vertoont tussen I en Q: een verhouding van bijna 1 op 2. Dat is zeker te veel afwijking om goed te zijn. Ik denk dat ik de 10 kΩ weerstand voor de I-mengtrap via een potentiometer zal moeten aansluiten zodat de referentiespanning te regelen is.

De voortgang van het project wordt voorgesteld op de maandelijkse vergadering van de sectie BSE. Er komen verschillende suggesties om de middenfrequente trap te regelen.

Eerst en vooral moeten de beide middenfrequent transformatoren dezelfde zijn. Dat is nu niet zo, omdat ik de aanduidingen van Jean-Pol van vorige vergadering verkeerd had begrepen. Bovendien blijkt wat ik voor bruin had gehouden eigenlijk verschenen rood te zijn. Dat maakt de gekozen transformator dus onbruikbaar voor waar ik hem wou inzetten. Het moeten twee gele of twee witte zijn. Nog maar eens in de voorraad kijken en de soldeerbout opwarmen...

Er zijn verschillende mogelijkheden om de prestatie van de middenfrequente trap te meten: een netwerkanalyzer, een ruisbrug en gevoelige scoop of microvoltmeter, een hoogfrequent-generator en scoop, etc. Bedoeling is in de eerste plaats te kunnen vaststellen dat de verzwakking van de volledige trap trafo, ceramisch filter, trafo bij een frequentie van 455 kHz niet veel groter is dan de verzwakking van de keramische filter alleen. Dan moet er worden gekeken hoe de doorlaatkromme er uit ziet: die moet vergelijkbaar zijn met de specificatie van de keramische filter als de transformatoren goed zijn afgeregeld.

De vergadering is het er trouwens over eens dat het volstaat om de buizen uit hun voet te halen tijdens de metingen, het is niet nodig de trap helemaal los te solderen van zijn in- en uitgang, hoewel dat wellicht toch zal moeten om de verkeerde transformator te vervangen.

Metten is weten

Roger ONL 6570 geeft me zijn Leader model LSG-II. Daarmee is er tenminste al één probleem opgelost: ik beschik nu wel over een signaalgenerator... En die leert me al snel dat de enige middenfrequente transformator uit de "zwarte stock" die echt geschikt zou zijn stuk is. Wel signaal aan de primaire, maar niet aan de secundaire. Geen wonder dat er alleen maar ruis te horen was.

Nogmaals de voorraadkast opengetrokken, maar dit keer zonder succes. Er zit niets anders op dan er te bestellen; bij Mouser hebben ze net wat ik nodig heb. En weer kost het (véél) meer om ze te verzenden dan om ze aan te kopen. Dat is wellicht omdat Mouser de waren vanuit Memphis, TN verstuurd, ook al is de bestelling op de Belgische website geplaatst en hebben ze een kantoor in Eindhoven. En dat draagt ook niet bij tot de snelheid van levering, maar geduld is een schone deugd.

Twee splinternieuwe trafo's met de juiste kleur... Nu is het een kwestie van ze goed af te regelen. Eerst elke trafo apart op de impedantie-analyzer aansluiten en op resonantie op 455 kHz regelen en na montage de oscilloscoop en de signaalgenerator nog eens op tafel zetten. Voorzichtig een slag draaien aan de kern van de ingangstrafo van de filtermontage maakt bijna geen verschil uit. De invloed van de uitgangstrafo is veel groter. Netjes afregelen op maximum uitgangsspanning geeft 56 mV P-P voor 250 mV P-P ingangsspanning. Dat is wat minder dan eigenlijk verwacht zou mogen worden, maar genoeg om nog eens een poging te doen. Filteren doet het in elk geval wel degelijk:

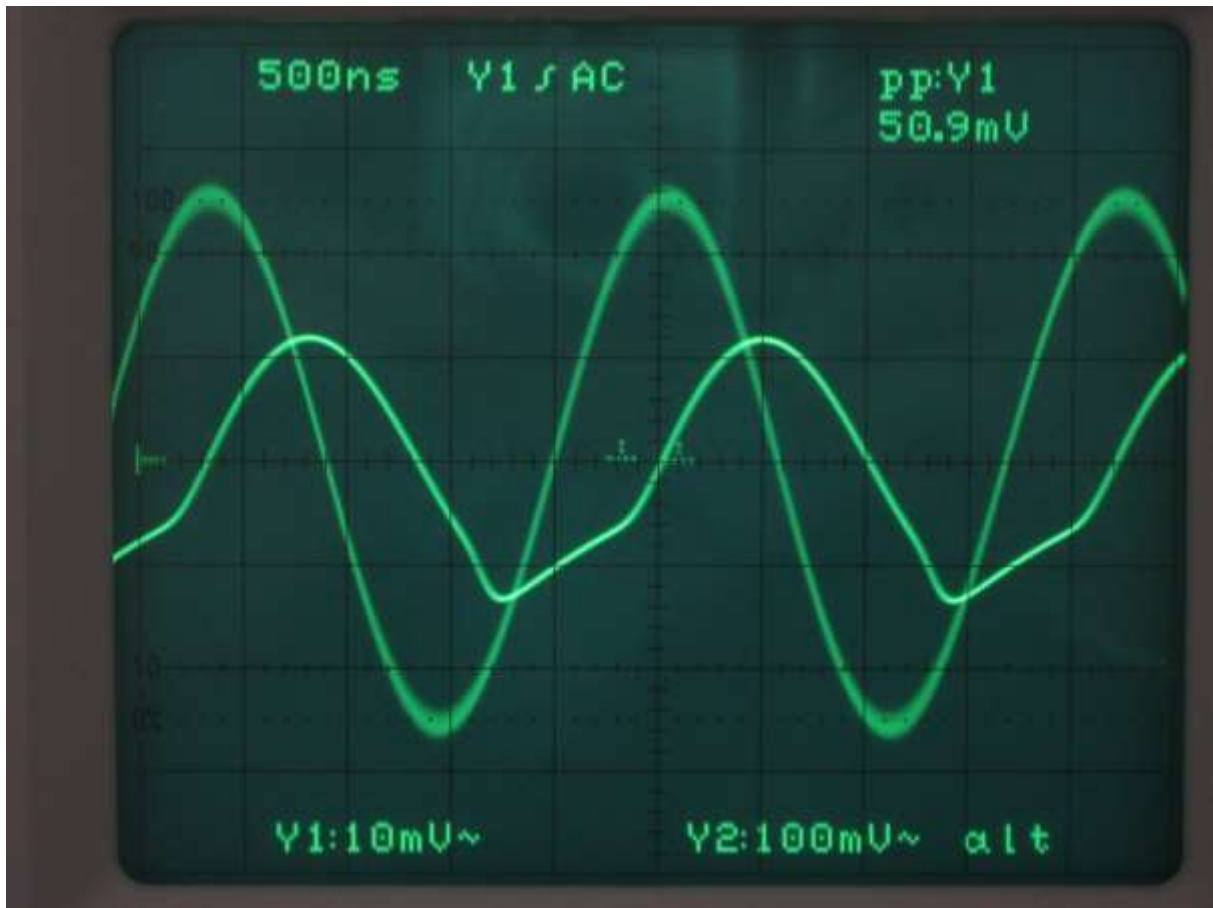


Foto 19 - Filteren doet het wel...

De signaalgenerator heeft eigenlijk een revisie nodig; het ingangssignaal op Y2 is echt geen nette sinusöide, maar het uitgangssignaal op Y1 is dat wel degelijk. Het maximum zit ook precies op 455 kHz.

Omdat de invloed van de regeling van de ingangstrafo bijna niet te meten is heb ik besloten om de ingangskring dan maar op resonantie (maximum impedantie) af te regelen. Daarvoor heb ik de MiniVNA gebruikt. Vanwege de (te) hoge impedantie – het instrument is per slot van rekening gemaakt om rond de 50 Ω te meten – is de absolute waarde wellicht niet helemaal correct, maar het verloop van de curve is duidelijk:

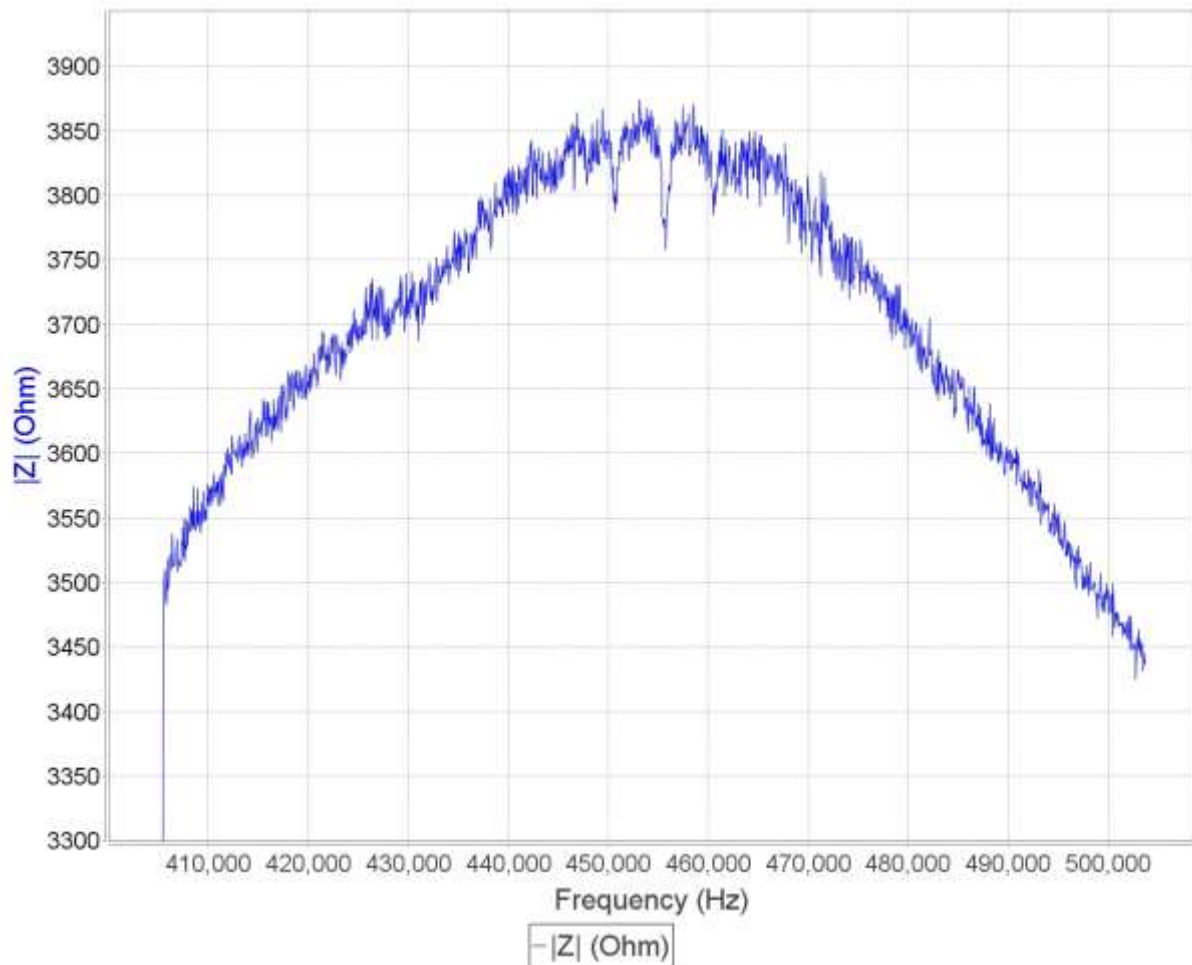


Foto 20 - Maximum impedantie

Netjes gecentreerd rond 455 kHz; uiteindelijk komt het op minder dan een kwart slag van de kern aan. Het verschil in impedantie tussen 449 en 461 kHz (de bandbreedte van de keramische filter dat volgt) valt binnen de ruis. Ik ben niet ontevreden.

En terwijl we toch bezig zijn, nog even voor de sport de impedantie van de antenne-ingang meten. Hmmmm... die is dus niet helemaal zoals verwacht. De piek – en dus de resonantiefrequentie – ligt op 6,5 MHz, dat is dus wat hoger dan wat verwacht mocht worden op basis van de meting aan het prototype. Maar die frequentie kan worden verlaagd door een extra capaciteit parallel aan de bestaande te zetten. Als we die dan nog regelbaar maken is het zeker te corrigeren. Ik heb nog trimcondensatoren van 30 pF... Dat wordt wel priegelwerk om die nog met de juiste oriëntatie (je moet wel nog aan het vijsje kunnen draaien...) op de juiste plaats te krijgen. Het blijkt ook dat de piek vrij smal is. Te smal eigenlijk om gans de 49 m band te bestrijken. Dat is goed voor de selectiviteit en de gevoeligheid, maar maakt een regelbare ingangskring echt wel noodzakelijk. Voor de na-bouwers: misschien beter om de spoel toch niet op een ringkern te wikkelen, maar op een ferrietstaafje. Een beetje lagere Q moet de bandbreedte wat vergroten.

Op de volgende maandelijkse vergadering brengt Alex ON1KNM zijn AVO 163 lampmeter mee.



Foto 21 - AVO 163

Een mooi verzamelstuk en tegelijk een zeer degelijk meetinstrument. Daarmee worden m'n vijf buisjes gemeten:

Buis	I_a (mA)	I_{g2} (mA)
1	9,0	5,5
2	7,5	5,2
3	8,2	4,6
4	8,0	4,8
5	11,0	4,7

Tabel 1 - Karakteristieken van de lampen

Dit alles bij een anodespanning van 150 V, een schermroosterspanning van 150 V en een stuurroosterspanning van -2,3 V, netjes zoals het boek het voorschrijft. Dit zijn niet de spanningen zoals die in mijn schakeling worden gebruikt, maar het geeft toch wel een inzicht in de kwaliteit van de lampen, die dus wel degelijk genoeg verschillen om de verschillen in de gemeten spanningen in de voorgaande experimenten te kunnen verklaren. Ik heb inderdaad niet opgelet om de buisjes telkens op dezelfde plaats in de schakeling te steken. Een punt van aandacht dat in de finale opzet kennelijk toch wel zijn belang zal hebben. Vooral voor de twee eindmengtrappen is het van belang twee buisjes te kiezen waarvan de karakteristieken zo goed mogelijk overeen komen. Nummer 3 en 4 lijken de geschikte kandidaten daarvoor. Nummer vijf is wellicht de juiste kandidaat voor de ingangstrap.

Op diezelfde vergadering wordt ook het definitieve (wel... tot nader order...) schema met de laatste wijzigingen voorgesteld.

Nog een paar dagen vakantie; de soldeerbout nog eens warm stoken en de laatste wijzigingen ook in de echte schakeling maken. Daarbij stel ik vast dat er toch nog een (allerlaatste?) wijziging van het schema nodig is. Inderdaad, zoals het werd voorgesteld op de laatste vergadering wordt alleen het gelijkspanningsreferentiepunt van één van de twee R-C filters voor de eindmengtrappen geregeld door de potentiometer. Dat zou een afwijking op de 45° fase kunnen veroorzaken. Dus moet ook het referentiepunt van de andere C-R filter worden geregeld door diezelfde potentiometer. Het is van belang dat beide filters hun referentie op hetzelfde punt hebben om de 90° fasedraaiing te behouden. De condensator in de ene tak houdt de gelijkspanning toch tegen; de spanning op het rooster g2 van V5 wordt dus uitsluitend bepaald door de verhouding van de vaste weerstanden tussen het rooster en de hoogspanning (en door de stroom die er doorheen gaat, uiteraard). Het pootje van de condensator moet dus ook worden los gesoldeerd en met de loper van de potentiometer worden verbonden.

Nadat de buisjes op hun juiste plaats zijn gestoken, rekening houdend met de resultaten van de metingen en nadat de potentiometer even is bij-geregeld, krijgen de beide eindmengtrappen nu dezelfde gelijkspanning van 14,4 V op hun respectieve roosters g2. Hopelijk ligt het niveau van het uitgangssignaal van beide uitgangen nu ook wat korter bij elkaar. De ingangskring wordt afgeregeld zodat de resonantiefrequentie kort in de buurt van 6,279 MHz komt en dan kunnen we de SDR# programma nog eens opstarten en testen. Natuurlijk is er op die frequentie nu geen signaal te bekennen. Dan maar zelf een korte (piraat-) uitzending doen op dummy load, gewoon in AM. En effectief: ik hoor mezelf. Succes!

Herinner u het signaal op 6,2749 MHz. Daar valt nog altijd niets van te maken. DReaM herkent het ook niet; het is dus ook geen DRM.

Op de laatste vergadering van 2017 van de sectie BSE wordt het uiteindelijke resultaat getoond. Omdat de Icom veel te zwaar om dragen is, gebruik ik de signaalgenerator met zijn mogelijkheid om het hoogfrequent signaal in amplitude te moduleren met een 1 kHz toon. En effectief: het fluit dat het een lieve lust is.

Verdere metingen tonen aan dat er behoorlijk veel 467 kHz storing op de I en Q uitgangen zit. Misschien is dat wel de reden waarom de gevoeligheid niet zo groot is. De microfooningang van de soundkaart van de PC pikt dat signaal uiteraard niet op omdat die slechts audiosignalen – dus lager dan ongeveer 20kHz – kan verwerken, maar het is best mogelijk dat er een invloed is op het ingangscircuit. Stefan ON6TI had al gesuggereerd dat dit problematisch zou kunnen zijn en stelde voor om de spanningsdeling met de condensatoren van 22 nF en 330 pF te vervangen door een laagdoorlaatfilter. Misschien moet ik die suggestie maar volgen.

Op <http://sim.okawa-denshi.jp/en/CRLowkeisan.htm> is er een RC Low-pass Filter Design Tool beschikbaar. Eens kijken wat er nodig is om een laagdoorlaatfilter met kantelfrequentie van 40 kHz te realiseren. Het tool stelt een weerstand van 12 kΩ voor als ik de condensator van 330 pF wil behouden. Ik heb nog weerstanden van 10 kΩ; als ik de combinatie van 10 kΩ met 330 pF invoer komt de berekening uit op een kantelfrequentie van 48,2 kHz. Bij 20 kHz geeft dat een verzwakking

van 0.7 dB, bij 467 kHz een verzwakking van 20 dB. Ik zal de soldeerbout dan toch nog maar eens opwarmen...

Ik moet wel opletten: als ik de condensator van 22 nF vervang door een weerstand dan komt er gelijkspanning (de hoogspanning op de anode van V4 en V5) op de uitgang te staan en dat is potentieel dodelijk voor de soundkaart. Het lijkt me het beste de condensator van 22 nF te behouden, maar hem achter de laagfoorlaatfilter te zetten.

Met die laatste(?) wijziging aangebracht is er nog 39 mV P-P à 467,7 kHz te zien op de I-uitgang en 19 mV P-P op de Q-uitgang. Inderdaad behoorlijk wat minder dan tevoren. De gevoeligheid is daarmee niet echt verbeterd, maar de pieken van de modulatie zijn nu toch wel beter te onderscheiden in de waterval van SDR#.

Het duurste onderdeel

Aangezien er kennelijk geen DRM zenders overblijven in de 49m band, heb ik besloten om een andere frequentie te kiezen. Deutsche Welle zond vroeger uit op 6070 kHz, maar heeft ondertussen alle AM uitzendingen gestaakt. Rainer DB8QC en een groep Duitse radioamateurs hebben de zender kunnen recupereren en hebben ook de toelating bekomen om op de bijbehorende frequentie uit te zenden in AM. Om het dan toch nog bij een radioamateurproject te houden, heb ik dus een kristal besteld op 6,525 MHz (6070 kHz + 455 kHz middenfrequent). Dat is daarmee gelijk het duurste onderdeel van gans de montage:



Foto 22- Het duurste onderdeel

Ik heb het niet gevraagd, maar ik vermoed dat als ik er 1000 dezelfde had besteld, ik wellicht niet echt veel meer had moeten betalen. Het stellen van de machine...

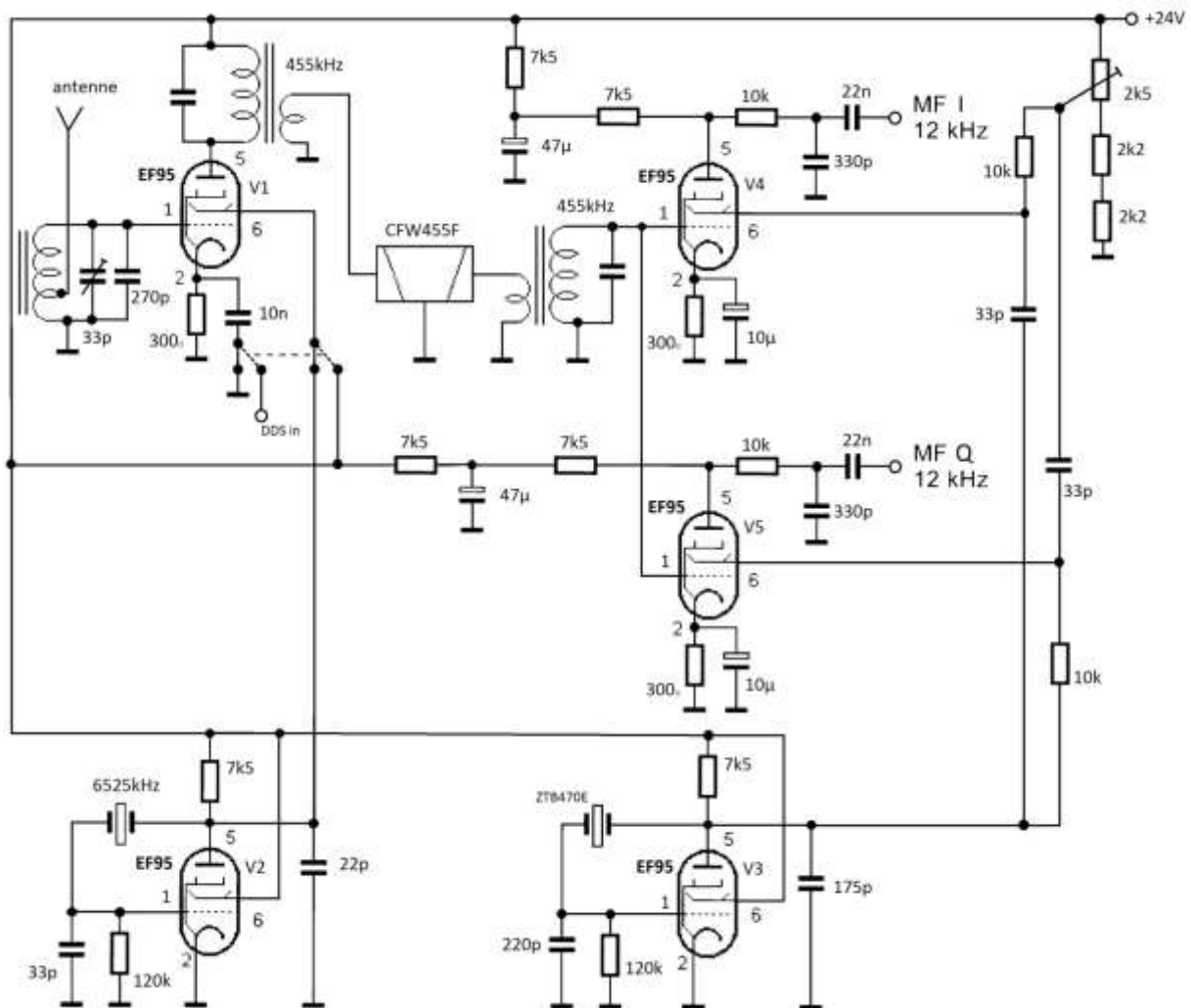
Zeer degelijk verpakt, het moet gezegd.

De ingangskring werd op 6070 kHz afgestemd en op de laatste vergadering van de sectie werd het geheel dan gedemonstreerd. Het blijkt dat de ingangstrap redelijk doof is. OK, mijn antenne is niet afgestemd om 49 m, maar toch. De consensus van de vergadering is dat het wellicht de ringkern is die de ingangskring te selectief maakt. Het blijkt inderdaad dat de piek in impedantie op de resonantiefrequentie – die met de Mini VNA heel goed te meten is – zeer scherp en smal is. Een AM signaal vereist 9 kHz bandbreedte en die heeft de ingangskring in zijn huidige vorm niet.

Maar het werkt dus wel: wanneer ik zelf op die frequentie in AM uitzend op dummy load hoor ik mezelf wel degelijk in de luidpreker van de computer die het SDR# programma draait.

De spoel van de ingangskring zal moeten worden vervangen door een exemplaar met een kleinere Q om de bandbreedte van de kring te vergroten. De selectiviteit is nu zo groot dat een AM signaal er niet meer door geraakt.

Het schema



Figuur 4 - Het schema

Alle in- en uitgangsspanningen nemen hun referentie ten opzichte van massa.

V1 is de HF ingangstrap die tegelijk dienst doet als eerste mengtrap.

V2 is de eerste lokale oscillator.

V3 is de tweede lokale oscillator. Met de gegeven waarde van de capaciteiten draait die op 467 kHz, ondanks de specificatie van 470 kHz van de keramische resonator.

V4 en V5 zijn de uitgangsmengtrappen voor respectievelijk I en Q. Let op de opstelling van de condensatoren van 33 pF en de weerstanden van 10 kΩ aan de rechterkant van het schema, die zorgen voor de fase draaiing van twee maal 45° zodat het signaal van de lokale oscillator met 90° faseverschil op de respectieve roosters terecht komt. De twee weerstanden van 2k2 zorgen ervoor dat de regeling van de potentiometer wat vlotter verloopt, het spanningsbereik op de looper gaat ongeveer van 15 tot 24 V. Daardoor is de slag wat groter dan het geval zou zijn geweest als ik een potentiometer van 10 kΩ zonder extra weerstand had gebruikt. Merk op dat de gelijkspanning op de looper van de potentiometer geen invloed heeft op de gelijkspanningscomponent van het signaal op

het rooster g2 van V5 aangezien de gelijkspanning wordt geblokkeerd door de condensator van 33 pF.

Conclusie

Het project heeft behoorlijk wat tijd en moeite gekost voor een al bij al vrij beperkt resultaat. Het is inderdaad zo dat het met minder middelen en inspanning mogelijk is een AM ontvanger van goede kwaliteit te bouwen. Sommigen zullen het project daarom zelfs als een mislukking beschouwen. Daar staat tegenover dat het aanleiding heeft gegeven tot vele uren geanimeerde discussie over radiotechniek en aanverwante onderwerpen en tot samenwerking binnen de sectie. Voor mij is vooral dit laatste een belangrijk resultaat en het succes van het project.

Verdere experimenten met de DDS ingang staan nog op het programma. Wellicht zal daarvoor de ingangskring moeten worden aangepast om een bredere doorlaatband te bekommen.

Dank aan Burkhard Kainka voor het idee en voor de toestemming om het gewijzigde schema te publiceren. Dank ook aan Guy ON4MS, Alex ON1KNM, Jean-Pol ON4DJP, Roger ONL 6570, Paul ON4QH en Stefan ON6TI voor de bijdrage aan materiaal en de constructieve kritiek gedurende het hele project.

Naschrift

DRM is duidelijk een voorbije mode. Buiten de erg lokale uitzendingen in Duitsland en vooral India zijn er nog erg weinig broadcast stations die deze mode gebruiken. De site <http://www.drm.org> wordt nog maar sporadisch bijgewerkt; het programmarooster van de BBC gaat op het moment dat we dit schrijven (eind december 2017) tot oktober 2017... Andere web sites die de DRM mode vermelden of er programmaroosters voor geven zijn nog nauwelijks te vinden. Het is dus een goede zet geweest om de I en Q uitgangen te voorzien om op die manier ook andere SDR programma's en modes te kunnen gebruiken.

Woordenlijst en afkortingen

DDS	Direct Digital Synthesis	Het op digitale wijze opwekken van analoge signalen.
DRM	Digital Radio Mondiale	Een standaard voor digitale radio op de lagere frequentiebanden.
GIYF	Google Is Your Friend	
IC	Integrated Circuit	
NOS	New Old Stock	Producten die technisch nog nieuw zijn, maar lange tijd niet meer werden verkocht.
P-P	Peak-to-Peak	
SDR	Software Defined Radio	

Tabel 2 – Afkortingen

A	Anode
---	-------

g1	Stuurrooster
g2	Scheragrooster
g3	Keerrooster
K	Kathode

Tabel 3 – De pentode