

Technische notities PA3FWM

Breedbandige actieve antennes voor het HF-gebied

De meest gangbare actieve antennes zijn verticale E-veld-probes: 'voelers' voor het elektrische veld. Ze bestaan uit een metalen plaatje of staaf, een goede aardaansluiting of aardvlak, en een versterker. Die versterker 'meet' a.h.w. het potentiaalverschil tussen het plaatje of de staaf enerzijds, en het aardvlak anderzijds. Daartoe heeft hij een hogeingangsimpedantie, en een lage uitgangsimpedantie om een 50Ω-kabel te kunnen aansluiten. Zie ook [6].

Wellicht het meest bekende voorbeeld hiervan is tegenwoordig de MiniWhip naar het idee van PAORDT uit 2006 [1], maar het principe is al meer dan 50 jaar oud, en voor de versterker zijn al vele schakelingen gepubliceerd.

Australische schakeling

Onlangs stuitte ik op [2], een beschrijving van een actieve antenne die blijkbaar in 2018 in opdracht van het Australische leger is ontworpen. Het opvallende aan dit document is hoe omvangrijk het is; het bevat een grondige theoretische analyse maar belicht daarnaast ook praktische kanten.

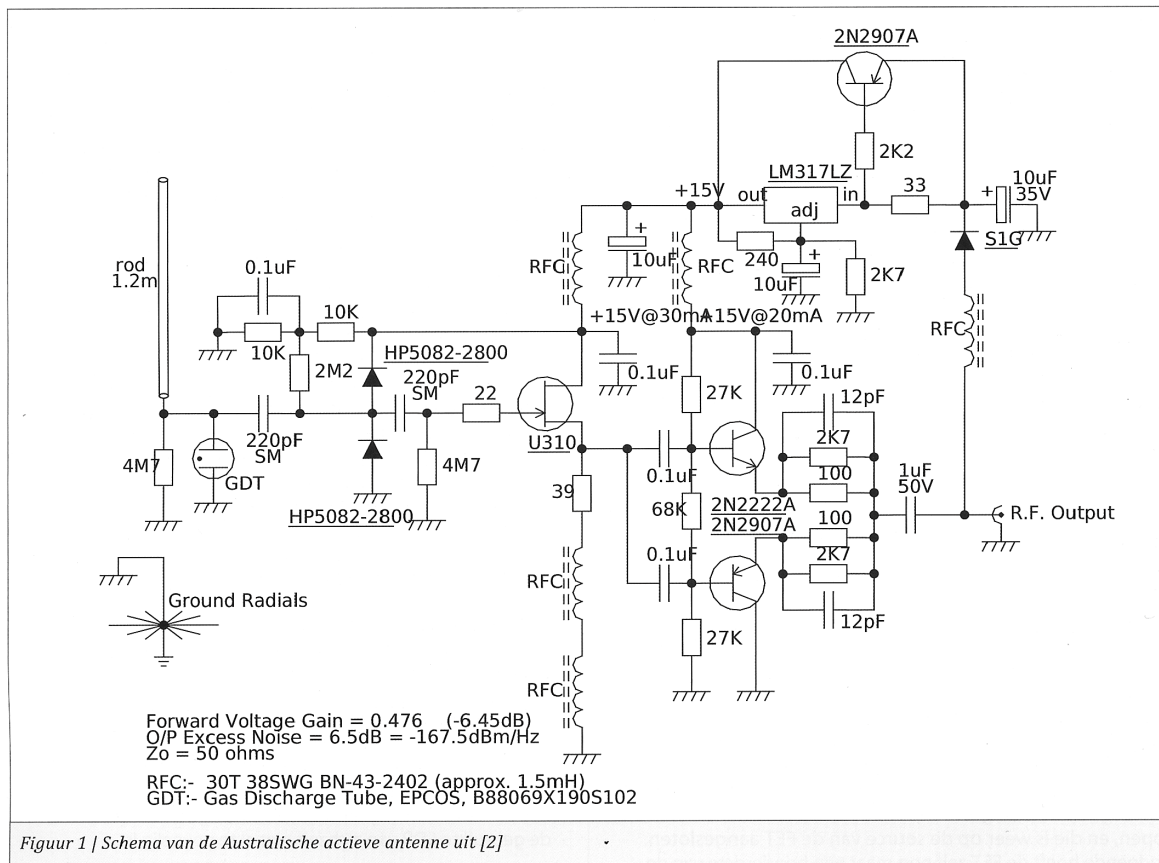
De schakeling staat in figuur 1. Dit is een zeer gangbaar concept voor dergelijke actieve antennes: een combinatie van een sourcevolgervolger en een emittervolgervolger (hier met als FET

een U310) heeft een zeer hogeingangsimpedantie, om de spriet niet te belasten. Maar de sourcevolgervolger kan niet direct met 50Ω belast worden zonder te veel vervorming (intermodulatie) te geven. Daarom wordt er een emittervolgervolger achter gezet, die dat wel aankan. In dit ontwerp is de emittervolgervolger complementair uitgevoerd, dus met een NPN- en een PNP-transistor. Tussen spriet en FET zitten wat onderdelen ter bescherming tegen overspanning, en rechtsboven zien we een spanningsregelaar en fantoomvoeding via de coaxkabel.

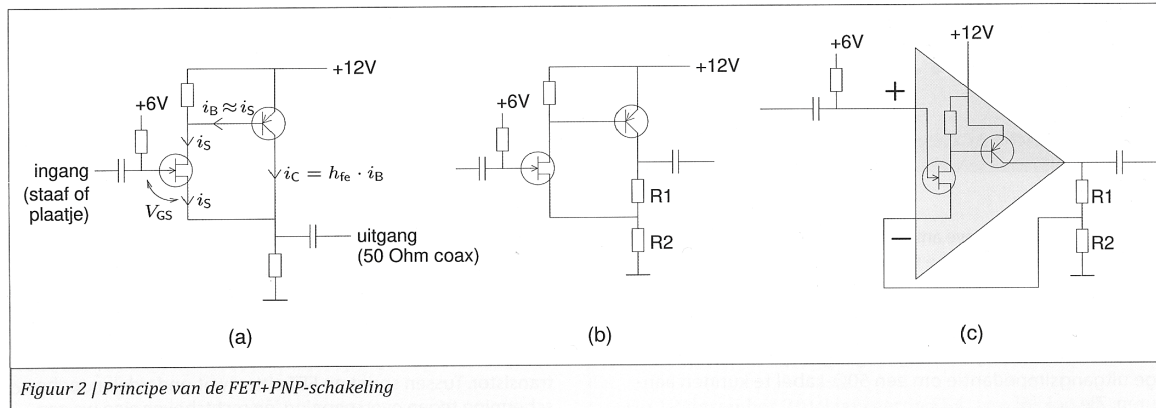
In de 75 pagina's van [2] worden alle details van de schakeling doorgenomen en geanalyseerd, evenals de praktische opbouw met een aantal foto's. Ik noem hier even een aantal zaken die ik opvallend vond.

- Voor de seriecondensatoren van 220 pF aan de ingang wordt zilverbica aanbevolen; sommige gewone keramische condensatoren kunnen in dit soort hoogimpedante schakelingen blijkbaar veel ruis bijdragen.

- In de source van de FET zijn twee smoorspoelen geschakeld. Doel hiervan is dat voor hoogfrequent de FET een hoge belastingsimpedantie ziet (i.p.v. de 39 Ω die de gelijkstroom ziet). Het document benadrukt dat je hier beter zelfgewikkelde spoeltes



Figuur 1 | Schema van de Australische actieve antenne uit [2]



Figuur 2 | Principe van de FET+PNP-schakeling

voor kunt gebruiken (volgens de instructies in het schema) dan kant-en-klare smoorspoeltjes, omdat laatstgenoemde een lagere Q hebben. (De uitleg die hiervoor wordt gegeven doet overigens wat zweverig aan; men spreekt over een 'inductive kick effect' zonder dit met een berekening te onderbouwen.) Er worden twee spoeltjes in serie gezet om de strooicapaciteit en verliezen te verkleinen t.o.v. het gebruik van één groter spoeltje.

- Het intermodulatiegedrag van de complementaire emittervolger is apart gemeten, zonder de sourcevolger ervoor. Dat blijkt zeer goed te zijn: OIP2 = +110 dBm en OIP3 = +56,5 dBm, ondanks het gebruik van alledaagse transistoren zoals de 2N2222 en 2N2907. Dat die transistoren hiervoor heel geschikt zijn, had N7ZWY trouwens ook al gemerkt [3]. De antenne als geheel haalt +79,6 en +39,6 dBm, waaruit blijkt dat de sourcevolger de beperkende factor is voor de intermodulatie.

- De extra PNP-transistor bij de spanningsregelaar helpt om minder ruis op de voedingsspanning te hebben.

Geïnteresseerden in dit soort antennes raad ik aan het hele document op z'n minst 'ns door te bladeren.

Alternatieve schakeling zonder emittervolger

Verreweg de meeste schakelingen voor actieve antennes volgen het bovengenoemde principe, namelijk een FET als sourcevolger gevolgd door een of meer bipolaire transistoren als emittervolger.

In een oud boekje dat ik op een radiomarkt vond [4] trof ik een ander principe aan, dat ik sindsdien (je gaat er dan toch op letten) nog een paar keer ben tegengekomen. Dat boekje noemt een artikel in Elrad [5] als bron, maar wie dit voor het eerst heeft voorgesteld voor actieve antennes blijft onduidelijk, want in Elrad staat geen auteur of eerdere bron aangegeven. Zie figuur 2(a) voor het principeschema.

We zien wederom een FET die, als we even de PNP-transistor wegdenken, als sourcevolger geschakeld is en direct de 50Ω-belasting aanstuurt. Zoals hierboven al gemeld gaat dat niet goed, de FET wordt dan te zwaar belast.

Maar daar komt de PNP-transistor te hulp. Als de FET wat meer stroom via z'n source naar die laagohmige belasting moet leveren, loopt diezelfde stroom ook door z'n drain. En via die drain loopt die extra stroom door de basis van de PNP-transistor (de stroom door de drainweerstand is praktisch constant, want daarover staat immers de bijna constante 0,6 volt basis-emitterspanning). Dan zal de PNP-transistor z'n best doen om een zeg 100 keer zo grote stroom door z'n collector te laten lopen, en die is weer op de source van de FET aangesloten: zodoende hoeft de FET zelf nog maar een honderdste van de

stroom voor de belasting te leveren, de rest doet de PNP-transistor. Anders gezegd, het lijkt alsof de FET slechts met 5 kΩ i.p.v. 50 Ω belast is!

(Je kunt zo'n schakeling overigens ook maken met een NPN-transistor op de plek van de FET; die combinatie wordt wel een Sziklai-paar genoemd, en is vergelijkbaar met de bekendere Darlington-schakeling.)

Een andere manier om naar de schakeling van figuur 2(a) te kijken, is hem te zien als een regellus met terugkoppeling. De schakeling probeert voortdurend om het uitgangssignaal het ingangssignaal te laten volgen. Als de uitgangsspanning bijvoorbeeld te hoog zou zijn, wordt de G-S-spanning kleiner, de drainstroom kleiner, de basisstroom kleiner, de collectorstroom kleiner, en zodoende de uitgangsspanning kleiner.

Als we nu in de terugkoppeling een spanningsdeler opnemen, kunnen we de schakeling ook spannings *versterking* geven, zie figuur 2(b), iets wat met pure spanningsvolgers niet lukt. De spanningsversterking wordt door de verhouding R1/R2 bepaald, net als bij een opamp, zie ter vergelijking figuur 2(c). R1 en R2 kunnen ook schakelingen met spoelen en/of condensatoren zijn, om een bepaalde frequentiekenarakteristiek te bereiken.

Is deze schakeling nou beter dan de gangbare schakeling (sourcevolger + emittervolger)? Je zou kunnen hopen dat deze schakeling minder intermodulatievorming heeft. Immers, in de gangbare schakeling zit tussen ingang en uitgang de spanningsval over twee niet-lineaire onderdelen, namelijk de G-S-overgang van de FET en de B-E-overgang van de NPN-transistor. In de alternatieve schakeling zit tussen in- en uitgang alleen nog maar de G-S-overgang. Maar, zoals in het Australische artikel al werd opgemerkt, bij een goed opgebouwde complementaire emittervolger is de ingangstrap met de FET de beperkende factor qua intermodulatie, dus die extra niet-lineaire B-E-overgang is niet echt het probleem.

Met mijn opbouw, figuur 3, haal ik een OIP3 van 40 dBm en een OIP2 van 70 dBm. Dat laatste is wat slechter dan met de Australische schakeling, maar het was wel beter dan met de simpelere schakeling (FET met een enkele NPN-transistor als emittervolger) die ik eerder gebruikte.

De WebSDR van de Universiteit Twente werkt sinds december 2017 met een variant van deze schakeling. Hier gebruiken we de mogelijkheid om het terugkoppelnetswerk zo te dimensioneren dat we bovenin de HF-band wat meer versterking hebben. Dat is nodig omdat we een lange kabel hebben en de gebruikte SDR van zichzelf niet al te gevoelig is.

Een probleem is overigens wel de verkrijgbaarheid van de transistoren. De BF862 is een zeer geliefd FETje voor actieve antennes, vanwege z'n zeer lage eigen ruis en geringe ingangscapaciteit, maar is helaas sinds vorig jaar uit productie. Vaak wordt een J310 of U310 gekozen zoals in het Australische ontwerp, maar die ruist wat meer, en in mijn schakeling haalde ik daar ook minder goede intermodulatie-eigenschappen mee. Ook PNP-transistors die hoge frequenties en een beetje vermogen aankunnen, worden schaars; de 2N5583 en BFQ149 zijn niet meer in productie.

Ingangsfiler

Actieve HF-antennes worden in dicht bevolkte gebieden gauw overstuurd door FM-omroepzenders; twee zenders tussen 88 en 108 MHz geven dan een tweede-orde-intermodulatieproduct dat ergens tussen 0 en 20 MHz belandt.

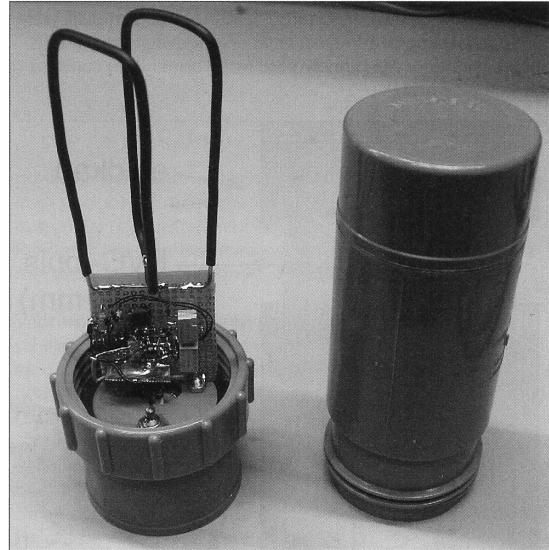
Een steil filter voor de versterker zetten gaat haast niet vanwege de hoge en capacitieve impedantie van zowel de spriet als de versterkingang. Om toch een beetje te filteren gebruik ik een spoeltje gewikkeld op een BN43-2402 ferrietkernje. Dit spoeltje vormt een laagdoorlaatfilter met de ingangscapaciteit van de schakeling. In principe zou zo'n L/C-combinatie natuurlijk ook ergens gaan resoneren, maar dat is de reden om hier type-43 ferriet te gebruiken: boven ca. 10 MHz nemen de verliezen in dit materiaal toe, waardoor het spoeltje zich daar steeds meer als weerstand gaat gedragen.

Maar het blijft een compromis en is niet geheel afdoende: als de plaatselijke FM-piraat z'n zender aansteekt, heeft de WebSDR nog steeds wat last van intermodulatie.

Praktische opbouw

Figuur 4 toont de antenne die sinds eind 2017 bij de WebSDR in bedrijf is. De opbouw die we hier gekozen hebben kan natuurlijk ook met andere schakelingen worden gebruikt.

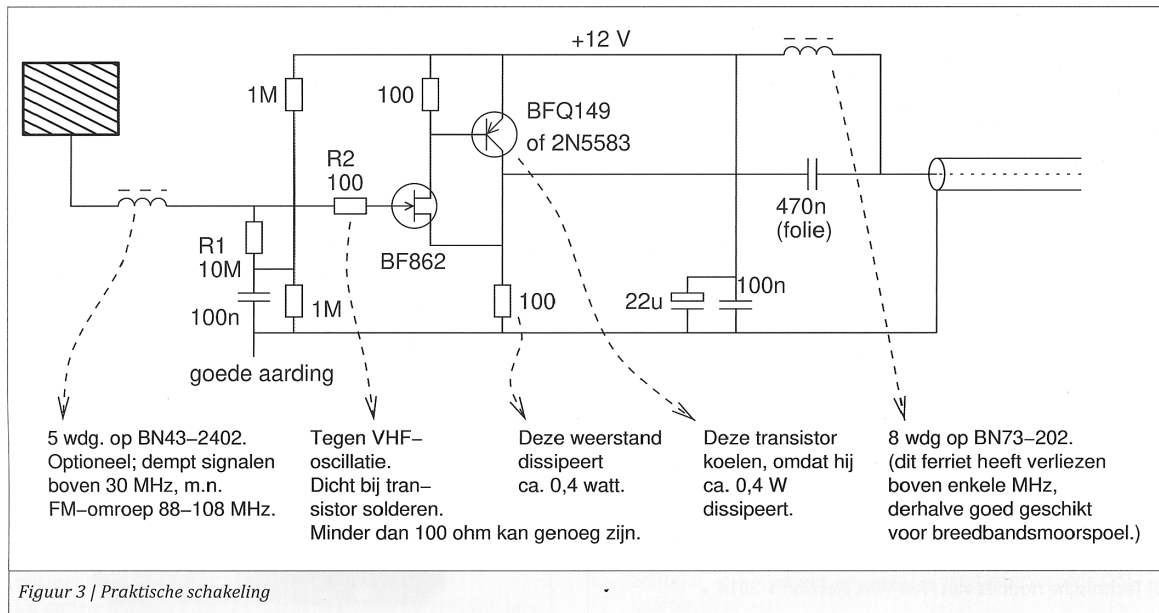
In plaats van een metalen plaatje, zoals gebruikelijk in miniwhip-antennes, gebruik ik een als twee rechthoeken gebogen stuk koperdraad. Het lijkt misschien een spoel met twee windingen, maar dat is het niet: de beide uiteinden en de 'middenaftakking' zijn aan elkaar verbonden. Zo'n rechthoek van koperdraad is niet beter, maar ook niet slechter dan een metalen plaatje.



Figuur 4 | Antenne van de Twentse WebSDR

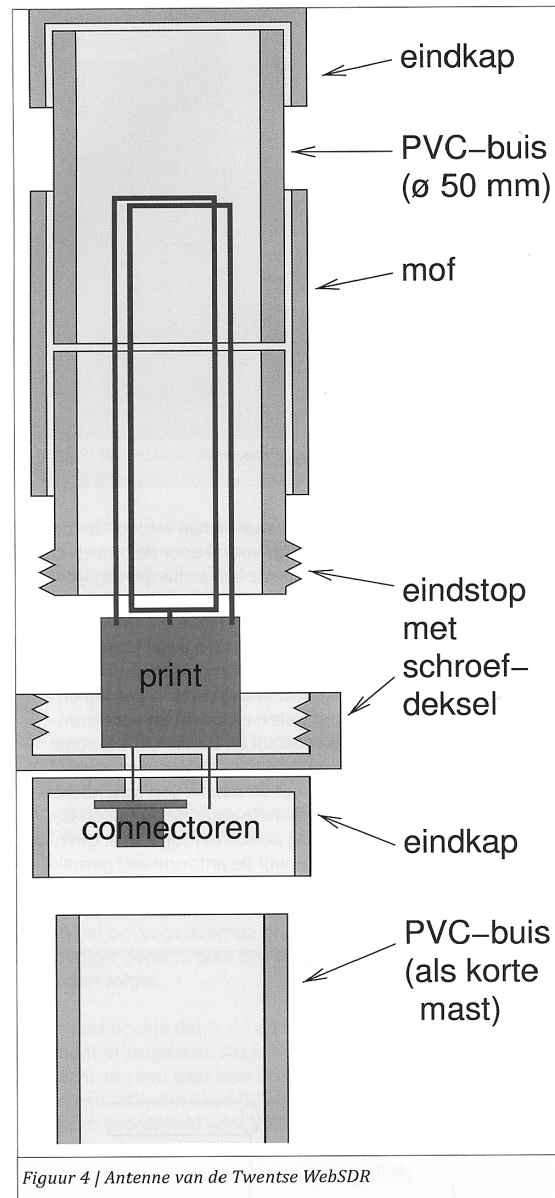
Uiteindelijk gaat het erom dat het stuk metaal voldoende capaciteit heeft, en de capaciteit wordt vooral door de omtrek bepaald; het middenstuk van het plaatje kun je dus gevoelig weglaten, waarna een lus overblijft. Zie ook de beschouwing in [7].

De behuizing bestaat uit een paar aan elkaar gelijmde pvc-onderdelen uit de bouwmarkt; zie de schets in figuur 5. De antenne-elektronica is vastgemaakt aan een schroefdop en daaronder een eindkap, met gaten erdoorheen voor montageboutjes, connectoren (coaxiaal en banaan, die laatste voor de aarding) en het afvoeren van vocht. Vervolgens gaat er een stuk buis overheen dat met de schroefdop waterdicht wordt afgesloten. Daarna kan de hele antenne buiten op de 'mast' worden geplaatst. Dankzij de schroefdop kan er geen regenwater binnendringen, terwijl de antenne wel gemakkelijk weer open kan voor onderhoud of reparatie. Dit werkt prima; na inmiddels twee jaar in weer en wind ziet het er van



Figuur 3 | Praktische schakeling

binnen nog als nieuw uit. Daarbij helpt het waarschijnlijk wel dat de schakeling continu aan staat en ongeveer een watt dissipeert, waardoor het binnen altijd wat warmer is en condens voorkomen wordt.



Figuur 4 | Antenne van de Twentse WebSDR

Referenties

- [1] De pa0rdt-Mini-Whip, een actieve ontvangantenne voor 10 kHz tot 20 MHz. PA0RDT, *Electron* 5/2006.
- [2] Wayne Martinsen: A High Performance Active Antenna for the High Frequency Band, 2018. <https://www.dst.defence.gov.au/publication/high-performance-active-antenna-high-frequency-band>
- [3] Chris Trask, N7ZWY: Complementary Push-Pull Amplifiers for Active Antennas: A Critical Review. <http://home.earthlink.net/~chrstrask/>
- [4] Aktive Antennen für DX-Empfang. Siegfried W. Best, 1982
- [5] Aktive Antenne. Elrad, 8/1979
- [6] Technische notities van PA3FWM, *Electron* 1/2014. ■

