

Software Defined Radio is in de amateur radio technologie zo langzamerhand een ingeburgerd begrip geworden.

De ontwikkeling heeft in meerdere fases plaatsgevonden.

We kunnen momenteel spreken van 4 generaties SDR technologieën.

Deze artikelenreeks blikt terug en kijkt naar de toekomst.



Met de FLEX-6000 serie heeft FlexRadio Systems in 2013 voor de derde keer haar productassortiment van de grond af aan weer opgebouwd.

Er kan met recht over een nieuw ontwerp worden gesproken. Dat geldt niet alleen voor de hardware, maar zeker ook voor de software. Beiden zijn voortgekomen uit professionele producten van FlexRadio Systems zoals die in opdracht voor onder andere de Amerikaanse Overheid werden ontwikkeld.

In dit eerste deel bespreken we de architectuur van het systeem alsmede de (lange) weg er naar toe.

Deel twee zal ingaan op de hardware en de bereikte mogelijkheden terwijl deel drie en vier de software, "SmartSDR", en de ervaringen daarmee zullen behandelen. Ook zullen de verwachte toekomstige ontwikkelingen aan bod komen.

TERUGBLIK

De stuwende kracht achter de ontwikkeling van SDR voor radio-amateurs is Gerald Youngblood, K5SDR, op wiens keukentafel in 2003 de ontwikkeling in gang werd gezet. In 1999 begreep hij al dat de PC's van toen en de daarin aanwezige stereogeluidskaarten met hun

krachtige AD en DA converters¹ gewoon zaten te wachten om ingezet te worden als amateurtransceiver.

De technologie opende de mogelijkheid om met minimale hardware buiten de PC een transceiver te realiseren. Zo zag uiteindelijk de SDR-1000 het levenslicht.

Net als bij de overgang van AM naar enkelzijbandmodulatie ("SSB = neusklemmodulatie") werd ook SDR in het begin met grote reserves ontvangen, zich baserend op misverstanden ("QSO over het Internet", "zendende PC", "SDR = Echolink" enz.) Het grootste bezwaar vormde de noodzaak dat men zonder PC niet kon zenden of ontvangen. Maar ook: "zonder knoppen is het geen radio".

Intussen is de SDR techniek de kinderschoenen ontgroeid. Een verkorte terugblik op de ontwikkelingsstadia van de SDR toont aan dat het twaalf jaar na de invoering van SDR-techniek het de hoogste tijd werd een nieuwe SDR architectuur te ontwikkelen.

Bij een SOFTWARE Defined Radio is de SOFTWARE het belangrijkste deel van de radio

¹ analoog naar digitaal converter – ADC en digitaal naar analoog converter - DAC

INDELING VAN DE SDR TRANSCEIVERS IN "GENERATIES" EN "CATEGORIËN".

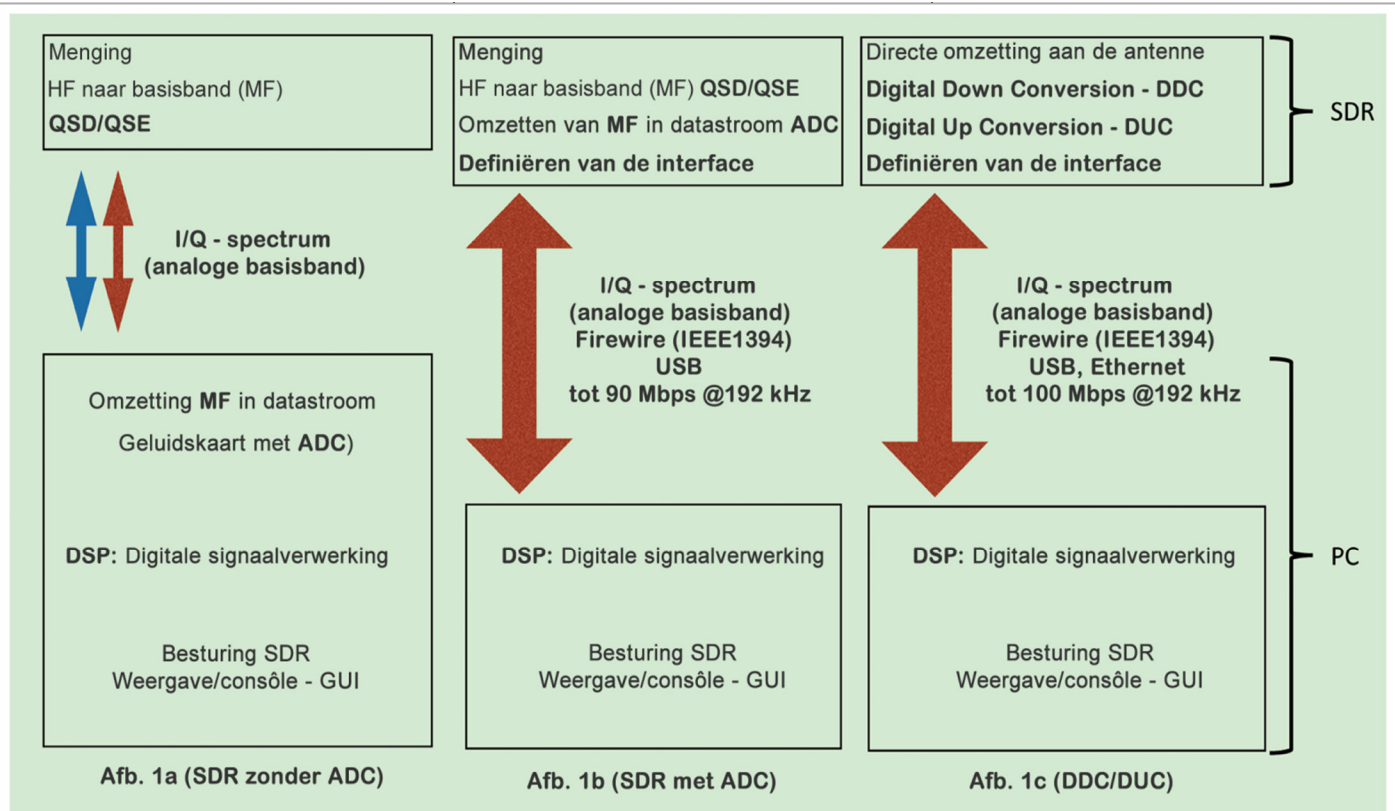
Het doel van deze artikelenreeks is om de lezer inzicht te verschaffen in de stand der techniek met betrekking tot SDR. En vooral ook om inzichtelijk te maken dat de ene SDR de andere niet is.

Deze artikelen behandelen vooral de categorie SDR's die bediend worden met een grafische interface, de categorie radio's die geheel of gedeeltelijk gebruik maken van SDR techniek zullen we slechts zijdelings bespreken.

Tot de laatste categorie behoren ondermeer de Baofeng portofoons, (deels) de ELAD transceiver, de KX3 van Elecraft, de RDR55 van Reuter, de ADT-200 van HB9BLU, de SunSDR, de IC-7300 van Icom etc. Gemakshalve zou je kunnen spreken van knoppen georiënteerde transceivers.

We hebben de diverse concepten opgedeeld in generaties.

Relativerend kunnen we overigens vaststellen dat de grenzen tussen conventionele transceivers en SDR-architecturen meer en meer vervagen.



Afbeelding 1: Overzicht van verschillende architecturen SDR van de 1^e generatie.
De signaalverwerking en weergave vindt plaats in de PC.

1^e GENERATIE SDR: DSP/C&C IN DE PC

Om een SDR te realiseren met minimale hardware draait de software voor het besturen van de SDR (command & control > C&C) en de digitale signaalverwerking (DSP) van zowel de zender als de ontvanger op de PC.

Uitsluitend de PC regelt de controle van de hardware en de realisering van de transceiver functies.

Daarnaast verzorgt de PC het deel van de bediening/besturing voor de weergave (Spectrumanalyse, waterval etc.) van de SDR met behulp van de GUI², ook wel console genoemd.

De SDR-1000, de moeder van alle SDR's, van FlexRadio Systems is meer dan twaalf jaar lang de belangrijkste SDR transceiver in de amateurwereld geweest. Het werd al snel aangevuld met zelfbouw kits. De "soft rock" serie werd meer dan

10.000 keer gebouwd. Ook de zelfbouw SDR's van Funkamateer werden veel verkocht. Deze SDR's met minimale hardware kunnen met recht als de 0-V-1 van de 21^e eeuw worden beschouwd.

Ook moderne en buitengewoon krachtige systemen zoals de op HPSDR³ [1] gebaseerde hardware en commerciële aanbieders van moderne SDR's [2] maken gebruik van het concept van gescheiden SDR-hardware en DSP in de PC.

Het baanbrekende project van HPSDR verdient het om in een afzonderlijk artikel te worden besproken [3]. HPSDR en FlexRadio Systems delen gezamenlijke wortels.

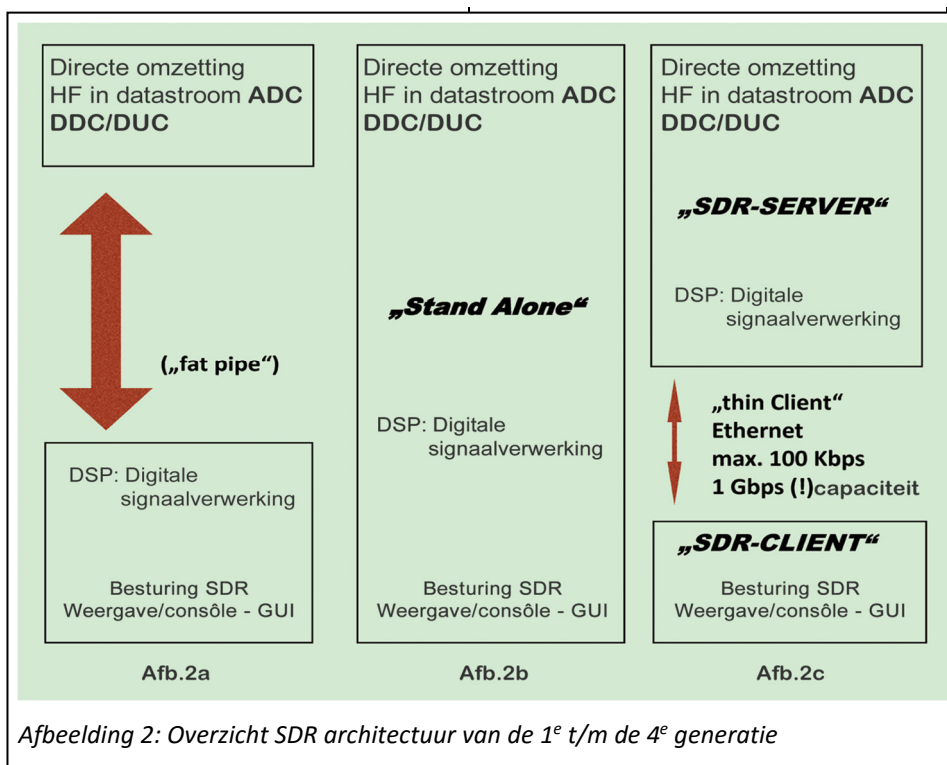
Deze eerste architectuur is in de loop der jaren verder ontwikkeld. Afbeelding 1 toont de feitelijke ontwikkelingsstadia: In het begin (afb. 1a) werd er gemengd met eenvoudige

(geschakelde) mixers voor RX en TX naar (directe) omzetting naar de basisband (middenfrequent van "0 Hz"). De bemonstering van het HF spectrum van vier quadranten (quadrature sampling demodulator en quadrature sampling exciter – QSD/QSE) produceerde twee 90° ten opzichte van elkaar verschoven spectra. De I/Q signalen werden analoog aan de (interne of externe) geluidskaart aangeboden. Hier werden ze gedigitaliseerd en voor verdere verwerking naar de DSP [4] gestuurd. Bij de SDR-1000 werd de besturing van de hardware door de PC nog via de parallel-poort verzorgd (!).

Bij de Flexradio serie FLEX-5000/3000/1500 werd de digitalisering van de basisband verlegd naar de SDR [afb. 1b]. De hardware werd ingrijpend veranderd door gebruik te maken van een interne ADC en eigen processoren ten behoeve van de interface (firewire en USB).

³ **H**igh **P**erformance **S**oftware **D**efined **R**adio

² **G**raphic **U**ser **I**nterface



Voortaan was er nog slechts één digitale verbinding met de PC nodig.

Naast de gebruikerssoftware “PowerSDR” kwam het begrip “Firmware” om de hoek kijken. Een belangrijke stap naar een volledige digitale SDR was de inzet van de 14/16-bit-ADC en zijn tegenvoeter DAC, die het digitale I/Q spectrum van het zendsignaal in een analoog HF signaal omzette. Zij vervingen de analoge QSD/QSE (afb. 1c).

Naast de aanzienlijke uitbreiding van het zichtbare frequentiespectrum op

het beeldscherm vormde vooral de spectrale reinheid van het synthetisch geproduceerde TX signaal (intermodulatieproducten, draaggolf- en spiegelfrequentieonderdrukking) een doorbraak in de SDR techniek. Hetzelfde gold voor de RX met betrekking tot het dynamisch bereik, de spiegelfrequentie- en spurious- onderdrukking. Het spiegelfrequentie probleem kon bij de FLEX-5000A/3000/1500 in de software worden opgelost door de zgn. “wideband image rejection” (WBIR).

DATAOVERDRACHT NAAR DE PC

Een SDR van de 1^e generatie moet altijd gebruikmaken van een krachtige PC en een breedbandige, snelle verbinding voor het overbrengen van de data tussen PC en SDR.

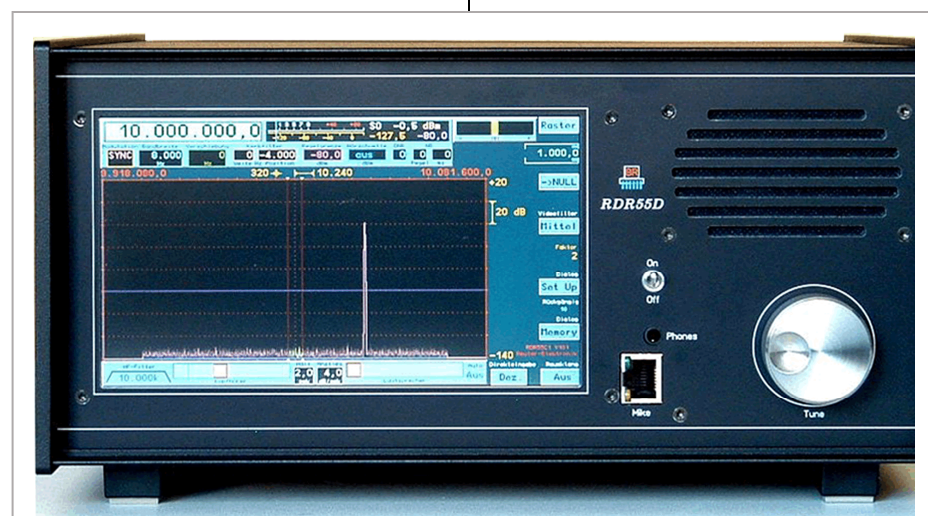
Dergelijke interfaces stuiten tegen hun grenzen, vooral als men ook andere bedienings- en weergave platforms wil gaan gebruiken, denk daarbij aan tablets, die niet over een adequate dataverbinding beschikken en waarvan de processor minder krachtig is. Ook het beschikbare geheugen speelt een belangrijke rol. Dit geldt ook als de gebruiker zijn SDR op afstand wil gaan gebruiken (remote gebruik).

De architectuur van de 1^e generatie dwingt de software echter om twee gedigitaliseerde I/Q pakketten, die 90° in fase zijn verschoven naar de PC te zenden. Treffend wordt hier voor de verbinding tussen PC en SDR de uitdrukking “Fat Pipe” gebruikt.

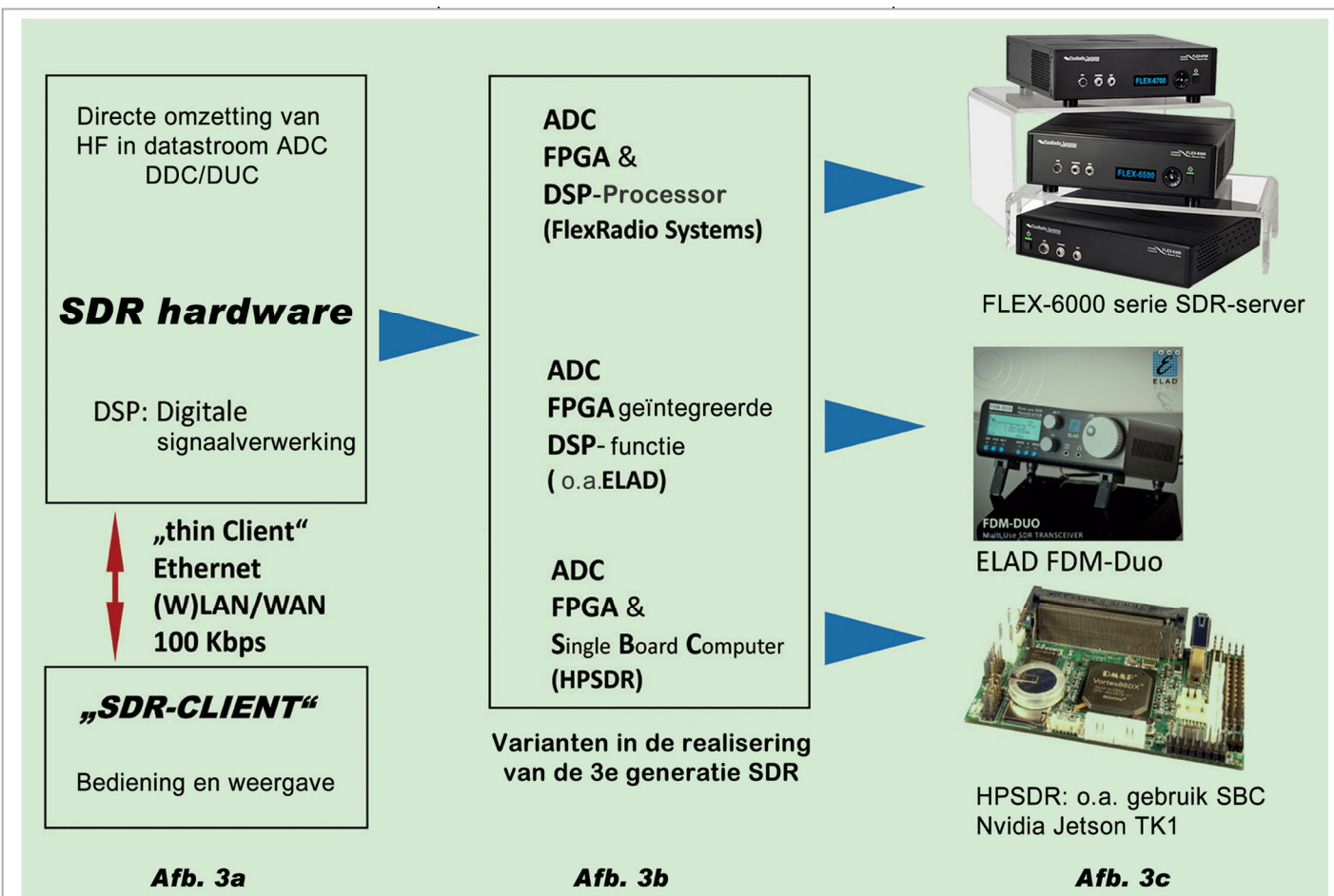
2^E GENERATIE: AUTONOME SDR (“STAND-ALONE”)

Toen de eerste SDR’s in de amateurwereld opdoken, was de voornaamste kritiek dat men voor het gebruik van SDR altijd een PC nodig had. Eventjes inschakelen en meeluisteren was alleen mogelijk als ook de PC al was ingeschakeld.

Ook het meenemen van een SDR naar een ander QTH, bijvoorbeeld het vakantieverblijf, is alleen mogelijk als er ook een PC meegaat. Heel snel ontstond er al een SDR als “stand-alone transceiver”, deze werd echter niet onder die naam uitgebracht, maar als “All Digital Transceiver”. Het is vooral aan Hans Zahnd, HB9BLU te danken dat het landschap van



Afbeelding 4: Representatief voor autonome SDR is de in Duitsland gefabriceerde RDR55 van Burkhardt Reuter.



Afbeelding 3: Overzicht architectuur SDR van de 3^e en 4^e generatie, de belangrijkste verschillen in uitvoering.

amateurtransceivers verrijkt is met zijn ADT-200A. Hij heeft, samen met zijn dochter (softwareontwikkeling), pionierswerk verricht.

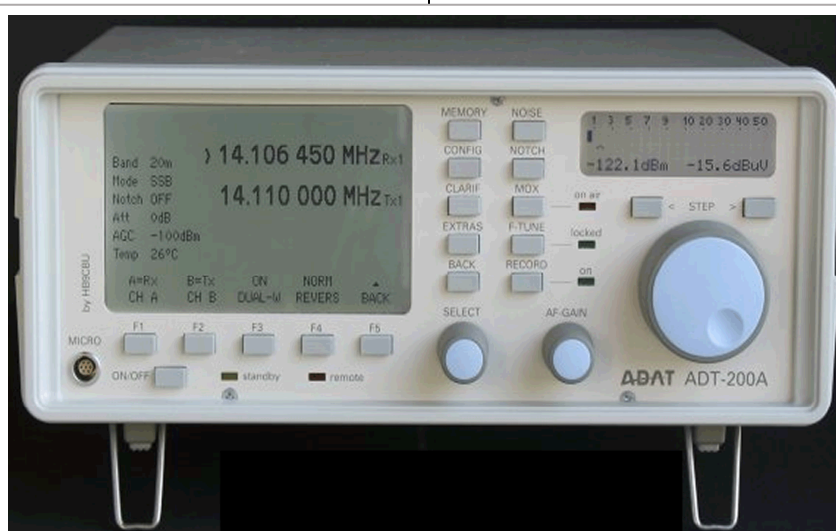
Bij de SDR's van de tweede generatie wordt de hele verwerking van de data in de SDR zelf verzorgd (afb. 2b). Het systeem is autonoom, er komt geen PC aan te pas. Echter, om ook de spectrumanalyser- en/of de panorama functie te willen gebruiken zal er een externe monitor en PC moeten worden aangesloten.

“Stand-alone”-SDR's zoals de RDR54/55 [6] (Afb. 4), de ADT-200A (afb. 5) [5], en de Elecraft KX3 [7] zijn in deze zin SDR's van de 2^e generatie. De grenzen kunnen tegenwoordig echter niet meer scherp worden afgebakend. De nieuwste ontwikkeling van ELAD uit Italië valt niet toe te wijzen aan één van beide beschreven generaties. De FM-DUO

van Elad [8] kan zowel autonoom als met een PC worden ingezet. Ook FlexRadio Systems heeft een aantal jaren geleden met de FLEX-5000C een poging gedaan een autonome SDR te vermarkten. Inbouw van een SDR in een PC of omgekeerd is ech-

ter niet te vergelijken met de concepten van de ADT-200A of de RDR55.

De nieuwste systemen uit Rusland, zoals de SunSDR-MB1 [9] maken gebruik van het gegeven dat PC-systemen/moederborden steeds



Afb. 5 Nog een autonome SDR, de ADT-200A, ontwikkeld door Hans Zahnd, HB9BLU

kleiner worden en daardoor het samenbouwen van een SDR met een PC attractief blijft.

Ook hier een korte verwijzing naar HPSDR, hoogstwaarschijnlijk zullen zij een SDR uitbrengen als een single board systeem, gebaseerd op Linux.

Hoewel het concept van een “stand-alone” transceiver aantrekkelijk lijkt zal men toch al snel ervaren dat een externe computer onontbeerlijk is. Al was het maar om een logboek te voeren. Dan ontkomt je er bovendien

niet aan om CAT en Audio naar een extern modem te bedraden, iets wat met de andere concepten slechts virtueel hoeft te worden verwezenlijkt.

3^E GENERATIE: INTERNE DSP, EXTERNE BE- DIENING EN WEERGAVE.

Aanleiding voor het ontwerpen van een totaal nieuw concept was de begrenzing van het vermogen van SDR systemen door de noodzakelijke breedbandige dataoverdracht naar

de PC (“fat pipe”). Bovendien werd het steeds problematischer in real time te kunnen werken als men naast PowerSDR ook andere software ging gebruiken. Immers, steeds vaker zal men gebruik wensen te maken van software voor digitale modes, maar ook voor het beheren van een logboek, clusters etc.

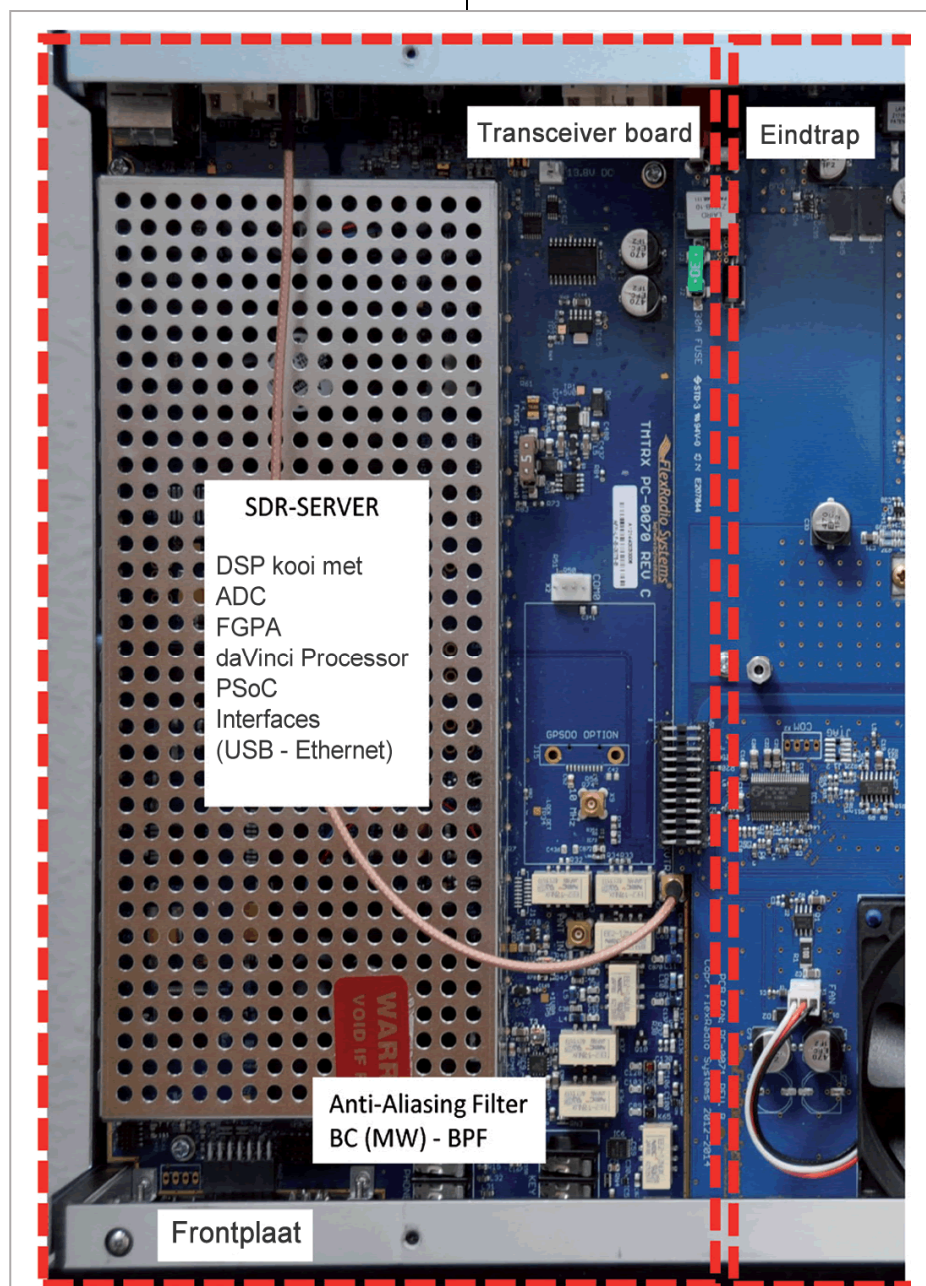
Zelfs bij het gebruik van de eenvoudigste digitale mode, CW (!) liepen de technici telkens tegen enorme problemen aan. De kleinste afwijkingen in de systeemklok, het uitvoeren van de DSP algoritmen of “jitter” van de klokgeneratoren zorgden voor dramatische effecten.

De vermindering van het eerste teken en ongelijke lengtes van de karakters of tussenruimtes waren het gevolg. DSP vertragingstijden (de beruchte latency) maakten het bijkans onmogelijk om de meeluistertoon te synchroniseren met het uitgezonden signaal.

Al deze problemen zijn heel moeilijk te beheersen met systemen die opgebouwd zijn volgens de eerder beschreven concepten.

Vrij snel heeft FlexRadio Systems voor de FLEX-5000/3000/1500 serie het genereren van de tekens verlegd van de PC (eigenlijk de DSP) naar de SDR. Het benutten van de microprocessors die bedoeld waren voor het afhandelen van interne processen zoals de interface activiteiten bracht de oplossing.

Het software-concept van Herman van Hassel, DL3HVV mag hier niet onvermeld blijven: Voor de op HPSDR gebaseerde SDR systemen staat een grafisch zeer aansprekend softwareprogramma (“cuSDR”) [10] ter beschikking dat gebruik maakt van de rekenkracht van de grafische pro Een zelfde weg is HPSDR een jaar geleden ingeslagen. Zij hebben de CW tekengenerator en meeluis-



Afb. 6 SDR-server FLEX-6300, het volledig afgeschermd digitale deel neemt de meeste plaats op de transceiverprint in.

tertoen verplaatst naar de FPGA⁴ in de HPSDR-hardware.

cessoren. Het probleem lost de vernauwing tussen PC en SDR niet op maar schept wel inzicht in nieuwe mogelijkheden (modulaire organisatie, definitie van SDRserver en client).

VERPLAATSEN VAN DE DSP NAAR DE SDR.

Als men de bij CW ingeslagen weg consequent verder uitbouwt zal uiteindelijk de DSP verplaatst worden van de PC naar de SDR. Het is kenmerkend voor de architectuur van de 3^e generatie SDR (afb. 2c en 3a). FlexRadio Systems heeft dit concept verwezenlijkt in haar FLEX-6000 serie. Er is principieel afgeweken van het "stand-alone" concept.

De externe PC of een vergelijkbaar platform wordt nu alleen nog gebruikt voor de bediening van de SDR en het weergeven van de panorama adapter(s). De PC is dan beschikbaar voor andere programma's zoals digitale modes en logboekvoering. Hierover wordt in deel III uitvoerig ingegaan

Het gevolg is een minder veeleisende dataoverdracht tussen de SDR – die vanaf nu dan ook "SDR server" wordt genoemd – en de PC, of ander platform, – die we "client" noemen.

En hier introduceren we dan de **vierde generatie SDR**, het *client-server* principe.

4^E GENERATIE SDR

Alle voorwaarden zijn nu aanwezig om onbeperkte remote-mogelijkheden te scheppen met betrekking tot LAN⁵/WLAN⁶ en WAN⁷.

De server staat ergens, thuis of waar dan ook, terwijl de bediening en signaalcontrole plaats vindt vanuit een totaal andere plek.

Natuurlijk kan de server ook rechtstreeks worden gebruikt zonder tussenkomst van een netwerk.

Resumerend kunnen we het volgende stellen:

SDR's van de 1^e generatie zijn SDR's waarvan de besturing en de DSP wordt verzorgd door de PC terwijl de SDR zelf eerst de HF signalen mengt naar een MF van 0 Hz welke vervolgens worden verwerkt door de AD omzetter dat deel uitmaakt van een interne of externe geluidskaart van de PC.

Bij SDR's van de 2^e generatie wordt er nog steeds gemengd naar een MF van 0 Hz terwijl er gebruik wordt gemaakt van analoog/digitaal converters in de radio. De besturing wordt door een externe of interne PC gedaan.

SDR's van de 3^e generatie digitaliseren direct aan de antenne-ingang, de besturing en verwerking wordt uitgevoerd door een interne of externe PC.

SDR's van de 4^e generatie gedragen zich als een server. Ze hebben alle kenmerken van dat van de 3^e generatie maar de console (of terminal) is niet per definitie bekabeld verbonden aan de server en is onafhankelijk voor wat betreft het besturingssysteem van de computer. De console hoeft fysiek niet op dezelfde plaatst te staan als de server.

(wordt vervolgd)

Literatuur en andere bronnen

- [1] HPSDR, <http://openhpsdr.org>
- [2] o.a. Apache Labs, <http://apachelabs.com>
- [3] Scotty Cowling, WA2DFI, in QEX –May/June 2014, blz. 3-13
- [4] Gerrit Buhe, „Grundlagen der Quadratur-Signalverarbeitung“, CQ DL 7/04, blz. 848
- [5] ADT-200As, www.adat.ch
- [6] SDR van Burkhart Reuter, www.reuter-elektronik.de
- [7] Elecraft KX3, www.elecraft.com/KX3/kx3.htm
- [8] ELAD, <http://ecom.eladit.com/FDM-DUO/en>
- [9] SunSDR-MB1, www.sunhdr.com/en
- [10] cuSDR kan hier gedownload worden: <http://openhpsdr.org/download.php>

OPSPRONKELIJKE AUTEUR: KLAUS LOHMANN, DK7XL
VERTAALD, BEWERKT EN AANGEVULD: GER METSELAAR, PDAER

⁴ **Field Programmable Gate Array**: Een field-programmable gate array, vaak afgekort tot FPGA, is een geïntegreerde schakeling bestaande uit programmeerbare logische componenten. Deze logische componenten kunnen geprogrammeerd worden als logische functies zoals AND, XOR enzovoorts. Deze functies kunnen bijvoorbeeld decoders of eenvoudige wiskundige functies zijn.

⁵ **Local Area Network (LAN)**: Dit is het netwerk zoals men ook thuis aantreft. Meerdere computers kunnen op het netwerk aangesloten zijn.

⁶ **Wireless Local Area Networks (WLAN)**: Een WLAN is een draadloos (LAN) netwerk.

⁷ **Wide Area Network (WAN)**: Dit is een netwerk dat over grotere afstanden zijn werk doet. Het beste voorbeeld van een WAN is het internet.