

Van bit naar bit

19 januari 2011

Henk Schanssema PA2S

Agenda

- Theorie
- A/D – Blackbox – D/A
- SDR concepten
- Demo's
- Toekomst

Principe van sampling

- Een signaal wordt periodiek "gemeten".
- De meting kan zowel analoog als digitaal.
- Digitale meting vereist een A/D converter.

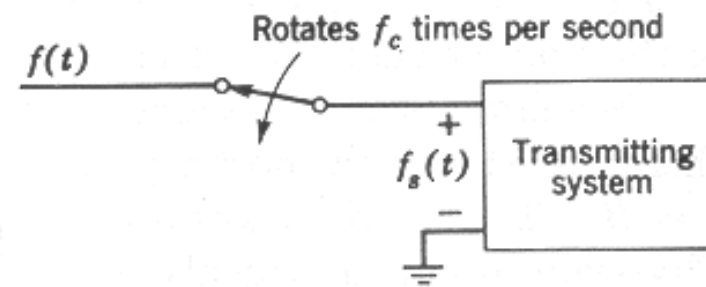


FIG. 3-1 Sampling of analog signal.

Het resultaat van sampling

- Bij een analoog systeem is het resultaat een reeks pulsen, waarvan de amplitude de signaalwaarde op het "samplmoment" is.

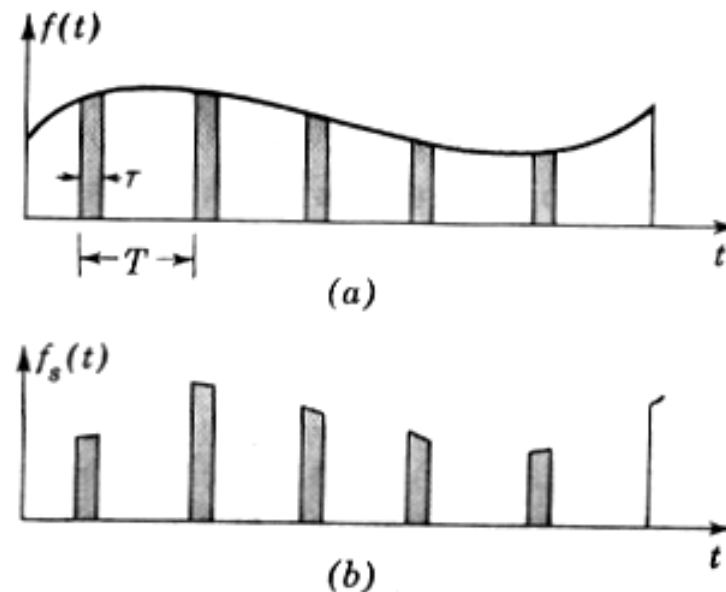


FIG. 3-2 The sampling process. (τ = sampling time; $T = 1/f_c$: sampling interval.) (a) Input $f(t)$; (b) sampled output $f_s(t)$.

Sampling is modulatie

- Eigenlijk is sampling een vorm van modulatie.
- Rondom de samplefrequentie zie je de zijbanden van het oorspronkelijke signaal.

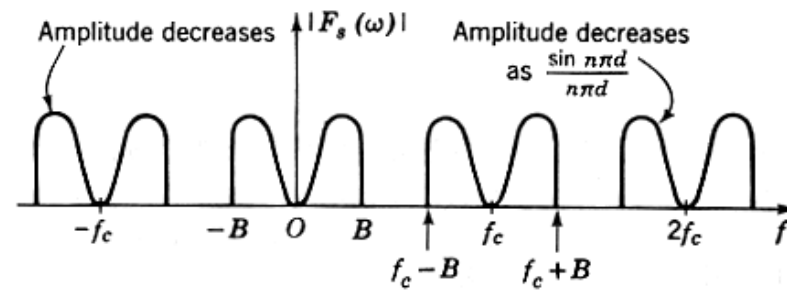


FIG. 3-6 Amplitude spectrum, sampled input.

Negatieve frequenties

- Zoals bij AM ontstaan er twee zijbanden.
- Een zijband kan worden gezien als negatief. In de "echte wereld" kennen we negatieve frequenties niet, maar bij digitale signaalbewerking is het van belang.

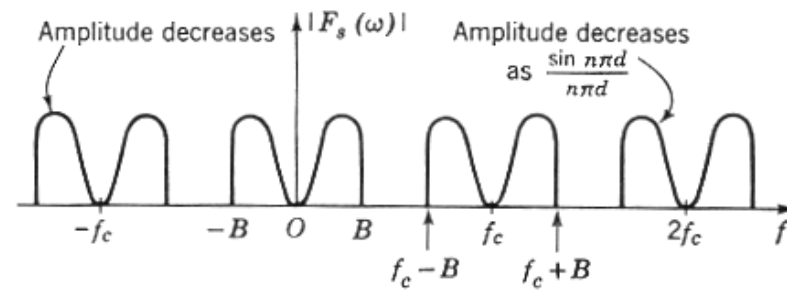


FIG. 3-6 Amplitude spectrum, sampled input.

Te langzaam?

- Voor een juiste reconstructie van de details moet de samplefrequentie hoog genoeg zijn.
- Bovendien ontstaat er z.g. aliasing (spiegels) bij een te lage samplefrequentie.

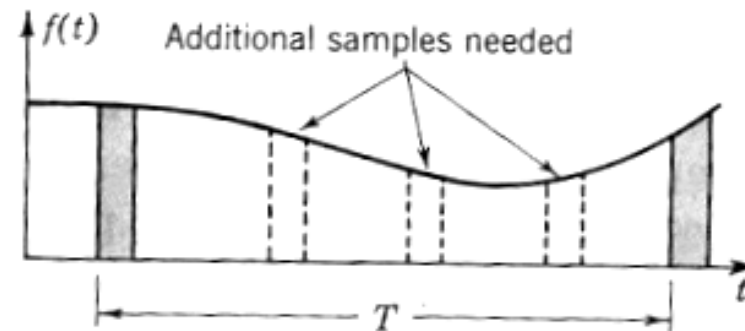
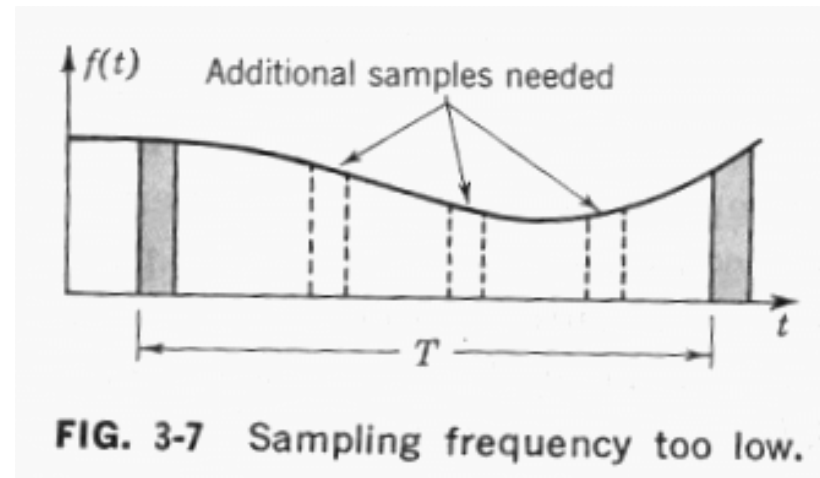


FIG. 3-7 Sampling frequency too low.

Hoe snel?

- 2 maal de bandbreedte van het signaal is de laagste frequentie waarmee gesampled kan worden.
- Dat is de z.g. Nyquist frequentie. Dit werd zo'n 80 jaar geleden al berekend door Harry Nyquist.



Reconstructie vereist filter

- Om het signaal te reconstrueren is een low-pass filter nodig.
- Een steil filter is problematisch, daarom een "guard band".
- Samplefrequentie daarom altijd **ruim** 2x de bandbreedte.

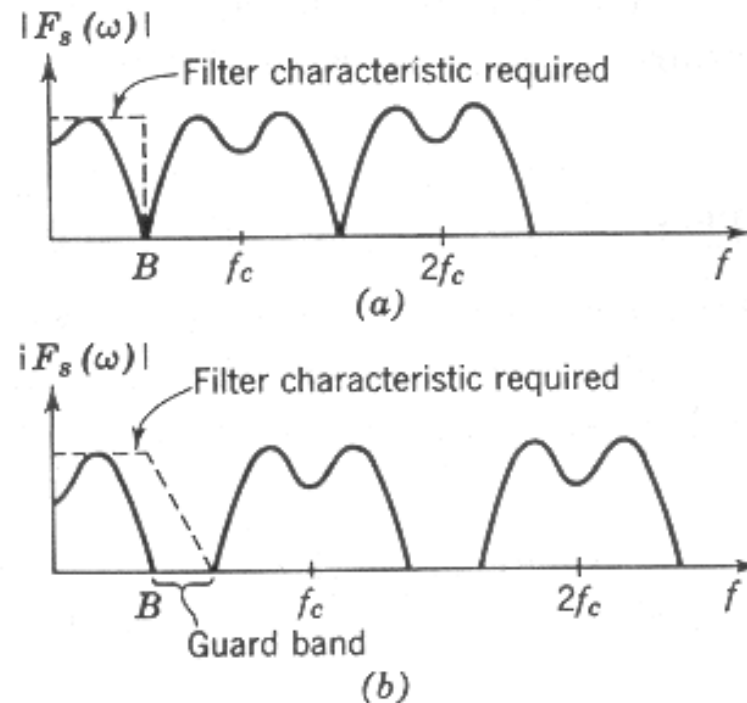
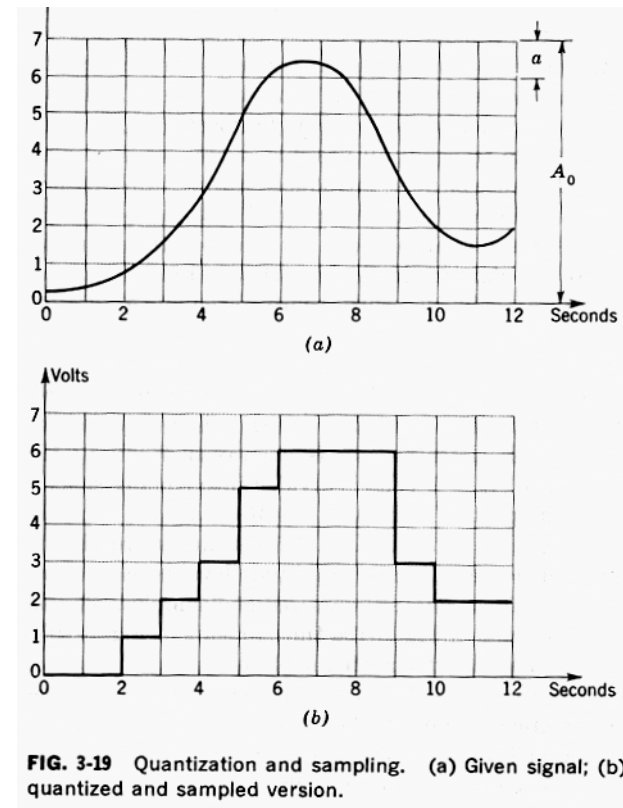


FIG. 3-8 Sampled-data demodulation using low-pass filter. (a) $f_c = 2B$; (b) $f_c > 2B$.

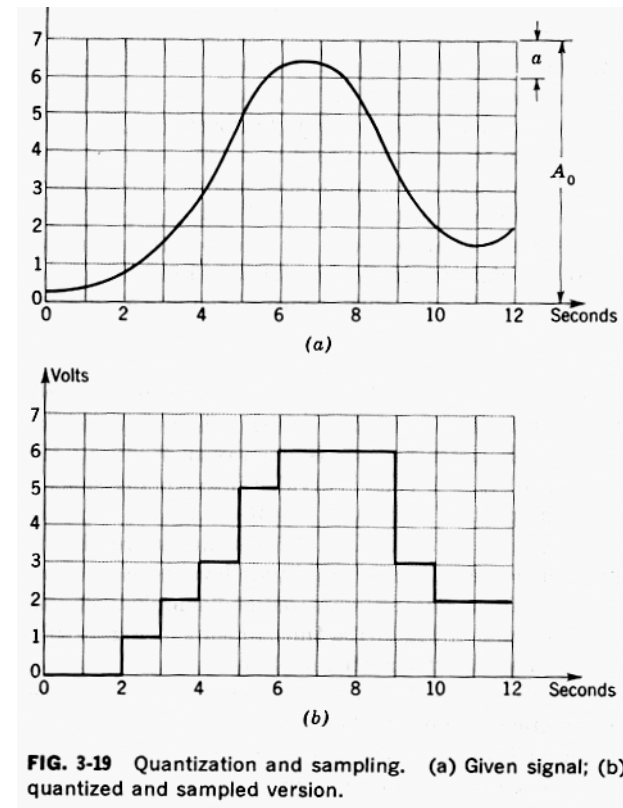
Analoog naar digitaal

- Bij het digitaliseren wordt de amplitude gemeten en de waarde ervan **afgerond** op een niveau.
- De schaal bepaalt het aantal niveaus, meestal aangeduid in bits.



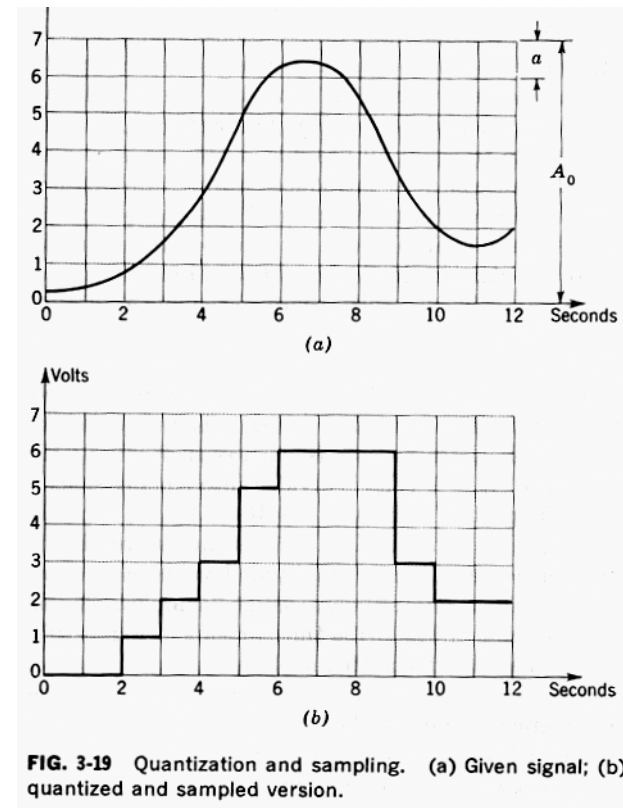
Analoog naar digitaal

- Veel afronding (grove schaal) leidt tot ruis (en vervorming).
- Hoe meer niveaus, hoe minder afronding en hoe beter de kwaliteit.
- Het aantal niveaus bepaalt de haalbare signaal/ruisverhouding.



Signaal/ruisverhouding

- De haalbare signaal/ruisverhouding is te berekenen:
- $S/N = 20 \log (2^n)$, waarin n het aantal bits is.
- Bij 8 bits: $2^8 = 256$, dus $20 \log (256) = 48.2$ dB.
- Vuistregel: S/N (dB) = 6 maal aantal bits.



Andere mogelijke fouten

- Lineariteit
- Meetfouten, mede afhankelijk van type A/D converter
- Jitter
- Maskeren vervorming door dithering
- Aliasing etc.

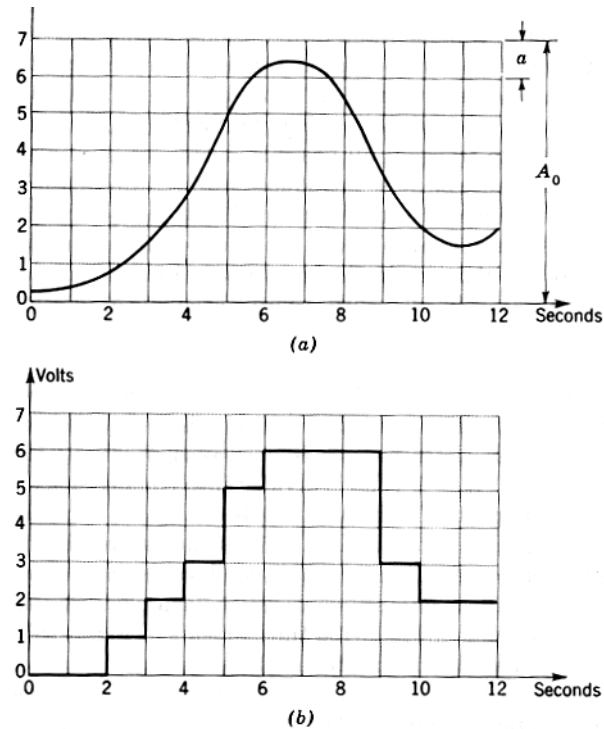


FIG. 3-19 Quantization and sampling. (a) Given signal; (b) quantized and sampled version.

Binaire codering

- Zodra de waarden (samples) zijn bepaald, worden deze gecodeerd met bits.
- In een eenvoudig systeem worden de bits als korte achtereenvolgende pulsen verzonden.

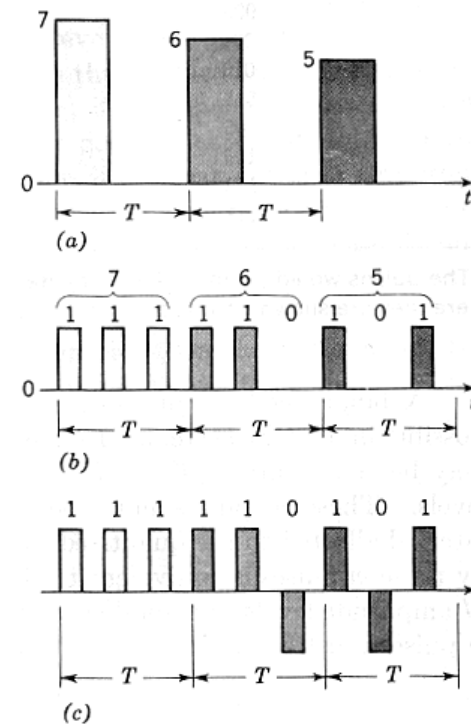


FIG. 3-20 Binary coding of samples. (a) Given signal (already sampled and quantized); (b) coded samples; (c) another form of binary code.

Bitfouten door transmissie

- Door transmissie kunnen de bits verkeerd worden ontvangen.
- De reconstructie zal daardoor fouten bevatten. Bij audio bijvoorbeeld te horen als kraken.
- Door FEC zijn fouten deels te herstellen.

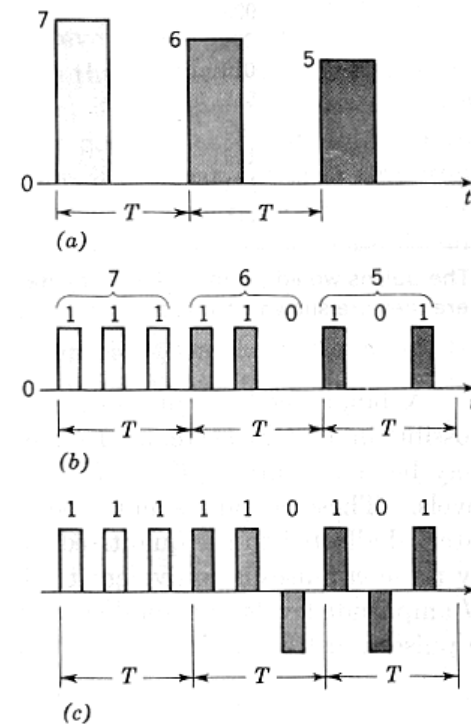


FIG. 3-20 Binary coding of samples. (a) Given signal (already sampled and quantized); (b) coded samples; (c) another form of binary code.

Demo 1

- Pianotoon (Wavasaur)
- Resolutie verkleinen naar 8 bits, dan laatste deel normaliseren, vervorming geluid (rafelig).
- Maskeren vervorming door dithering: als hierboven, maar dan met/zonder dither.

Demo 2

- Bitcrusher (Wavosaur VST)
 - Resolutie
 - Samplefrequentie
 - Spectrum aliasing

Fourier transformatie

- Een spectrum analyzer is een voorbeeld van een apparaat, dat het spectrum van golfvormen kan tonen. Golfvormen zijn zichtbaar te maken met een oscilloscoop.
- Door middel van **berekeningen** kunnen signalen van het tijddomein naar het frequentiedomein (en terug) worden "omgerekend".
- Met Fourier transformatie kan een spectrum worden "uitgerekend". Dit noemen we ook wel transformatie.

Fast Fourier Transformatie

- Met deze rekenmethode, die meestal met FFT wordt aangeduid, kan een transformatie sneller worden berekend, dan met "conventionele" berekening.
- Een signaal in het tijddomein wordt omgerekend naar een amplitude- en fasespectrum.
- Omgekeerd kunnen amplitude- en fasewaarden worden omgezet naar een signaal in het tijddomein.

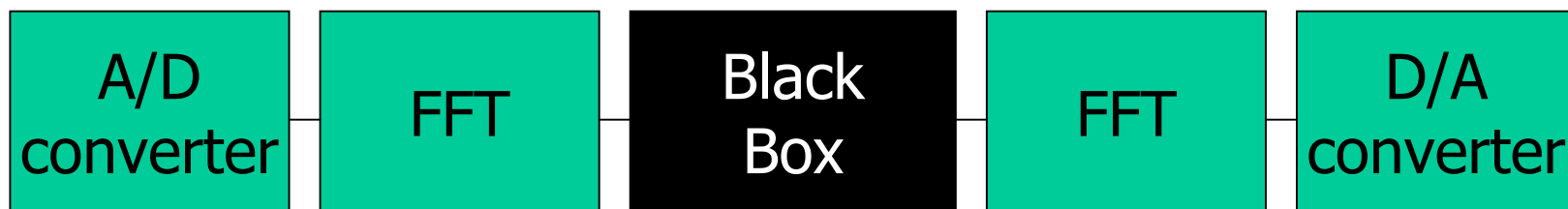
FFT heen en terug

- Je kunt dus een signaal samplen, omrekenen naar amplitude en fase, weer terug rekenen naar samples en dan weer omzetten naar analoog.
- De onderstaande schakeling heeft niet veel nut...



Voorbeeld: een filter

- ... maar het heeft wel nut als je de amplitude-en/of fasewaarden verandert, want dan zal het signaal overeenkomstig veranderen.
- Een filter is bijvoorbeeld te maken, door ongewenste frequenties weg te halen.



Wetten zijn onbreekbaar

- Met natuurkundige wetten kan niet worden gebroken. Dat geldt ook voor signaalbewerking met een computer.
- **Demo:** Excel sheet met blokgolf
- Een ideale blokgolf heeft een stijg- en daaltijd van ~ 0 (\sim nul). Daarvoor zijn oneindig veel harmonischen nodig. Dus oneindig grote bandbreedte.
- Filter je harmonischen weg, dan hoort daar toename van de stijg/daaltijd bij.

Brick wall filter?

- Wil je heel scherp filteren, dan is het frequentieverschil zo klein, dat er veel tijd nodig is om het signaal door het filter te laten lopen. Oneindig scherp? Oneindig lange looptijd!
- Bij FFT bepaalt de omvang van het aantal samples de haalbare steilheid.
- Indien tijd: **demo** met Speclab filter, opname microfoon, vertraging.
- CW filter heel smal: benodigde in/uitslingertijd goed te horen.

Snelle computers

- Met moderne computers kunnen de benodigde rekenkundige bewerkingen worden uitgevoerd. Vroeger was dat wel anders...



SDR met geluidskaat

- De meeste SDR amateur systemen werken met een geluidskaat, die als A/D converter wordt gebruikt.
- De computer doet het rekenwerk en vormt een virtuele transceiver (of ontvanger).
- Hoe hoger de samplefrequentie, des te groter het afstembereik (bij een bepaalde LO frequentie).
- Omzetting van/naar HF geschiedt met directe conversie.

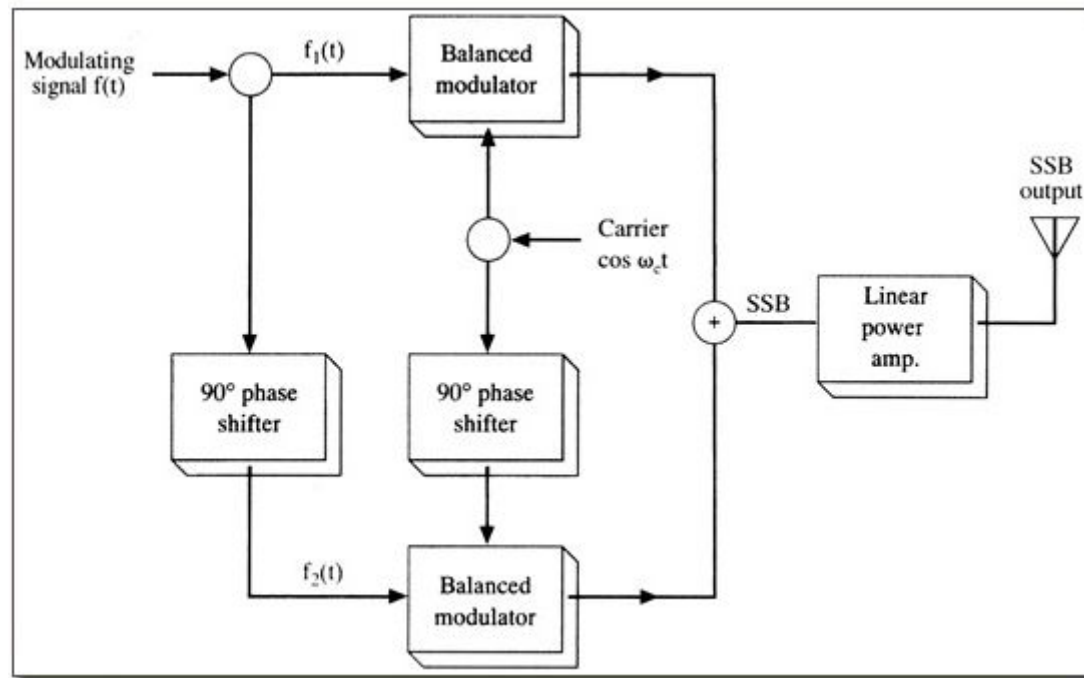
Een speciale DC ontvanger

- Al lang zijn de z.g. DC (directe conversie) ontvangers bekend. Je mixt de HF signalen met een LO en de audio komt direct uit de mixer. Maar...
- Het probleem bij DC ontvangers is de ontvangst van spiegelfrequenties, wegfilteren is praktisch onmogelijk.
- Voorbeeld: LO = 7 MHz. Een signaal op 6995 kHz en op 7005 kHz zal als 5 kHz audio hoorbaar zijn. Door de spiegels heb je veel last van storing.

Herinnert u zich deze nog?

- In de amateurcursus vond je een beschrijving van de fasemethode. Daarmee kon je zonder zijbandfilter SSB maken. Maar wel ingewikkeld...
- Zowel de draaggolf als het modulerende signaal worden 90° gedraaid.
- Het probleem was echter dat de benodigde 90° fasedraai niet zo simpel was. Een beetje fasefout en de verkeerde zijband was hoorbaar. Het raakte in onbruik...

De fasemethode

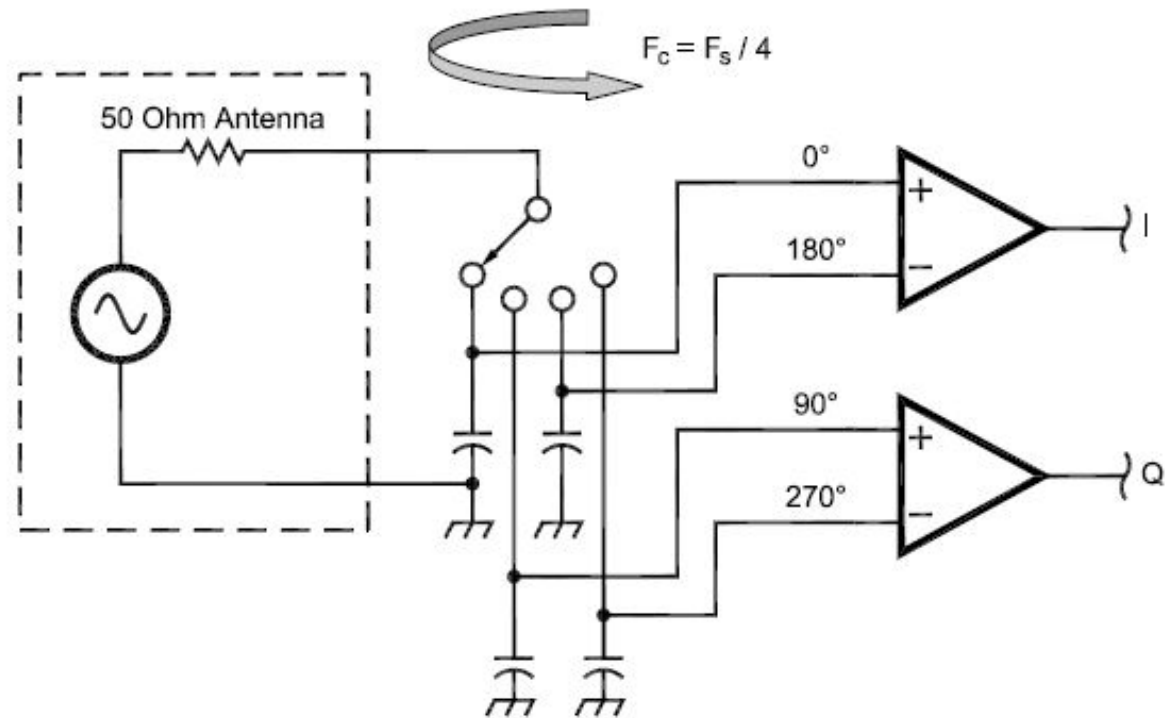


- Het modulerende signaal en de draaggolf worden aan een kant 90° in fase gedraaid. Bij het optellen verdwijnt een zijband.

Na zo'n 50 jaar weer actueel

- In het digitale tijdperk draaien we de fase heel gemakkelijk.
- LF: kwestie van rekenen...
- HF: kwestie van tellen. Met een paar zwarte blokjes zo gepiept.
- Zodra we de I (in fase, 0° en 180°) en Q (90° en 270°) brokjes hebben: klaar.

De Tayloe detector



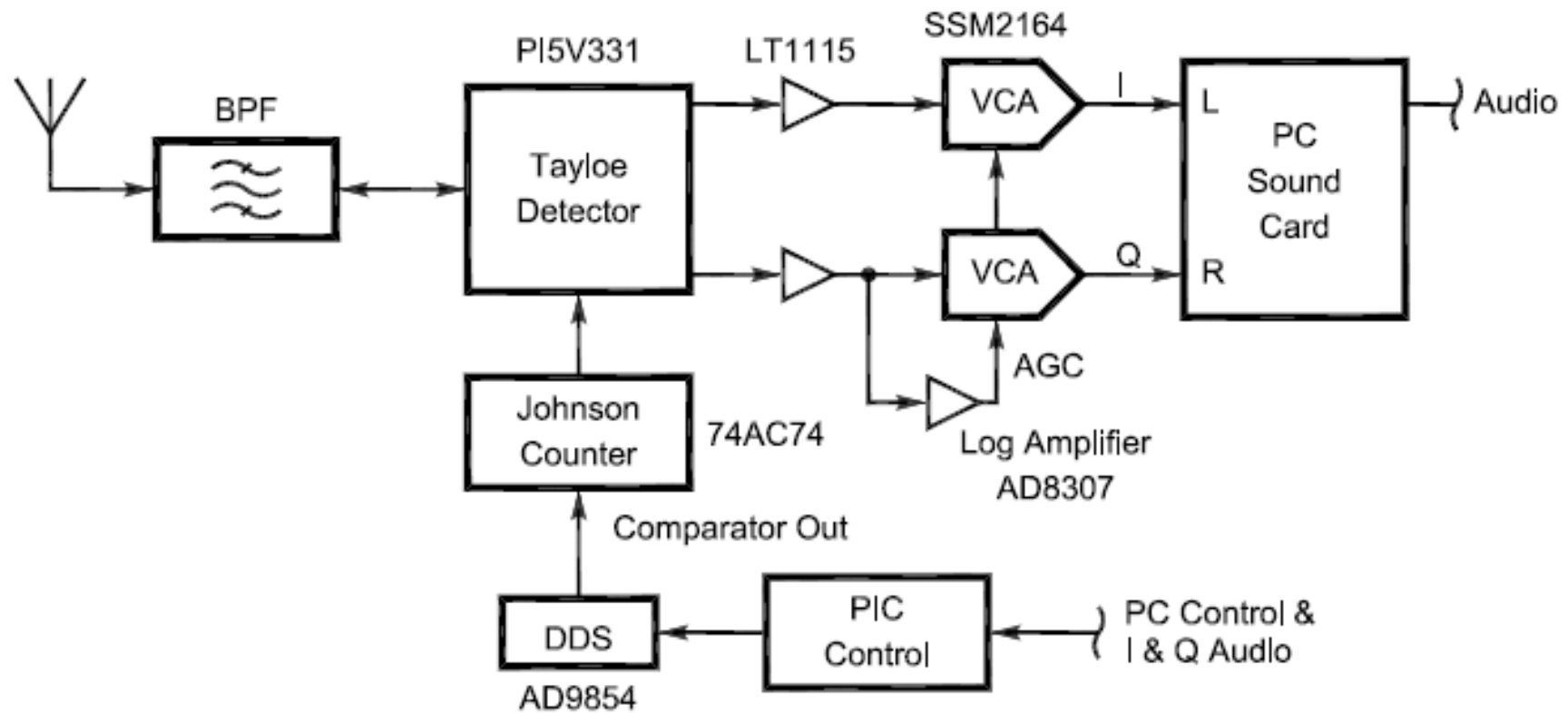
Spiegels? Weg!

- Met de I en Q signalen raken we de spiegels kwijt. Dus een DC ontvanger, maar dan zonder spiegels.
- Demodulatie? Een kwestie van rekenen. Met een moderne computer een makkie.
- We stoppen de I en Q signalen in de geluidskaart. En dan...

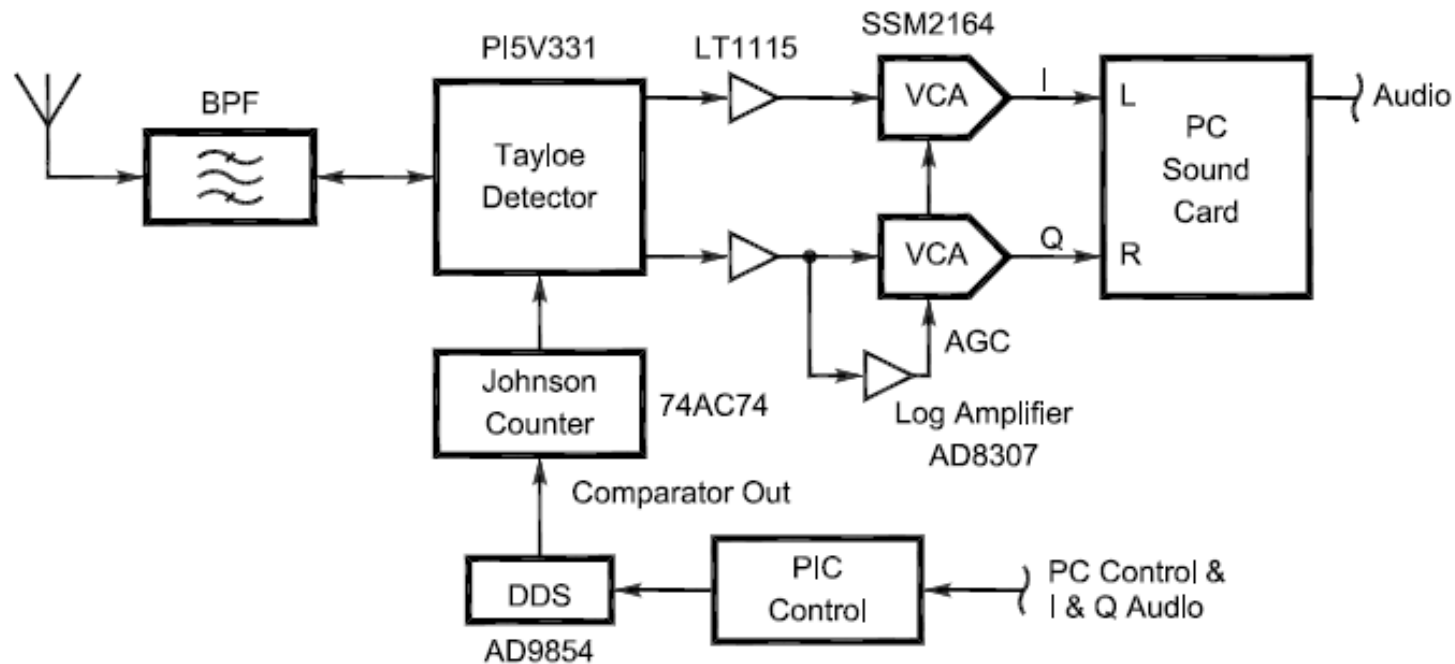
...demoduleren maar...

- Erg handig dat geluidskaarten *stereofonisch* zijn. I en Q zijn gewoon L en R en de bits rollen er vanzelf uit.
- De computer doet de rest. Afstemmen, demoduleren filteren, you name it, they got it...
- Je kunt zelfs de I en Q signalen opslaan als WAV bestand en een soort tijdmachine maken.

Het schema

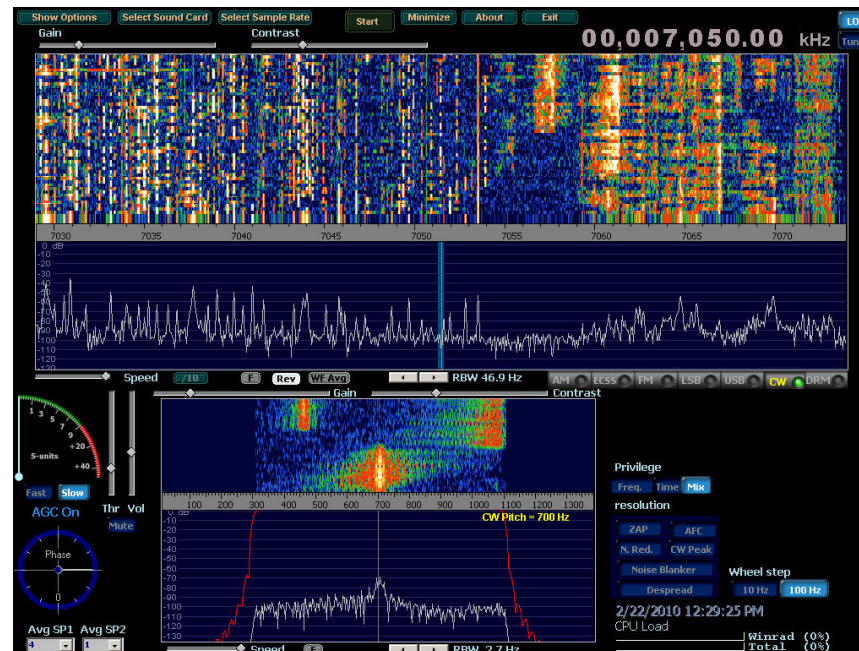


- Met een DDS wordt de LO gemaakt. Daarmee stem je "grof" af, de fijnafstemming doet de PC



Tijd voor een demo

- Aan de hand van eerder geregistreeerde I/Q signalen kunnen we onze tijdmachine laten draaien.
- O.a. hoort u CW, SSB, ECSS en "HiFi" SSB.



De toekomst...

- De ontwikkeling staat niet stil. Inmiddels zijn er chips beschikbaar die ruim 100 Mbit/s met 16 bit diepte kunnen samplen. Prijs? \$122,50 bij 1000 stuks...
- Met dergelijke schakelingen kunnen HF signalen in een keer worden gesampled, zonder conversie, zoals in de besproken SDR ontvangers.
- Een belangrijk voordeel is het **tegelijk** kunnen verwerken van een groot frequentiebereik.
- Volgende pagina: Analog Devices AD9650 dual ADC



16-Bit, 25 MSPS/65 MSPS/80 MSPS/105 MSPS, 1.8 V Dual Analog-to-Digital Converter (ADC)

AD9650

FEATURES

1.8 V analog supply operation

1.8 V CMOS or LVDS output supply

SNR

82 dBFS at 30 MHz input and 105 MSPS data rate

83 dBFS at 9.7 MHz input and 25 MSPS data rate

SFDR

90 dBc at 30 MHz input and 105 MSPS data rate

95 dBc at 9.7 MHz input and 25 MSPS data rate

Low power

328 mW per channel at 105 MSPS

119 mW per channel at 25 MSPS

Integer 1-to-8 input clock divider

IF sampling frequencies to 300 MHz

Analog input range of 2.7 V p-p

Optional on-chip dither

Integrated ADC sample-and-hold inputs

Differential analog inputs with 500 MHz bandwidth

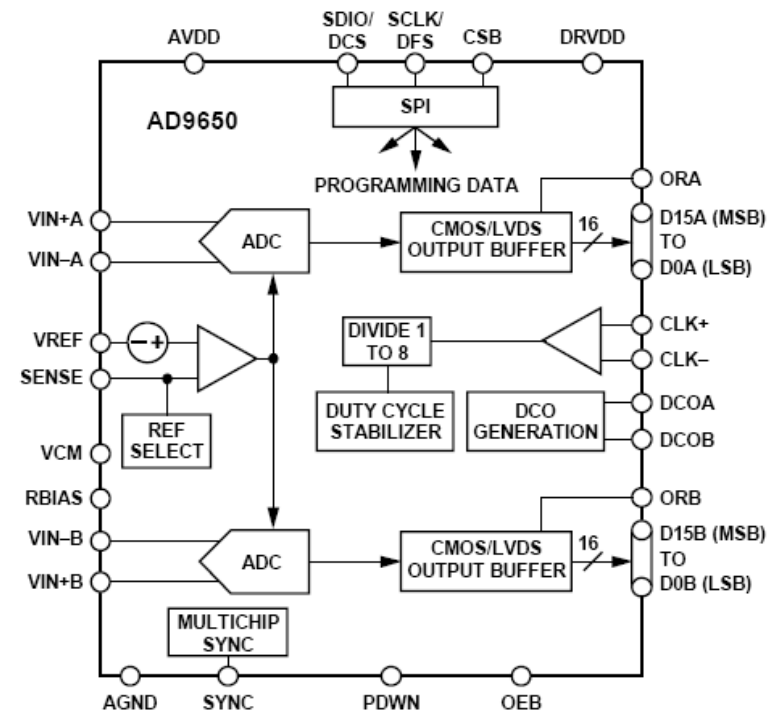
ADC clock duty cycle stabilizer

APPLICATIONS

Industrial instrumentation

X-Ray MRI and ultrasound equipment

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



NOTES

1. PIN NAMES ARE FOR THE CMOS PIN CONFIGURATION ONLY; SEE FIGURE 7 FOR LVDS PIN NAMES.

Figure 1.

086195-001

Wat kunnen we verwachten?

- Het aantal toepassingen van snelle A/D converters zal toenemen. Nu al zijn er vele, zoals elektronica voor mobiele basisstations, radar, militaire en medische toepassingen.
- Doordat veel functies van hardware naar software worden verplaatst, is het heel makkelijk om nieuwe technieken te implementeren, zonder (wezenlijk) wijzigen van de hardware.
- Nieuwe GSM techniek? Geen probleem. Software updaten en klaar!

Ook voor radio-amateurs?

- Uiteraard zullen amateurs toenemend gebruik gaan maken van de nieuwe spullen.
- Niet alleen zend/ontvang apparatuur, maar ook maak je met weinig onderdelen en tegen lage kosten bijvoorbeeld meetapparatuur.
- Ongetwijfeld zijn er al toepassingen die ik nog niet heb opgemerkt. Of ontdekt...
- Experimenteren? Wat minder solderen, maar wel heel interessant en met minder "afval"...

Experiment?

