

DSP

2. Analooq Digitaal Conversie en Digitaal Analooq Conversie

Ing. Patrick Van Houtven
26 september 2011



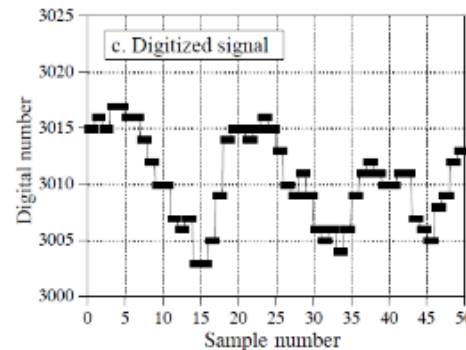
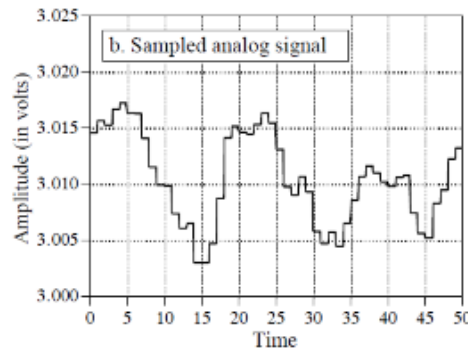
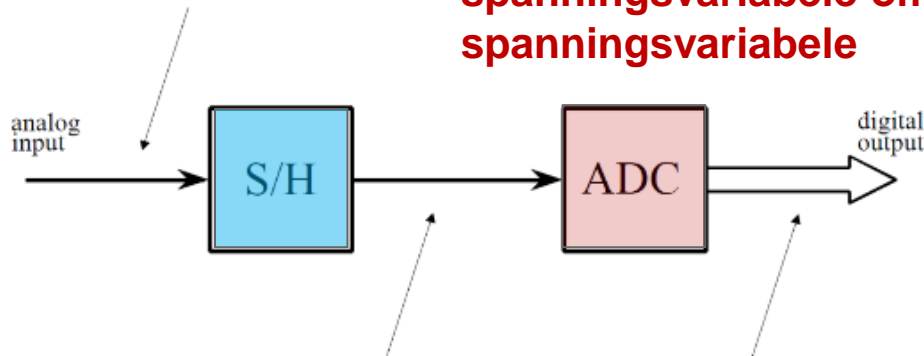
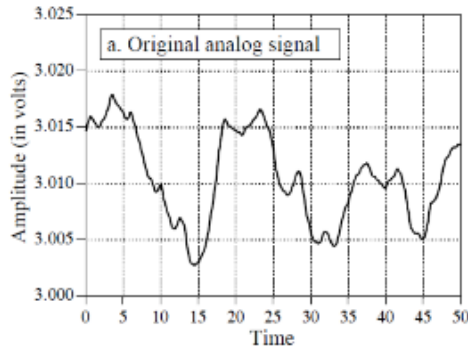
artesis

technologie



- Bemonstering (sampling) en kwantisatie beperken de hoeveelheid informatie dat een digitaal signaal kan bevatten
- Informatiemanagement : welk inzicht moet je in informatie hebben en welke informatie kun je veroorloven te verliezen
 - Juiste sampelfrequentie bepalen
 - Aantal bits en type van filtering bepalen nodig voor omzetten continue signalen naar digitale signalen en omgekeerd

Analoog Digitaal Conversie: Kwantisatie



Eenvoudiger rekenwerk: Spanningsbereik hetzelfde als kwantisatiebereik) (0-4095 mV – 12 bit ADC)

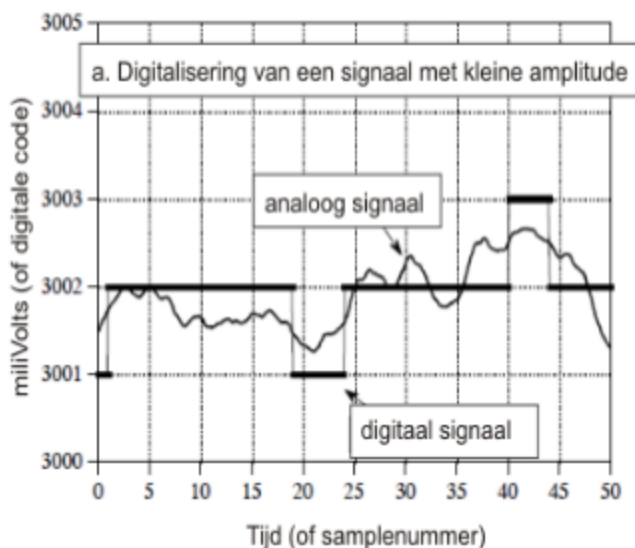
Theoretisch model helpt begrijpen hoe digitalisatieproces verloopt

Sampleproces: converteert de continu verlopende onafhankelijke tijdsvariabele om in een discrete onafhankelijke tijdsvariabele

Kwantisatie proces converteert de continu afhankelijke spanningsvariabele om tot een discrete afhankelijke spanningsvariabele



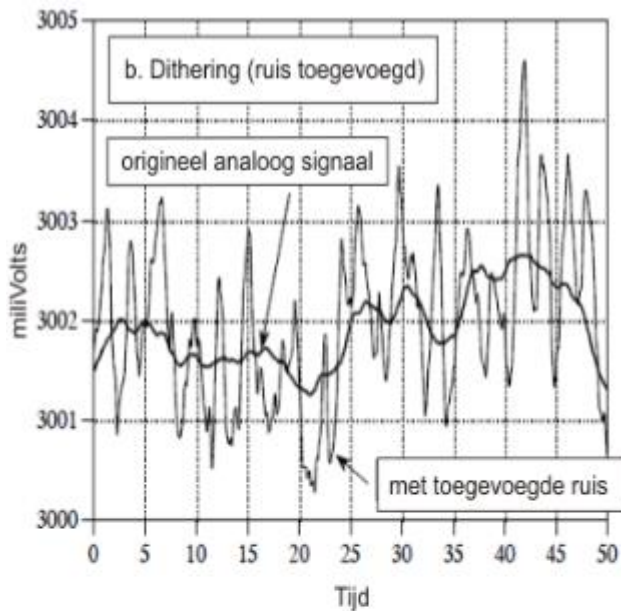
- Hoeveel bits nodig om een bepaald signaal te kwantiseren?
 - Hoeveel ruis is er reeds in het analoog signaal aanwezig?
 - Hoeveel ruis kan er worden getolereerd in het digitale signaal?
- Theoretisch model bruikbaar zolang de kwantisatie-error als random kan worden behandeld.
 - Niet toepasbaar als het signaal nagenoeg constant blijft gedurende vele opeenvolgende samples



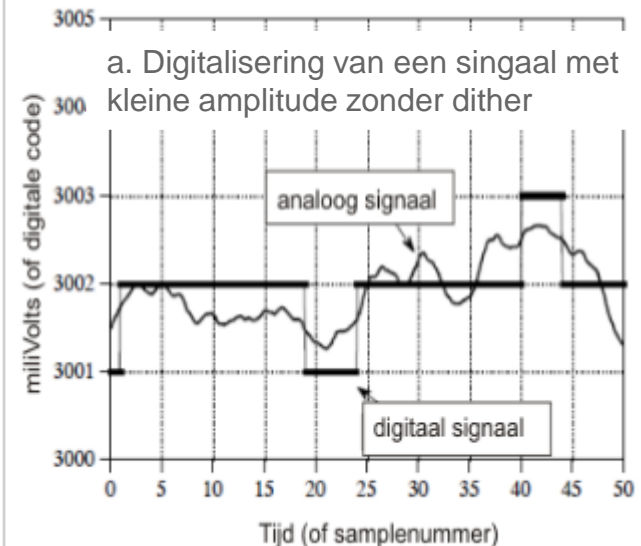
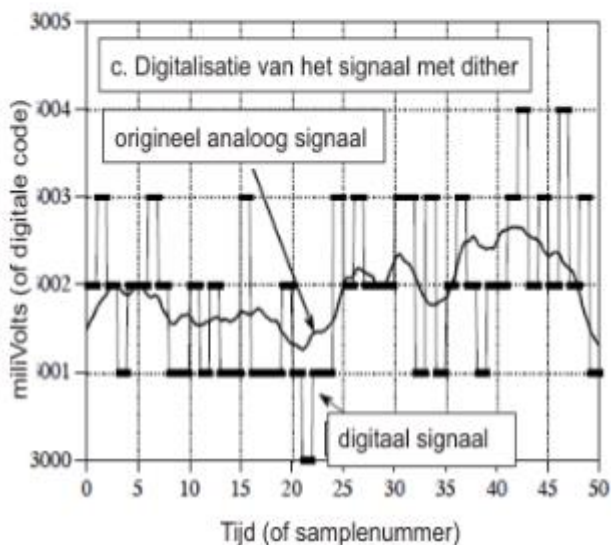
het signaal stijgt af en toe boven $\frac{1}{2}$ LSB.

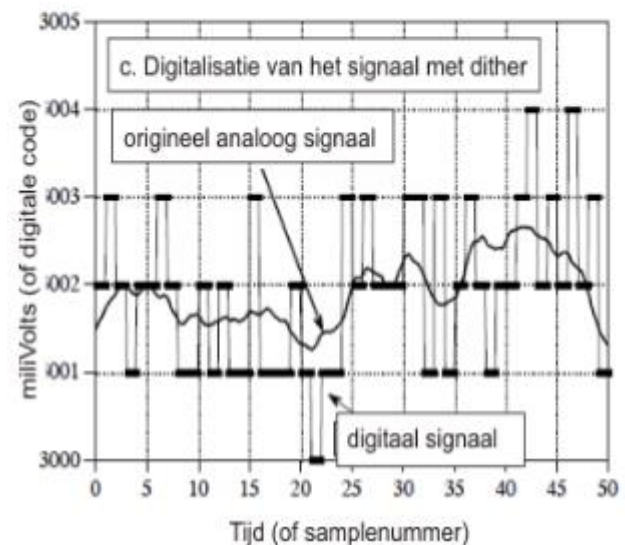
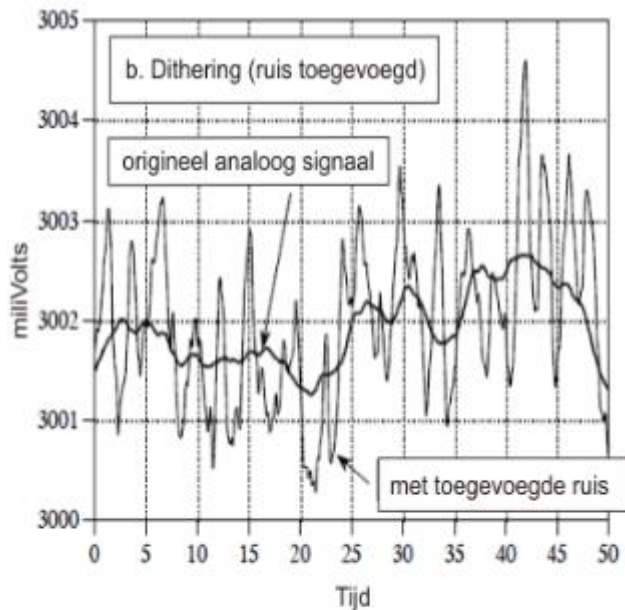
In plaats van additieve random ruis toe te voegen, levert de kwantisatiefout (error) een drempelvormige vreemde vervorming op.

Analoog Digitaal Conversie: Dither



- Toevoegen kleine hoeveelheid ruis => signaal regelmatig boven $\pm 1/2 \text{ LSB}$ => lichte variaties kunnen opgemerkt worden
- Toegevoegde ruis normaal verdeeld => met $\sigma = 2/3 \text{ LSB}$ => lichter variaties toch opmerkbaar (amplitude vb tot 3 LSB)
- Door toevoeging dither veranderingen analoog signaal met minder dan $1/2 \text{ LSB}$ toch detecteerbaar





Vb Dither

- Stel analoog signaal nagenoeg constant van 3,0001V
 - 1/10 totale tijd tussen kwantisatieniveaus 3000 en 3001
- Stel 10000 samples nodig om signaal te digitaliseren
- Zonder dither => alle 10000 samples dezelfde code genereren
- Met dither=> alle 10000 samples oscileren tussen 2 (of meer) niveaus met 1/10 niveau tussen 3000 en 3001 => 10 % code 3001 => totale waarde
$$(1000 \times 3001 + 9000 \times 3000) / 1000 = 3000,1$$
- Enkel meting beperkt tot $\frac{1}{2}$ LSB; statistiek van groter aantal samples nauwkeuriger resultaat



- Systemen om dither te genereren

- **Subtractive dither**

DSP (of andere controller) \Rightarrow random getallen \Rightarrow DAC sturen (generatie toe te voegen ruis) \Rightarrow na digitalisering random ruis terug aftrekken via floating point berekeningen

Toegepast in meer geavanceerde systemen

- **Gebruik aanwezige ruis in het analoge signaal**

Veel eenvoudiger methode

Niet altijd mogelijk om deze methode toe te passen



- Stel een 8 bit ADC en dat een amplitude van 1 V sinussignaal overeenkomt met het totale schaalbereik \rightarrow 1 V komt dan overeen met binaire code 255
- Stel dat op het analoog signaal een ruis aanwezig is van 1 mV
- Hoeveel is nu de totale ruisontwikkeling ten gevolge van kwantisering?
- Eerst bepalen we hoeveel ruis 1 mV bedraagt in functie van LSB
 - 1 mV komt overeen met $0,001 \cdot 255 \text{ LSB} = 0,255 \text{ LSB}$
- In de meeste gevallen resulteert de kwantisatie in niets meer dan de toevoeging van een bepaalde hoeveelheid random ruis aan het signaal. Deze toegevoegde ruis is gelijkmatig verdeeld tussen $\pm 1/2 \text{ LSB}$, heeft een gemiddelde van nul en een standaarddeviatie van $1/\sqrt{12} \text{ LSB}$ of ongeveer $0,29 \text{ LSB}$
- Hoeveelheid opgewekte ruis: $\sqrt{0,255^2 + 0,29^2} = 0,36 \text{ LSB}$



- Om te weten te komen hoeveel de ruis in percentage is gestegen ten opzichte van de hoeveelheid ruis die reeds aanwezig was in het signaal kunnen we volgende bewerking toepassen:

$$\frac{0,386 - 0,255}{0,255} \times 100\% = 51\%.$$

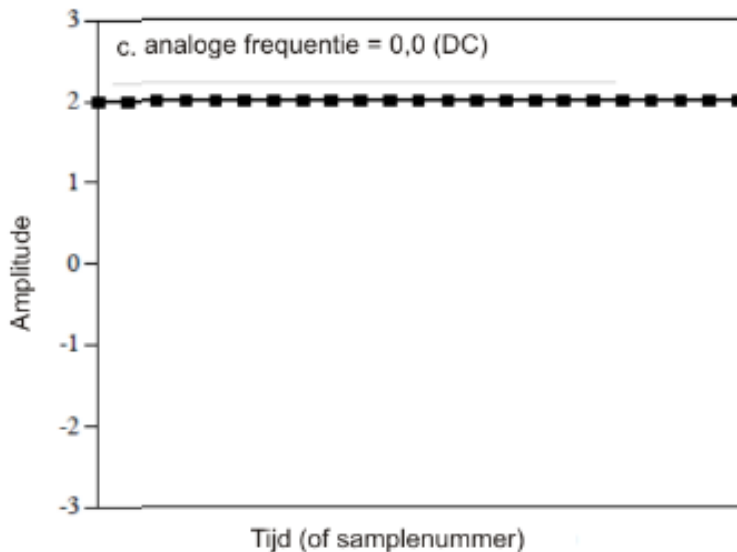
- We kunnen hieruit besluiten dat als we dit signaal converteren met een 8-bit ADC de totale ruis op het signaal stijgt met ongeveer 50%.



- Welke ruistoename als 12 bit ADC werd gebruikt in plaats van 8-bit ADC?
- 1V komt in dit geval overeen met 4095 *LSB*.
 - 1 mV levert bijgevolg 4,095 *LSB* op.
- De totale ruisgeneratie vinden we dan als volgt: $\sqrt{4,095^2 + 0,29^2} = 4,105 \text{LSB}$.
- In percentage omgerekend levert dit een
- $\frac{4,105 - 4,095}{4,095} \times 100\% = 0,24\%$ stijging van de ruis op.
- Hieruit kunnen we besluiten dat het digitaliseren van hetzelfde signaal (in dit voorbeeld!) over een 12-bit ADC praktisch geen ruisvermeerdering door kwantisatie veroorzaakt.



- Correct samplen = vanuit de samples het signaal terug exact reconstrueren

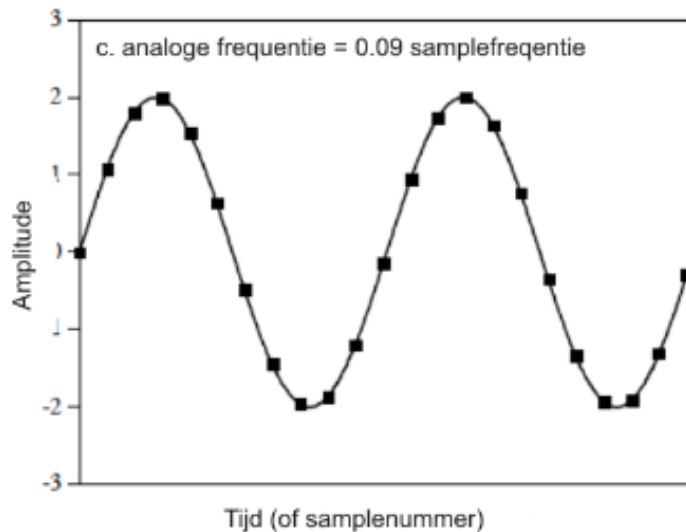


Analoog signaal = DC-signaal
Alle samples bevatten de informatie die nodig is om het signaal terug te construeren

Voorbeeld van correct samplen vermits niveaus verbinden met een rechte lijn => oorspronkelijke spanning terug



- Correct samplen = vanuit de samples het signaal terug exact reconstrueren



Analoog signaal = 0.09 sampelfrequentie
Vb: signaal 90 Hz en sampelfr = 1000Hz

11,1 samples per periode ingangssignaal

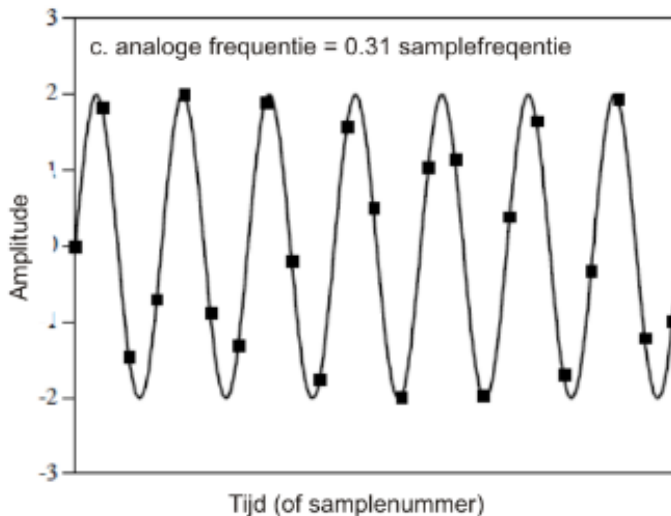
Oorspronkelijk signaal terug: niet voldoende
afzonderlijke samples met rechte lijn te
verbinden

Toch correct samplen vermits er maar één
sinusoïde is die dit signaalpatroon zou
genereren

Voorbeeld van correct samplen



- Correct samplen = vanuit de samples het signaal terug exact reconstrueren



Analoog signaal = 0.31 sampelfrequentie
Vb: signaal 300 Hz en sampelfr = 968Hz

3,2 samples per periode ingangssignaal =>
lijnen verbinden lijkt niet de algemene trend
van het signaal te volgen

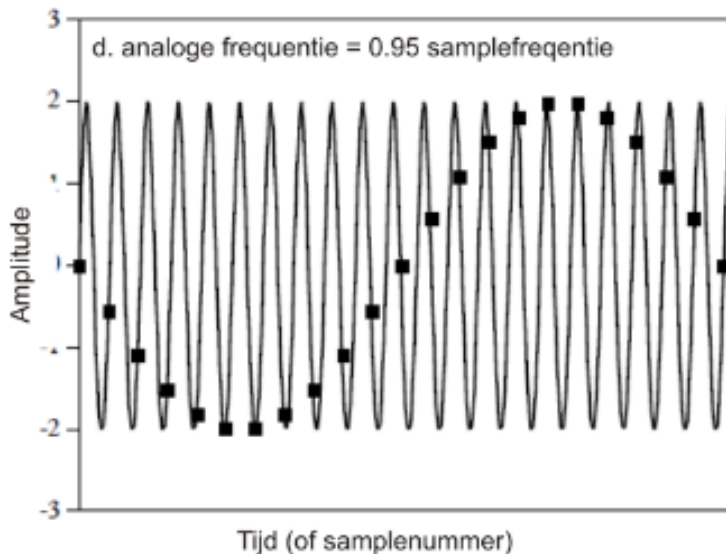
Toch correct samplen vermits er maar één
sinusoïde is die dit signaalpatroon zou
genereren

Voorbeeld van correct samplen



- Correct samplen = vanuit de samples het signaal terug exact reconstrueren

Analoog signaal = 0.95 sampelfrequentie
Vb: signaal 400 Hz en sampelfr = 421Hz



1,05 samples per periode ingangssignaal =>
aantal genomen samples niet meer voldoende
ingangssignaal te reconstrueren

Samples stellen andere sinusgolf voor (21 Hz
of 0,05 sampelfr) => effect is **aliasing**

Niet correct samplen vermits er meerdere
sinusoïden zijn die dit signaalpatroon zouden
genereren

Voorbeeld van niet correct samplen © artesis 2011 | 14

ADC: Shannon samplingtheorem of Nyquist sampling theorem

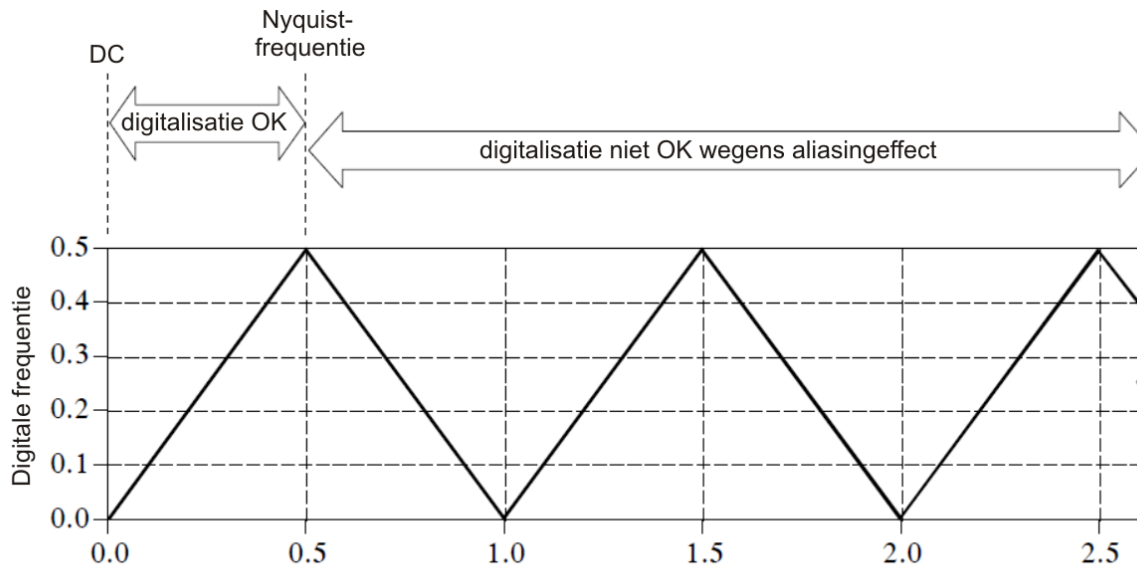


- Continu signaal kan enkel goed bemonsterd worden als het geen frequenties bevat boven de helft van de samplefrequentie = Nyquistfrequentie (ook Nyquist rate genoemd)
- Betekenis Nyquistfrequentie niet gestandaardiseerd
- Vb analoog signaal: DC-component + band tot 3kHz; $f_s = 8 \text{ kHz}$
 - de hoogste frequentie van het signaal (3 kHz)
 - de frequentie die twee keer zo hoog is (6 kHz)
 - de gebruikte samplefrequentie (8 kHz)
 - de frequentie tot waar het signaal correct wordt gesampled (4 kHz) = Nyquist rate of Nyquistfrequentie

ADC: Shannon samplingtheorem of Nyquist sampling theorema

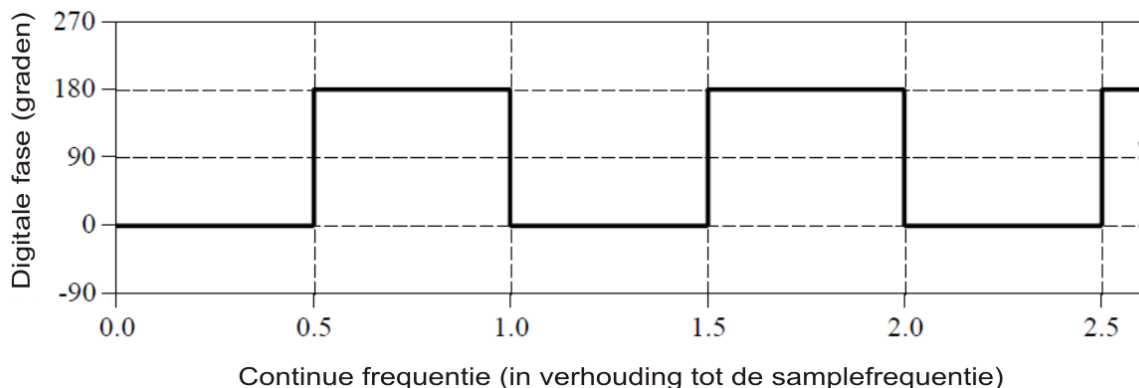


Digitaal signaal geen f 's boven de Nyquistfrequentie



Bij f 's $>$ Nyquistfr \Rightarrow aliasingeffect

Iedere hogere analoge continue $f >$ Nyquistfr veroorzaakt een bepaalde digitale f gelegen tussen 0 en 0,5

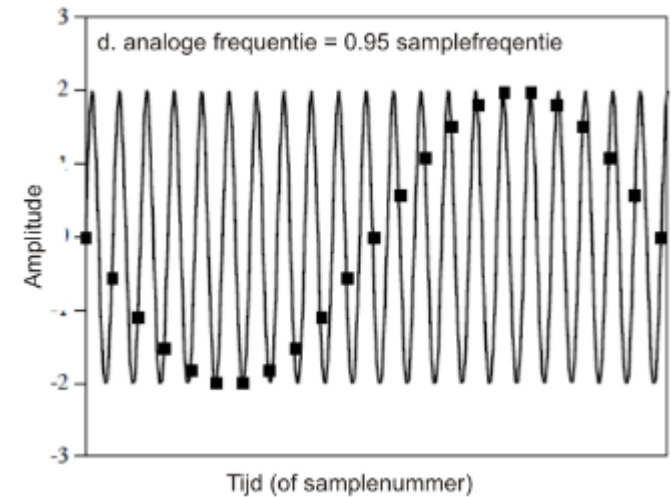
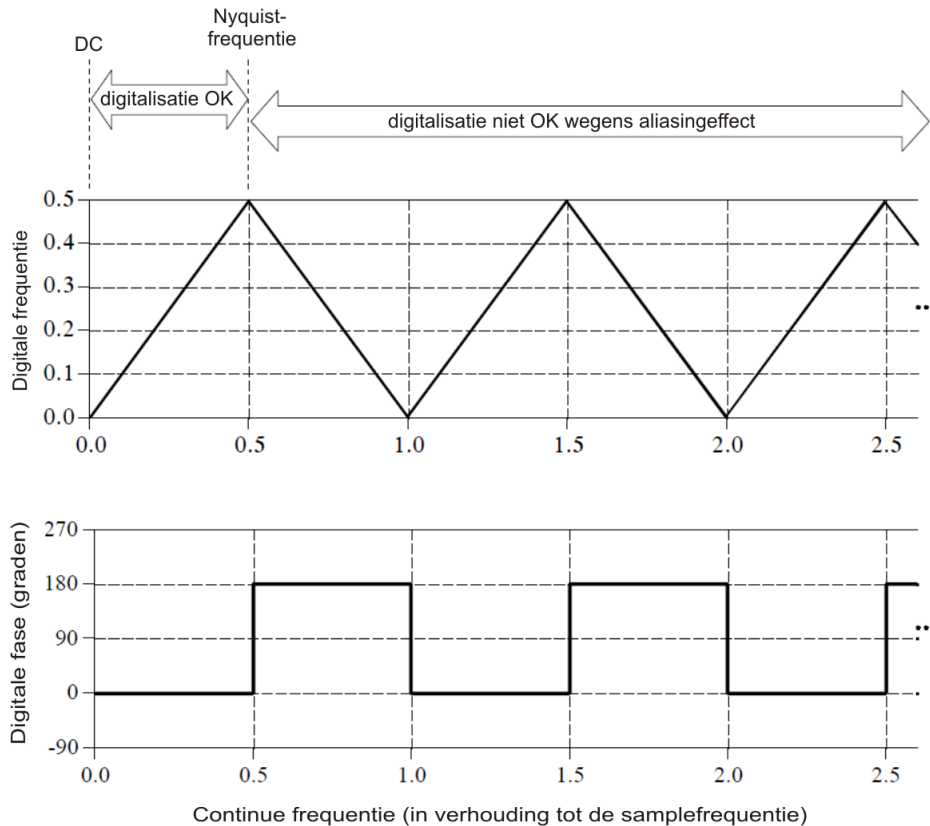


$f = 0,2 f_s \Rightarrow$ digitaal signaal $0,2 f$

$f = 0,8 f_s \Rightarrow$ ook digitaal signaal $0,2 f_s$ maar ook $1,2; 1,8; 2,2; \dots f_s$ veroorzaken dit

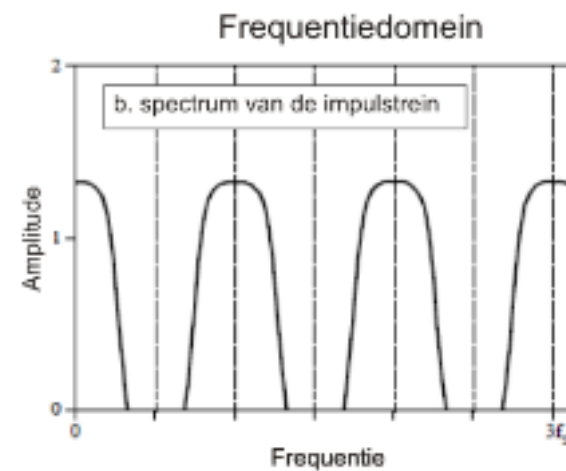
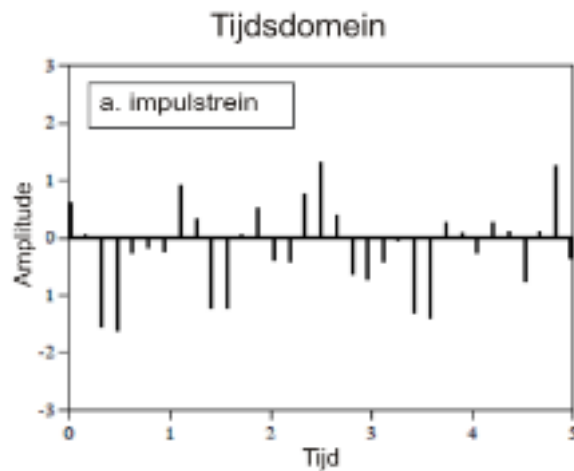
Aliasing kan 2 soorten faseverschuiving veroorzaken

ADC: Shannon samplingtheorem of Nyquist sampling theorem





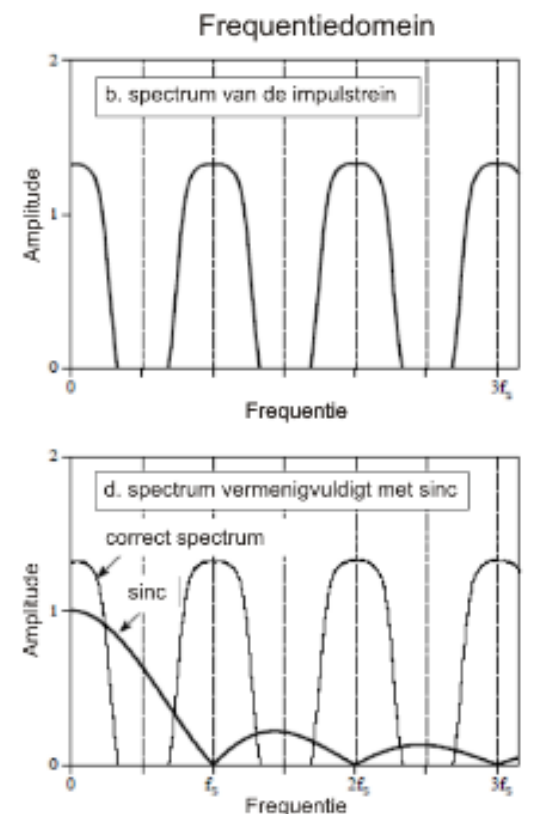
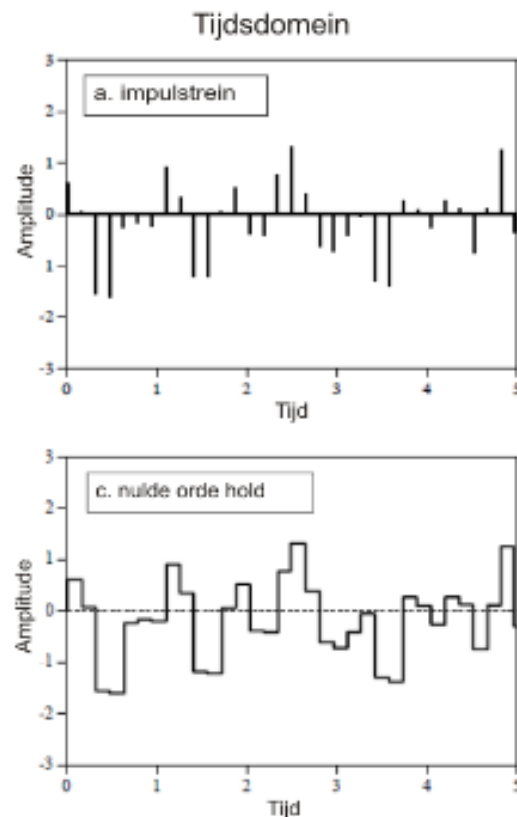
- Principe: samples terug uit geheugen en impulstrein vormen
- Oorspronkelijk signaal terug gegenereerd na passeren LD-filter met afsnijfrequentie = Nyquistfrequentie
- Werkt goed bij een theoretisch wiskundig model maar in praktijk moeilijk om smalle pulsen te creëren



Digitaal Analooq Conversie



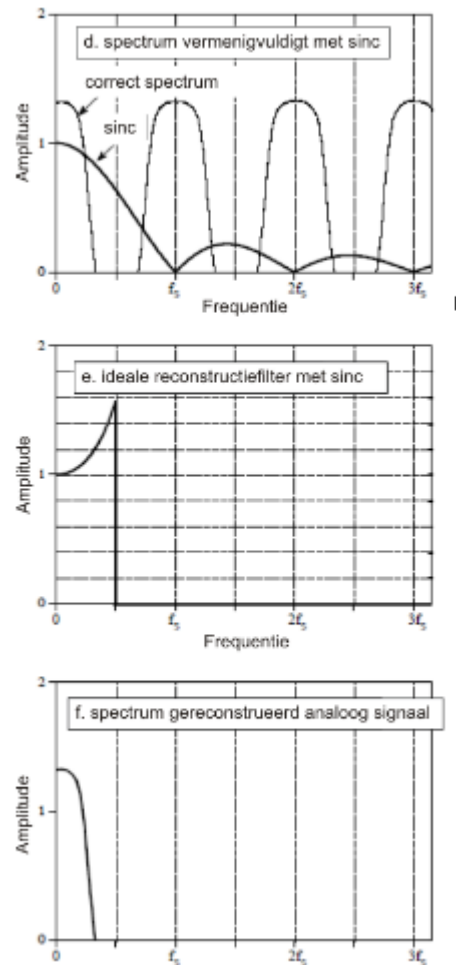
- Oplossing nulde-orde hold (DAC – equivalent sample and hold)
 - Trapvormig systeem
- Spectrum nulde-orde hold : spectra impulstrein vermenigvuldigt met sinccurve $H(f)$



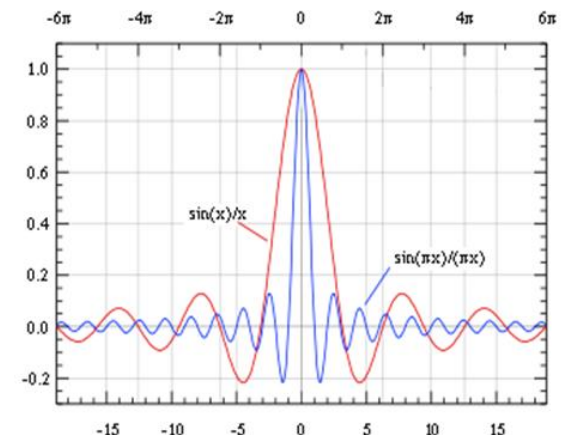
Digitaal Analooq Conversie



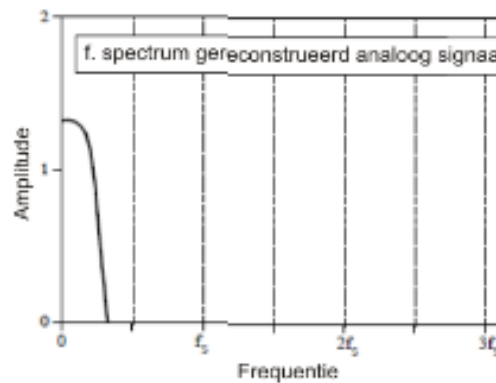
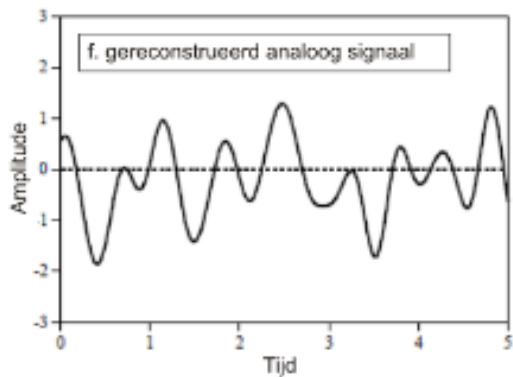
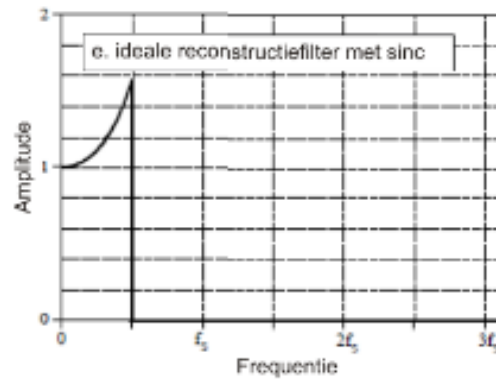
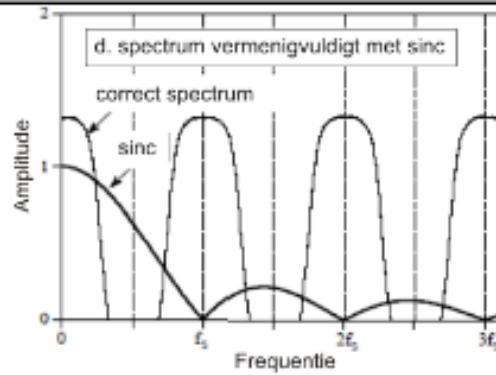
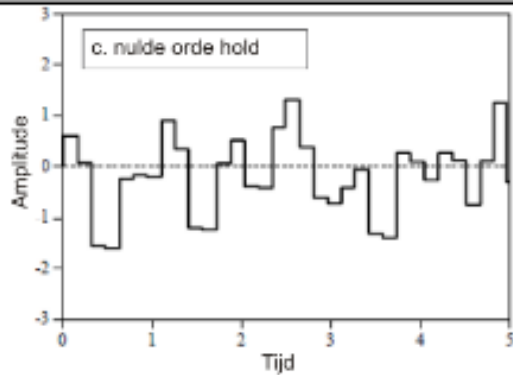
- sinc-functie met regelmaat gebruikt bij DSP
- Genormaliseerde vorm => som van f-waarden = 1
- Fouriertransformatie genormaliseerde sinc-functie levert een blokqolf op zonder schaling
 - 0^{de} orde hold kan beschouwd worden als de convolutie van de impulstrein met een rechthoekpuls
- Analoge filter voor reconstructie analooq signaal
 - Verwijderen alle f's > fnyquist
 - Versterken signaal met factor 1/sinc(x) (komt overeen met ongeveer 36% bij fnyquist)
 - Hoe versterking bekomen?
 - Mee in filterontwerp te integreren
 - Correctie inbouwen in de software vooraleer het signaal aan de DC wordt aangelegd



$$H(f) = \left| \frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_s}\right)}{\frac{\pi f}{f_s}} \right|$$



Digitaal Analooq Conversie



$$H(f) = \left| \frac{\sin\left(\frac{\pi f}{f_s}\right)}{\frac{\pi f}{f_s}} \right|$$