

# DEC – SDR – DSP project 2017

- Inleiding
  - Theorema van Shannon / Nyquist
  - Anti – alias filtering
  - Analooq naar digitaal met een SDR-apparaat
  - I – Q samples (I – infase, Q – quadratuur)
  - Decimation en Interpolation (veranderen van sample rates)

# Theorema van Shannon / Nyquist

Sampling frequentie  $F_{\text{sample}}$

tenminste 2x zo hoog als  
de gesampelde Bandbreedte.

Dus als voor een baseband signaal geldt:

$F_{\text{sig}}$  is max 1MHz,

dan sampelen met tenminste 2 Msamples / sec

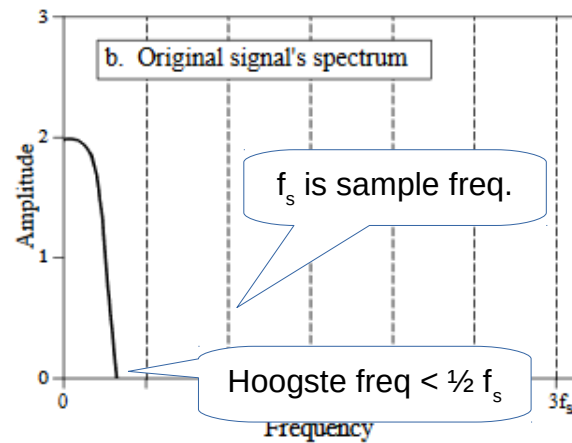
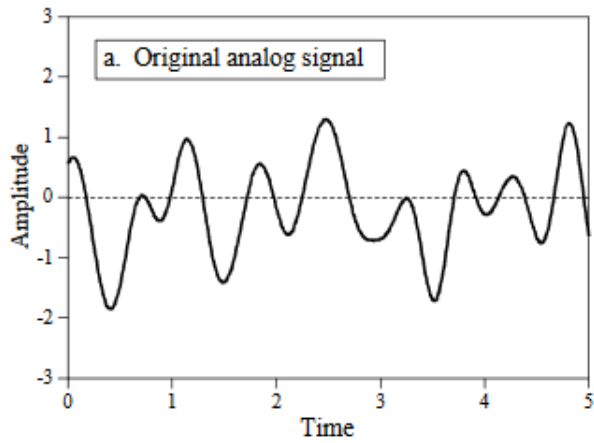
# voorbeeld

'met de scope'

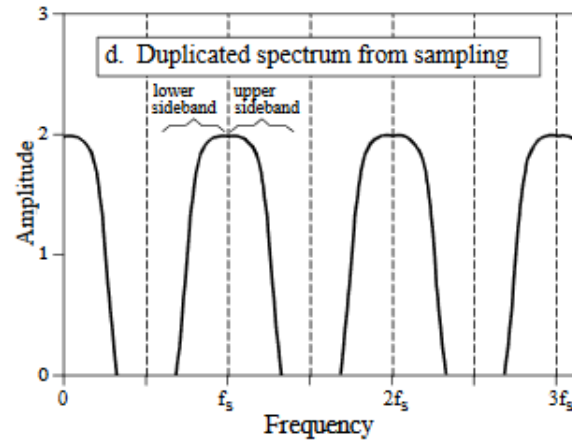
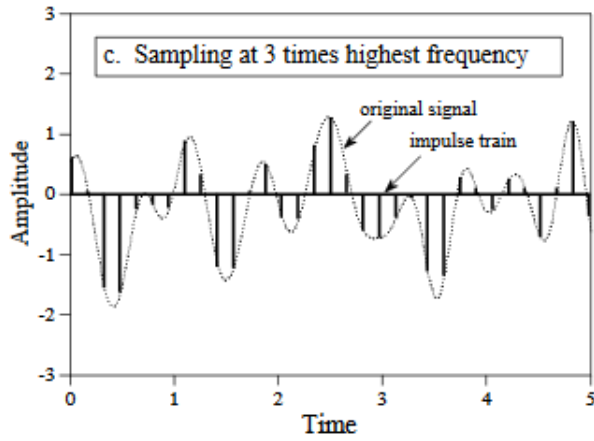
'met de spectrum analyzer'

Time Domain

Frequency Domain



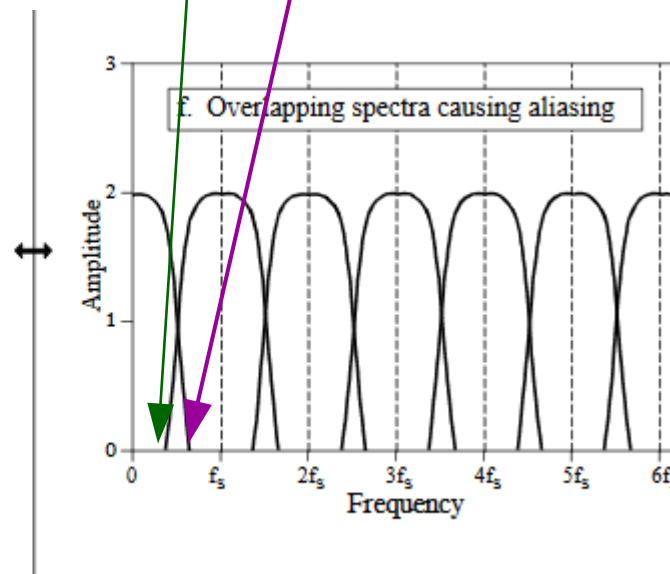
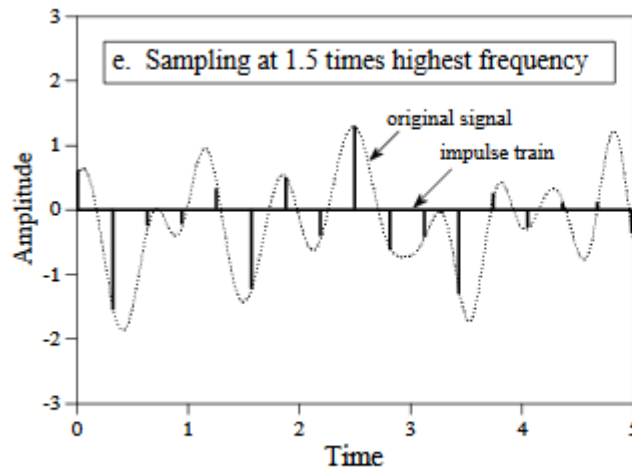
Vóór  
sampling



Gesampled

# Vervolg: $F_{\text{sample}}$ is te laag

Deze **hoge freq** doet zich ook voor als een **alias** op lagere freq.

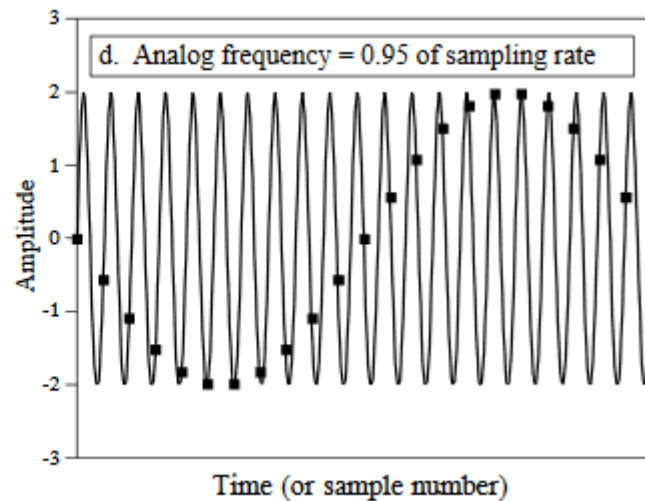
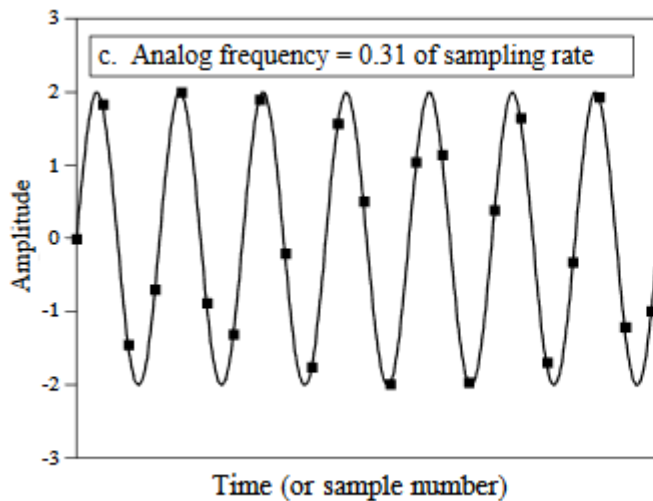
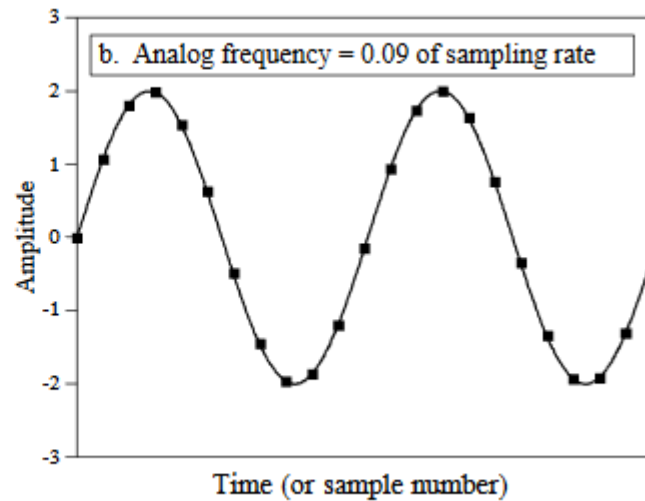
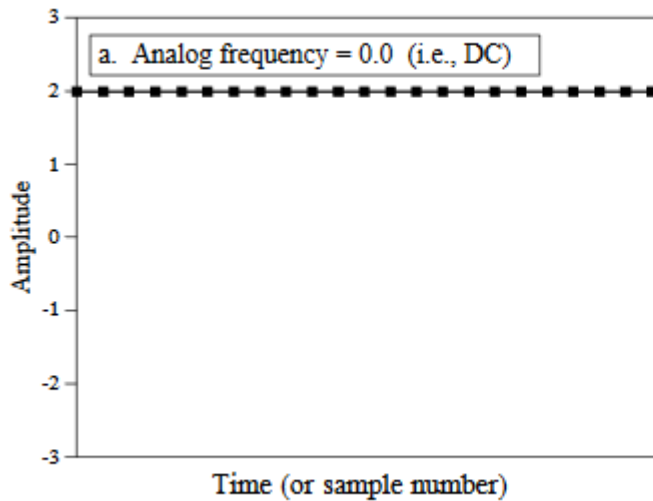


$f_s$  is nu  $< 2 \times$  de hoogste  
freq van het signaal

Nu gaat het fout.

De 'zijbanden' overlappen elkaar en zijn later niet meer uit elkaar te halen.

# Nogmaals...



Toelichting:

Stel sampling freq  $f_{\text{sample}} = 24 \text{ Hz}$

Een gelijkspanning en een sinus van 2 Hz worden gemakkelijk weergegeven met hun samples (plaatjes a en b).

Een sinus van 7 Hz (plaatje c) wordt ook goed weergegeven, maar dan wat minder duidelijk. Met rekenen en wiskunde is er later wel een 7 Hz sinus van te maken

In (d) is de signaal frequentie 23 Hz (veel hoger dan  $\frac{1}{2} f_{\text{sample}}$ ). De samples zijn er nu uit als een 1 Hz signaal, geen twijfel mogelijk zou je zeggen.

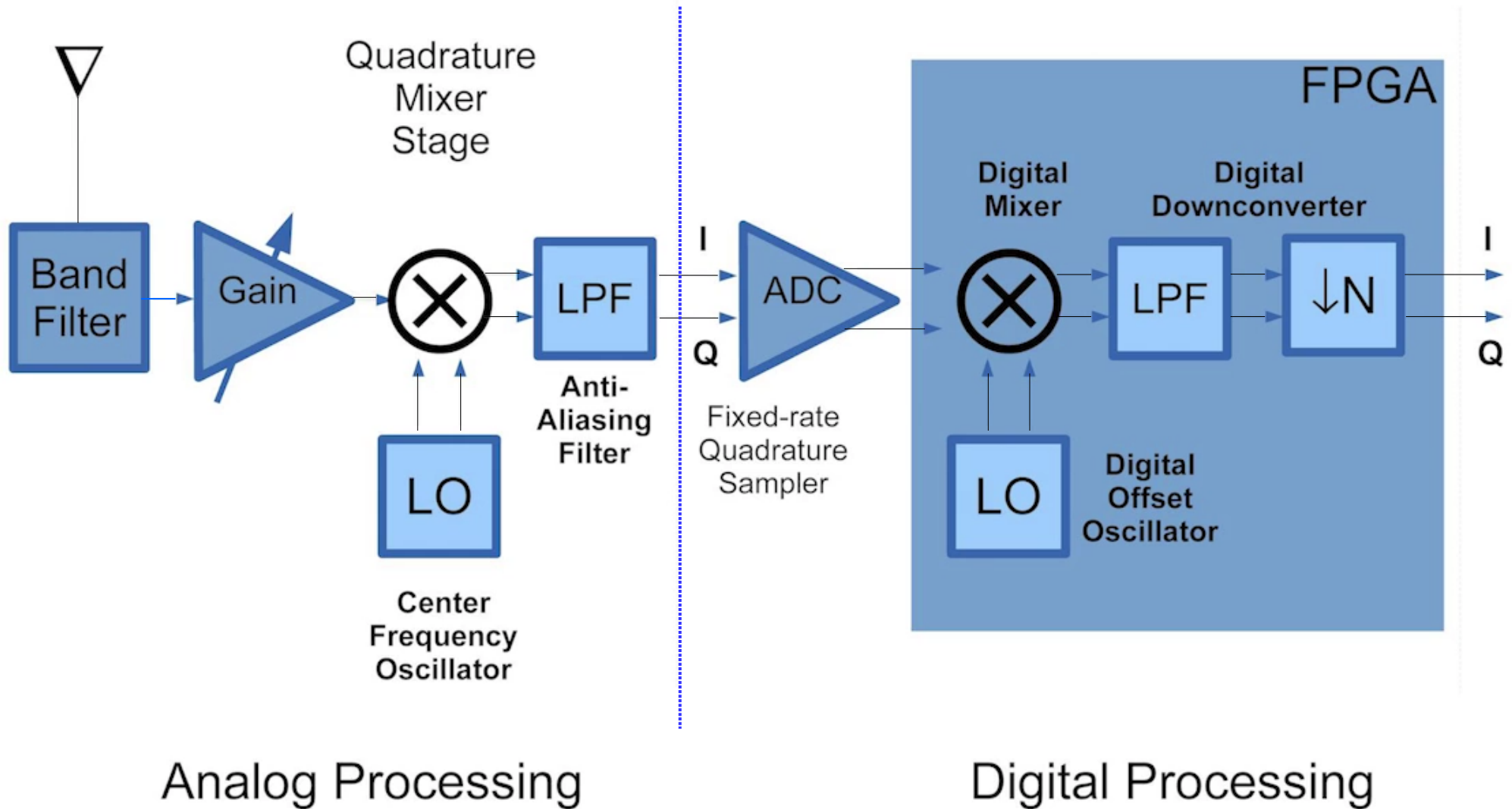
De 23 Hz doet zich nu voor als een 1 Hz signaal, dit wordt een zgn. 'alias' genoemd.

Om 'aliasing' tegen te gaan wordt het te bemonsteren signaal eerst gefilterd zodat het nooit componenten heeft met hogere frequentie dan  $\frac{1}{2} \times f_{\text{sample}}$  (het **anti-aliasing filter**)

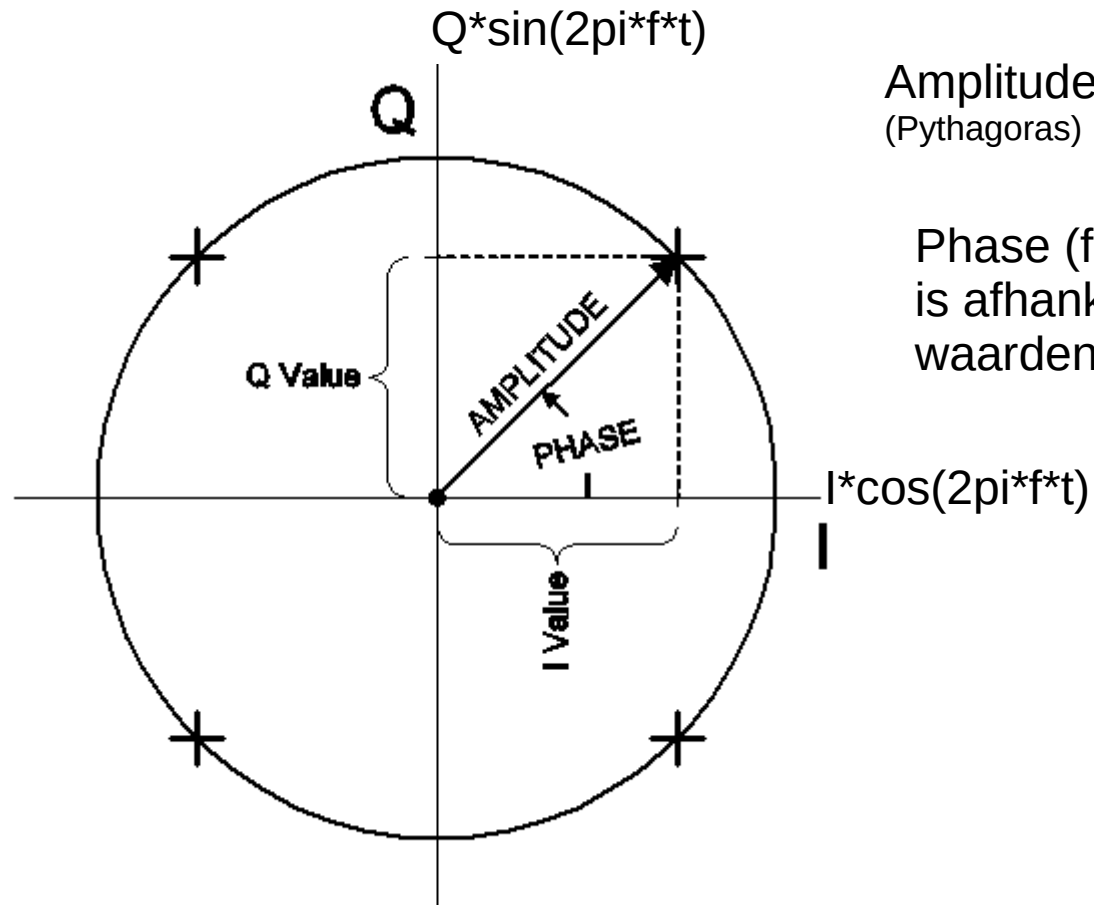
# Van analoog naar digitaal



Typical SDR ontvanger: RTL-SDR, HackRF, SDRplay, Flex-5000, etc.



# Wat is I en Q ?

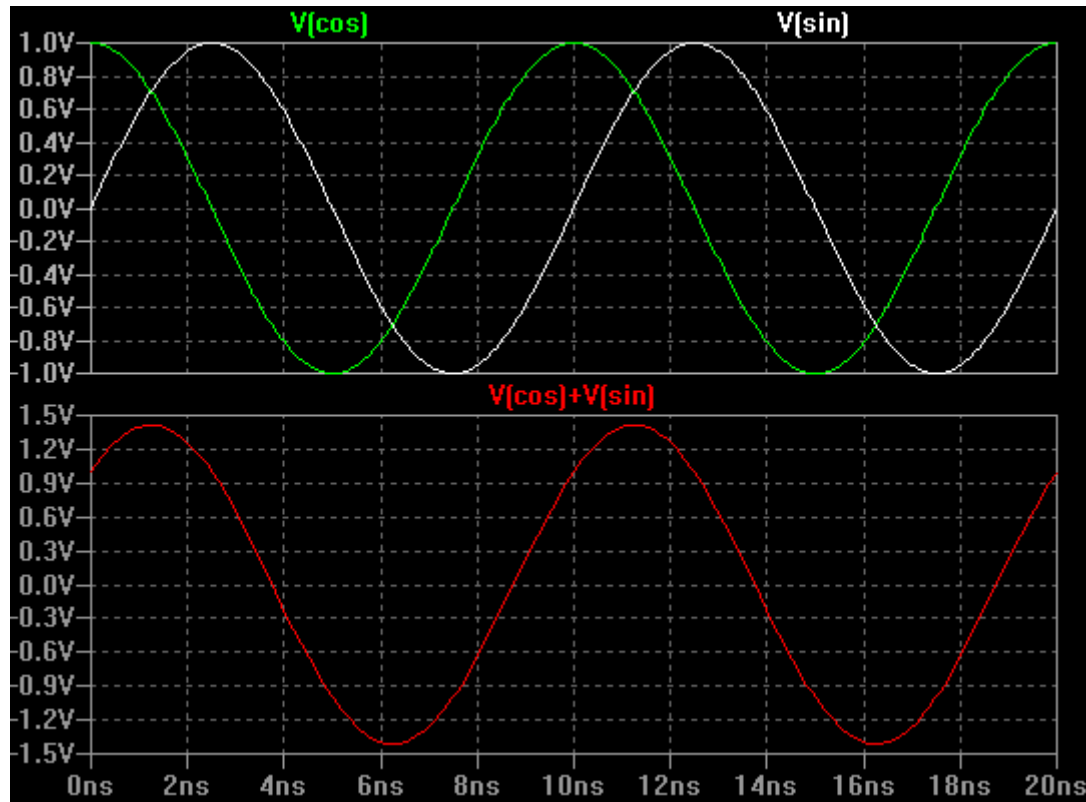


Amplitude = wortel ( $I^2 + Q^2$ )  
(Pythagoras)

Phase (fase / hoek)  
is afhankelijk van  
waarden I en Q



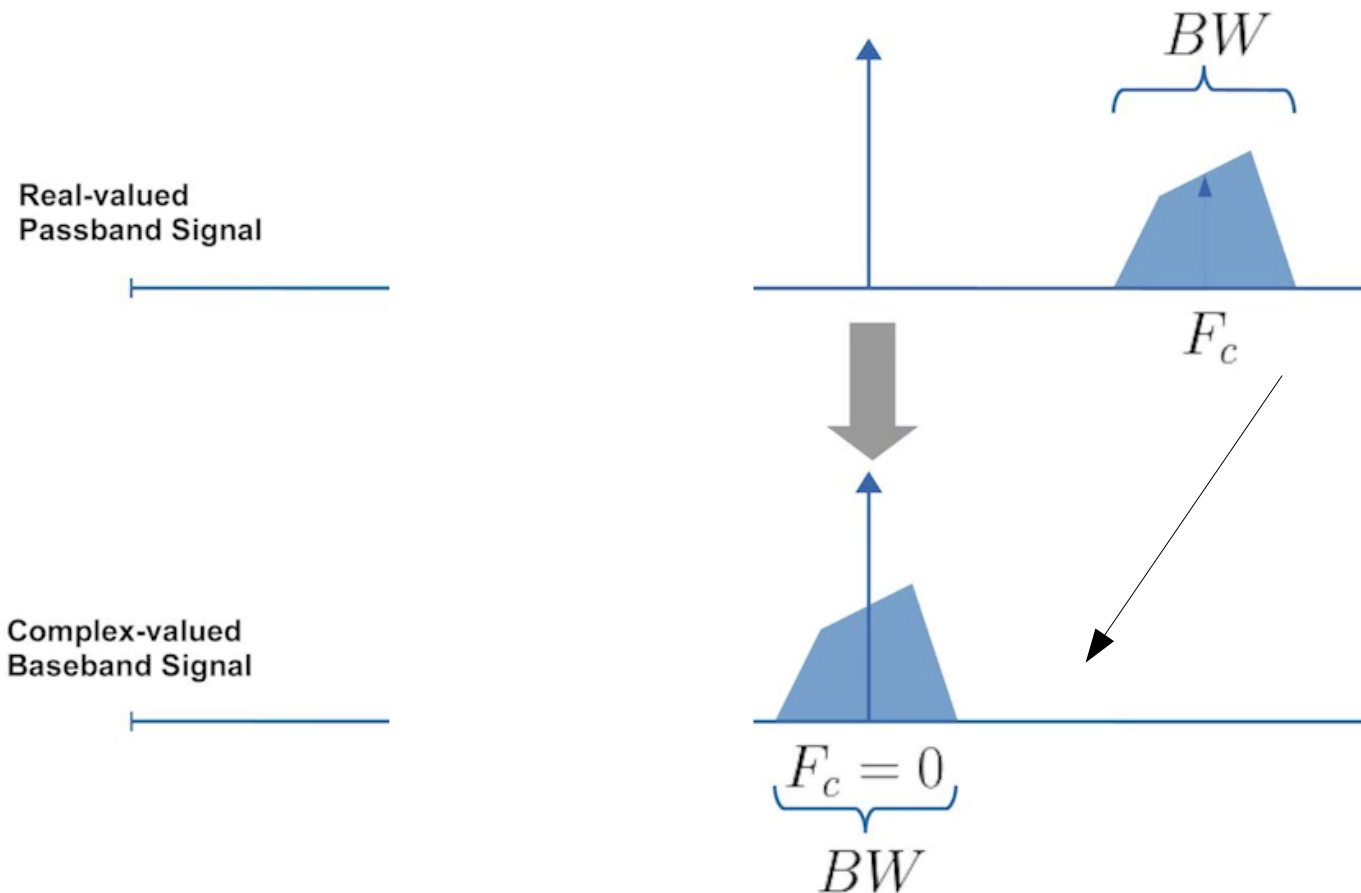
# I (cos) en Q (sin)



Door I en Q te veranderen:

- Worden amplitude en fase beïnvloed
- Dus met deze twee 'sinusoiden' kun je iedere sinusvorm met welke amplitude of fase ook beschrijven.

# Wat kun je met I en Q signalen?



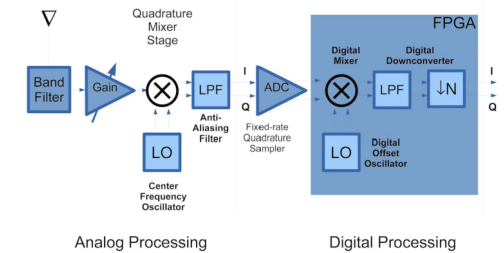
Mixen als direct conversion ontvanger (dus meteen naar audio), maar met I en Q mixer.

VFO frequentie is  $F_c$

Door I/Q mixing kunnen we het deel onder de 0 Hz wiskundig nog onderscheiden van het deel erboven. Dit wordt met name toegepast in het digitale domein.

Gevolg is b.v. met 192 kHz audio-sampling een bandbreedte van 192 kHz op je scherm i.p.v. de helft: -96 kHz tot +96 kHz (0 tot +/- 96 kHz is nog steeds  $\leq \frac{1}{2} \times f_s$  192 kHz)

# Veranderen samplerate: *Decimation* en *Interpolation*



- B.v. 3 kHz audio samplen met 64 kHz i.p.v. 8 kHz.  
Hoge  $f_{\text{sample}}$  → simpeler analoog anti-aliasing filter nodig (minder steil).
- Echter:
  - Hogere data-rate (meer samples), dus meer processor power nodig
  - audio boven 3 kHz tot 32kHz wordt niet gebruikt dus processing power voor niks gebruikt
- Daarom:
  - voeg nu in digitale domein een strak 3kHz filter in, derhalve nu strak 0-3 kHz beschikbaar in 64 ksamples/sec (kS/s)
  - Neem 1 op de 8 samples eruit en hou zo 8 kS/s over (dit is voldoende voor 3 kHz audio).
- Zodat: nu verder rekenen met 8 kS/s i.p.v. 64 kS/s

Dit proces heet: DECIMATION

# Veranderen samplerate: *Decimation* en *Interpolation*

- Interpolation is omgekeerde van decimation, oftewel het in het digitaal domein verhogen van de sample rate.
- 3 kHz digitale audio in de vorm van 8kS/s vraagt bij digitaal analoog conversie opnieuw een goed analoog filter (lowpass vanaf 3 kHz en vervolgens snel naar beneden voor ondrukken quantizeringsruis en evt. spurious)
- Digitale oplossing:
  - voeg iedere sample er nog 7 aan toe
  - Dus nieuwe snelheid 64 kS/s
  - Gebruik digitaal lowpass filter dat vanaf 3 kHz afsnijdt
  - Vervolgens kan 64 kS/s omgezet worden naar analoog en met simpeler lowpass filter worden omgezet in goede audio

Dit proces heet INTERPOLATION