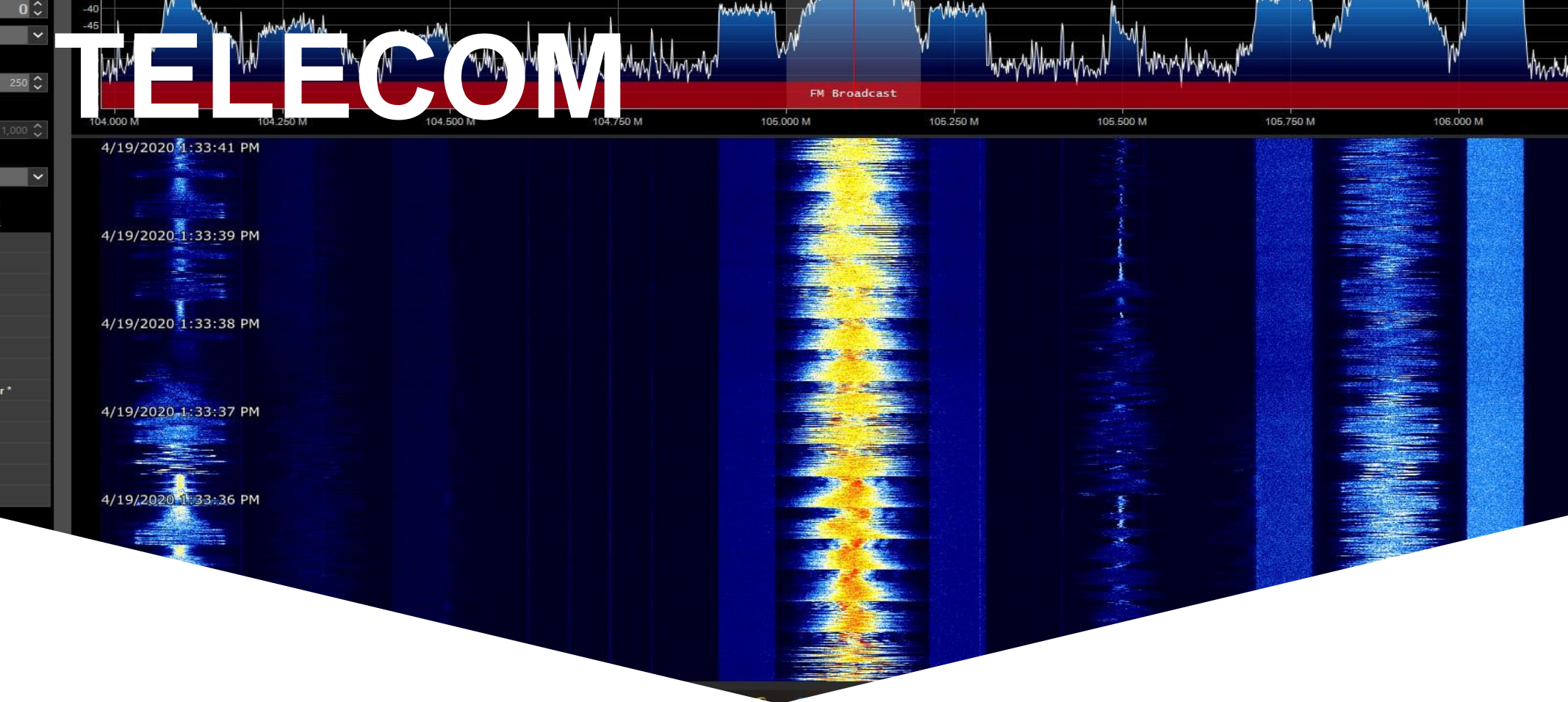


TELECOM



TEL10 – Lab 1

Planning

- Introductie / Demo
- Uitleg concepten
- Werken aan opdrachten

Overkoepelend leerdoel

The Wireless World in 2030

BLE - Bluetooth low energy
C-V2X - Cellular vehicle to everything
LP-WAN - Low power wide area network
mmWave - Millimeter wave spectrum
PWN - Private wireless networks
SAT - Satellite
UWB - Ultra wideband

Begrijpen hoe de draadloze wereld in elkaar zit en goede basis geven voor werken met, en ontwerpen van, draadloze systemen.

Bonus: Kunnen denken en werken in het frequentiedomein



Draadloos informatie verzenden en ontvangen!

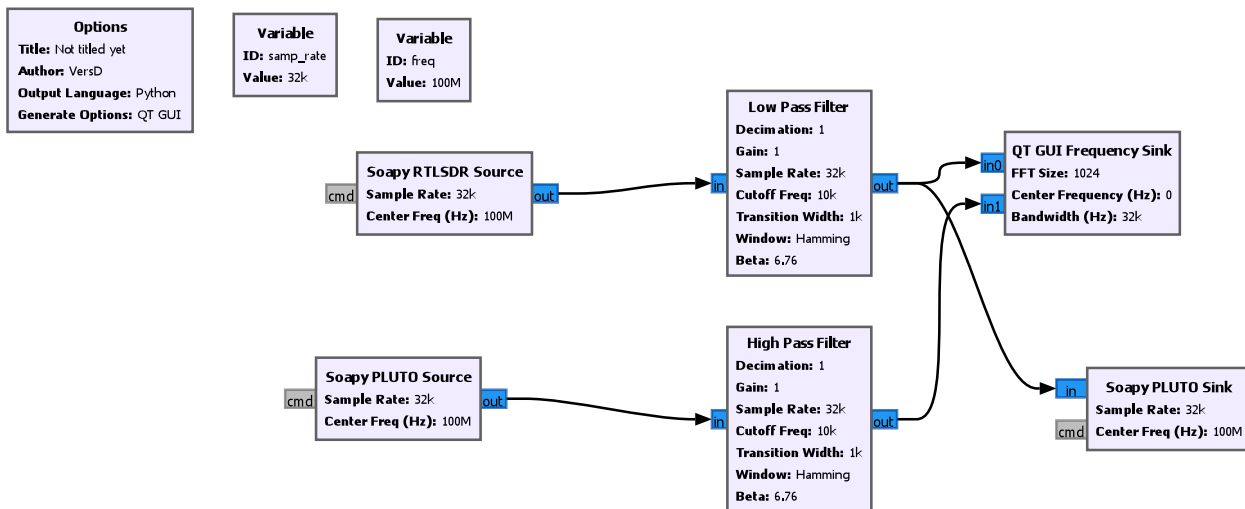
Leerdoel	Niveau	Weging	De student is in staat om
1	B	15%	... concepten als demping, SNR, reflecties/interferenties en spectrale efficiëntie te kunnen kwantificeren in reële situaties en op basis hiervan ontwerpkeuzes te vormen
2	B	15%	... in het frequentiedomein de gewenste frequentieband te vinden, herkennen, filteren en gereed te maken voor verdere verwerking.
3	C	15%	... een overwogen keuze te kunnen maken tussen verschillende modulatietechnieken op basis van vermogensverbruik, robuustheid en complexiteit van zender en ontvanger.
4	D	15%	... analoge signalen draadloos te versturen en ontvangen door analoge modulatietechnieken te realiseren met basis-operaties binnen GNURadio of Python.
5	D	40%	... digitale signalen draadloos te versturen en ontvangen door digitale modulatietechnieken te realiseren met basis-operaties binnen GNURadio of Python.

Waarmee gaan we dat doen?

Telecommunicatie

Software Defined Radio – SDR

GNURadio Companion – GRC



Boek: PySDR ([Een handleiding voor SDRs en digitale signaalbewerking met Python](#))

Planning en toetsing

Zie cursushandleiding!

Lab	Onderwerp
1	AM ontvangen
2	FM ontvangen
3	ASK/FSK ontvangen
4	Uitloop
5	DT1 – ontvangen
6	PSK ontvangen geen tijdsynchronisatie
7	AM(-SC) en FM zenden
8	ASK/PSK/FSK zenden
9	Uitloop
10	DT2 – zenden
11	Data versturen met MPSK
12	Datarate maximaliseren
13	Uitloop
14	DSSS RX/TX
15	OFDM RX/TX
16	DT3 – dataoverdracht

Toets	Leerdoelen	Weging	Datum
DT1	1,2,3 en 4	20%	Les 3.1
DT2	1,2,3 en 5	30%	Les 5.2
DT3	1,2,3 en 5	40%	Les 8.2
Quizjes	1,2,3	10%	Wekelijks t/m week 6, buiten de DT1-3 weken

Zenden, hoe?

Doel: Draadloze informatieoverdracht

[VLF Transmitter Cutler](#) (24 kHz/1.8MW)

Wifi (2.4 GHz / 20 mW)

Probleem:

“lage” frequenties gaan niet “ver” zonder een hoop vermogen.

Oplossing: Moduleren/aanpassen.



Wat? De draaggolf! Engels: Carrier

$$A_{dg} \cdot \cos(\omega_{dg}t + \phi_{dg})$$

Hoe hoger $\omega_{d(raag)g(olf)}$ hoe kleiner de antennes. Afweging vermogen/afstand/grootte

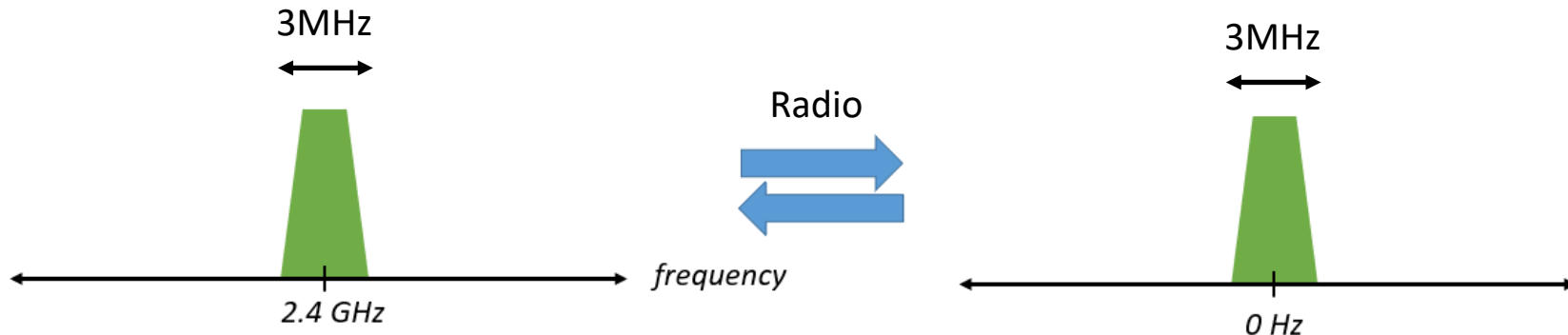
Waarmee? De informatie!

Hoe? -> TEL10



Een Software Defined Radio:

- Kan ECHT zenden en ontvangen. Pluto van ~70 MHz tot 6 GHz
- Bevat analoge radio gekoppeld aan een FPGA met DACs en ADCs
- Geeft via USB verbinding de samples van een band van 250kHz tot 6MHz
- Waarom SDR ? Geen RF layout kennis nodig, toch zenden/ontvangen.



Quiz!

- Voorbereiding gelezen? Quiz!
- Doen we via brightspace
- In totaal 10% van het eindcijfer

Hoe ziet het spectrum eruit?

1. $\cos(2\pi 100)$
2. Basgitaarmuziek
3. Pianomuziek
4. Een hamerslag

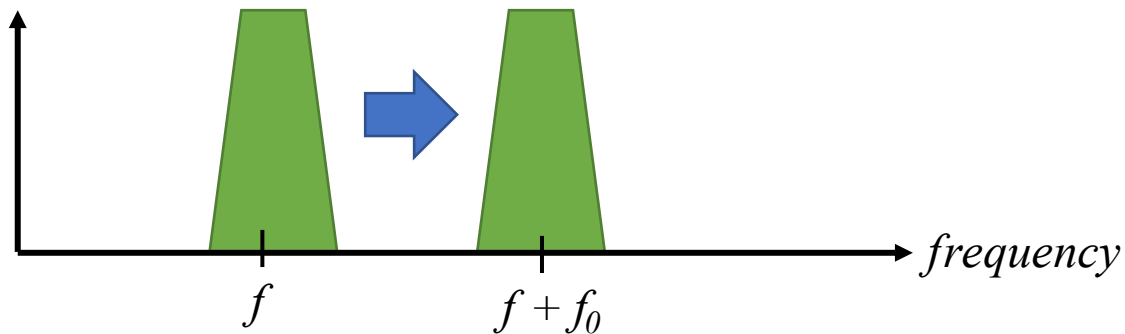
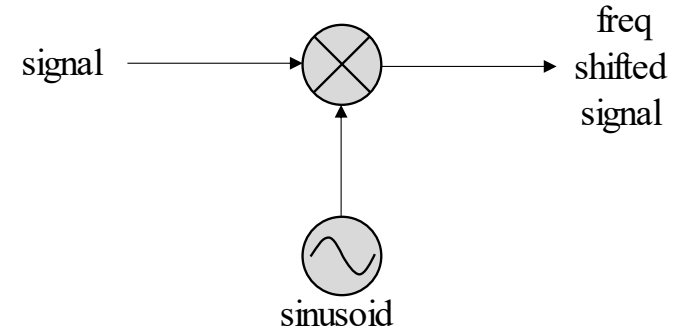
Spectrum bekijken

Telecommunicatie

<http://192.168.2.1:8000>

Paragraaf 2.4

$$e^{2\pi f_0 t} x(t) \leftrightarrow X(f - f_0)$$



$$e^{+j\omega t} = \cos(\omega t) + j \cdot \sin(\omega t)$$

$$e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j \cdot \sin(\omega t)$$

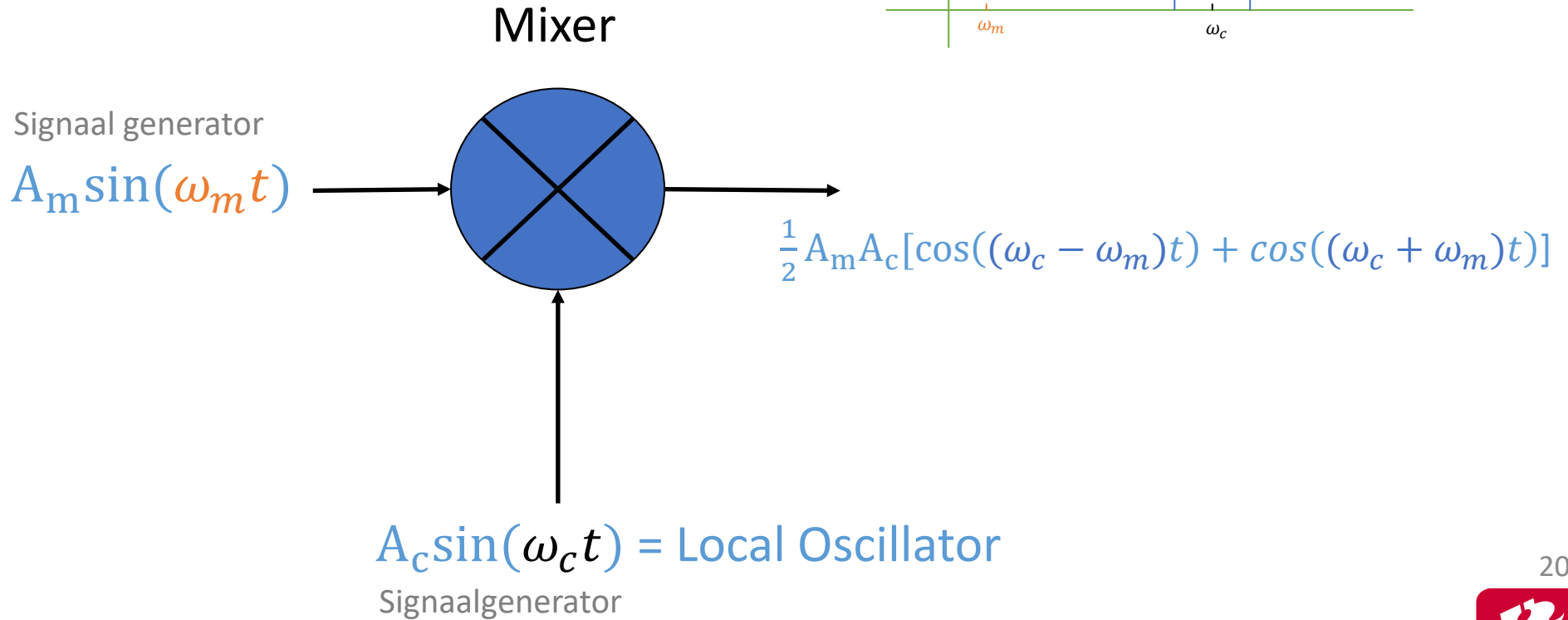
$$2 \cdot \cos(\omega t) = e^{+j\omega t} + e^{-j\omega t}$$

$$2j \cdot \sin(\omega t) = e^{+j\omega t} - e^{-j\omega t}$$

$$\sin(\omega_1 t) \cdot \sin(\omega_2 t) = ?$$

$$\begin{aligned}\sin(\omega_1 t) \cdot \sin(\omega_2 t) &= \frac{1}{2j} \cdot \frac{1}{2j} \left((e^{+j\omega_1 t} - e^{-j\omega_1 t}) \cdot (e^{+j\omega_2 t} - e^{-j\omega_2 t}) \right) \\ &= -\frac{1}{4} (e^{+j\omega_1 t} e^{+j\omega_2 t} - e^{+j\omega_1 t} e^{-j\omega_2 t} - e^{-j\omega_1 t} e^{+j\omega_2 t} + e^{-j\omega_1 t} e^{-j\omega_2 t}) \\ &= -\frac{1}{4} (e^{+j(\omega_1 + \omega_2)t} - e^{+j(\omega_1 - \omega_2)t} - e^{-j(\omega_1 - \omega_2)t} + e^{-j(\omega_1 + \omega_2)t}) \\ &= -\frac{1}{2} \left(\cos((\omega_1 + \omega_2)t) - \cos((\omega_1 - \omega_2)t) \right)\end{aligned}$$

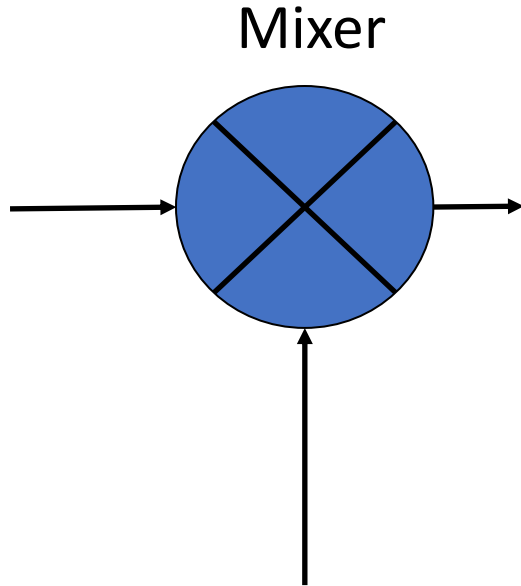
Mixers



Mixers

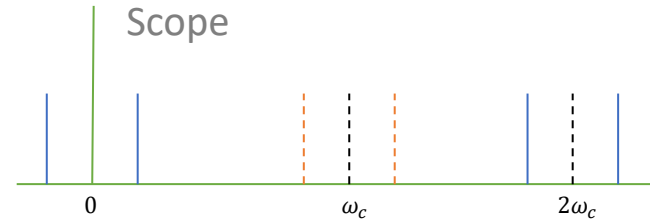
Draadje

$$A_d [\cos(\omega_c t - \omega_m t) + \cos(\omega_c t + \omega_m t)]$$



$$A_c \sin(\omega_c t) = \text{Local Oscillator}$$

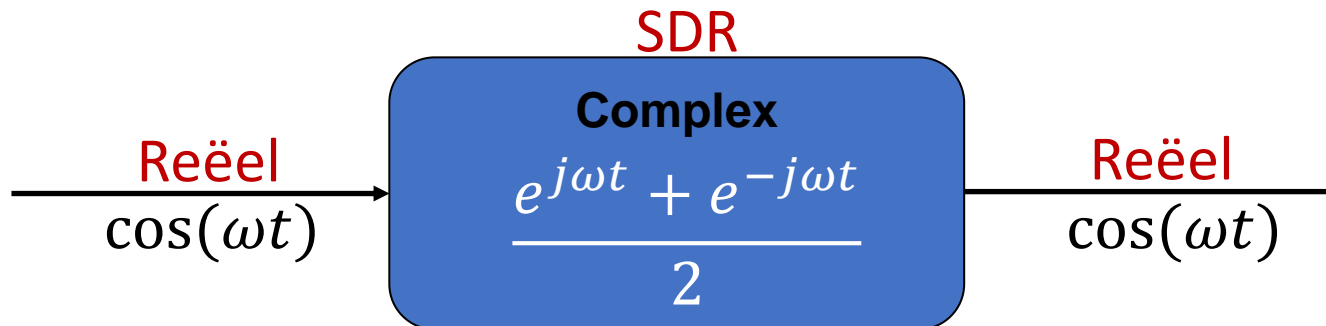
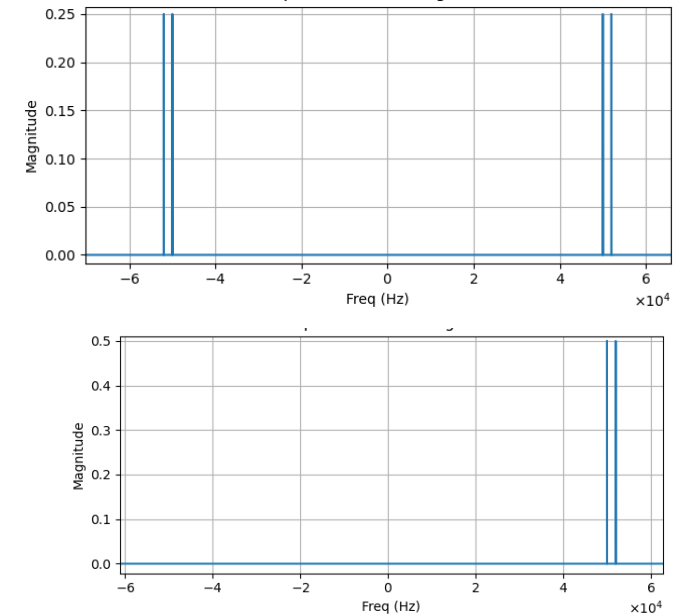
Signaalgenerator



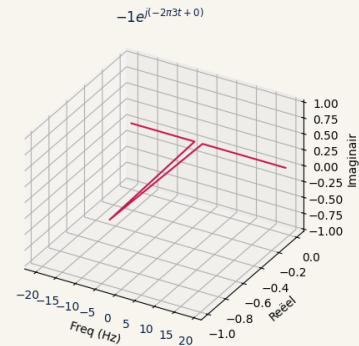
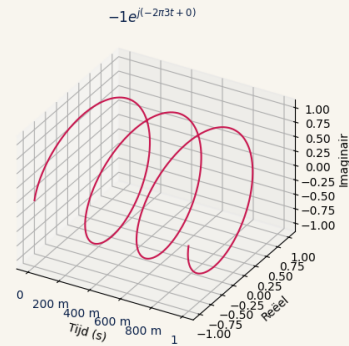
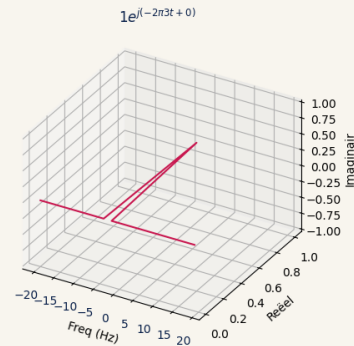
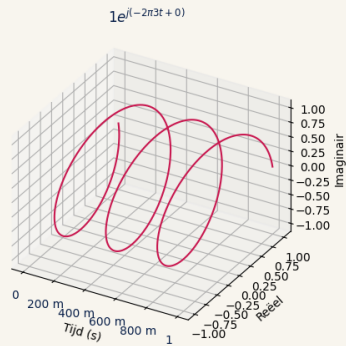
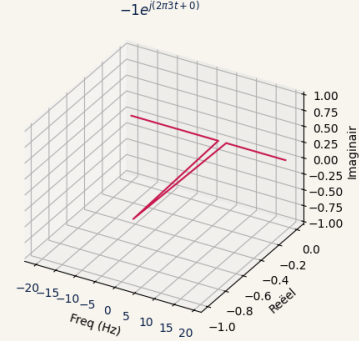
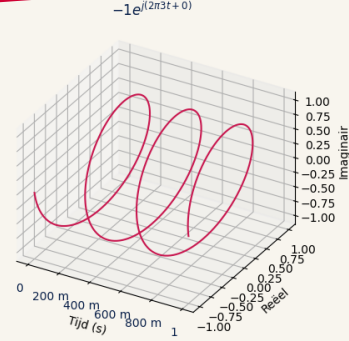
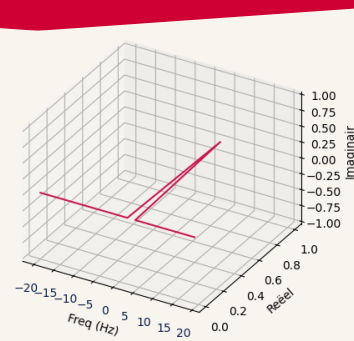
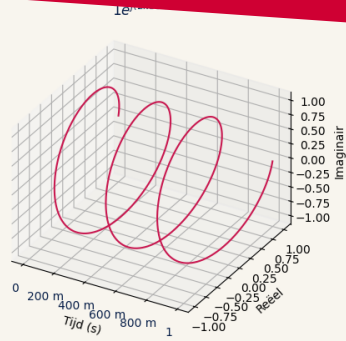
$$\frac{1}{2} A_d A_c [\cos((0 \pm \omega_m)t) + \cos((2 \cdot \omega_c \pm \omega_m)t)]$$

Domeinen

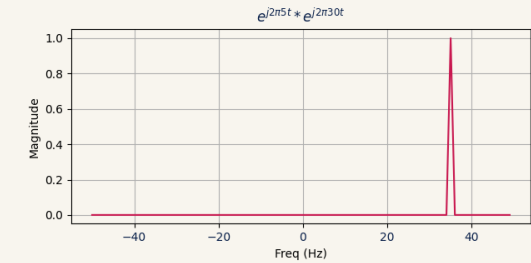
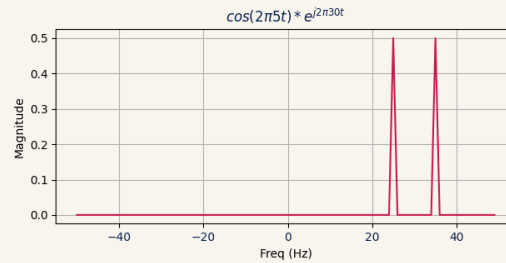
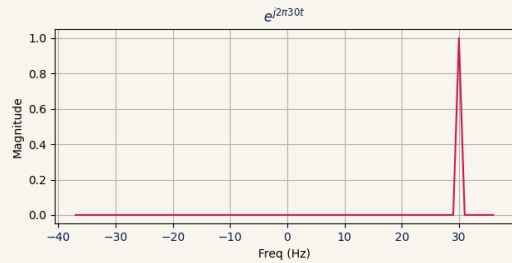
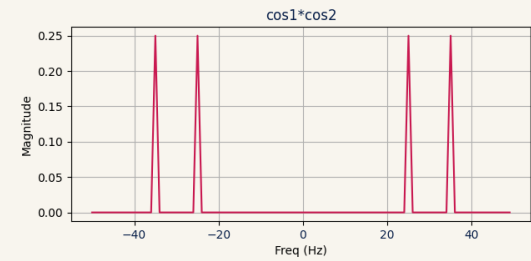
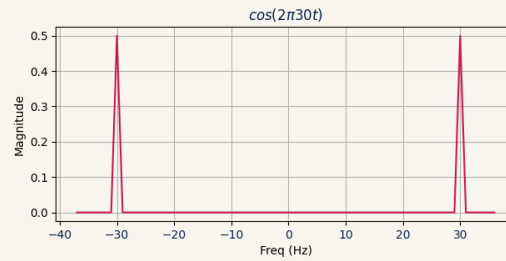
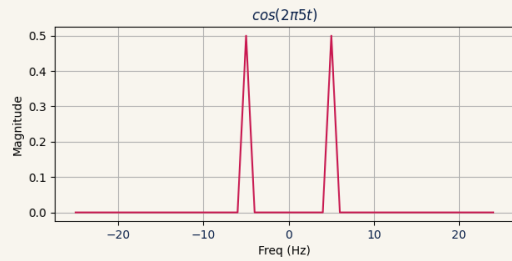
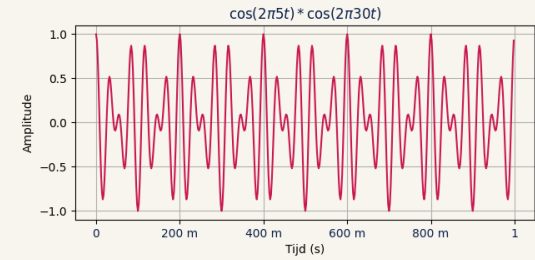
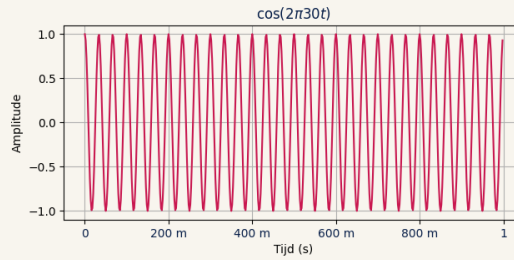
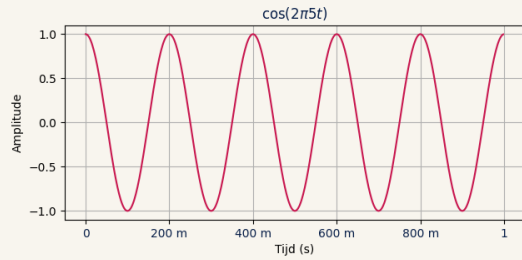
- In het reële domein zijn signalen altijd symmetrisch (gespiegeld rondom DC) in het frequentiedomein (euler)
- In het complexe domein zijn frequentiecomponenten niet altijd gespiegeld
- Kwadratuur of I/Q mixers vertalen tussen reëel en complex



Voorbeelden



Voorbeelden



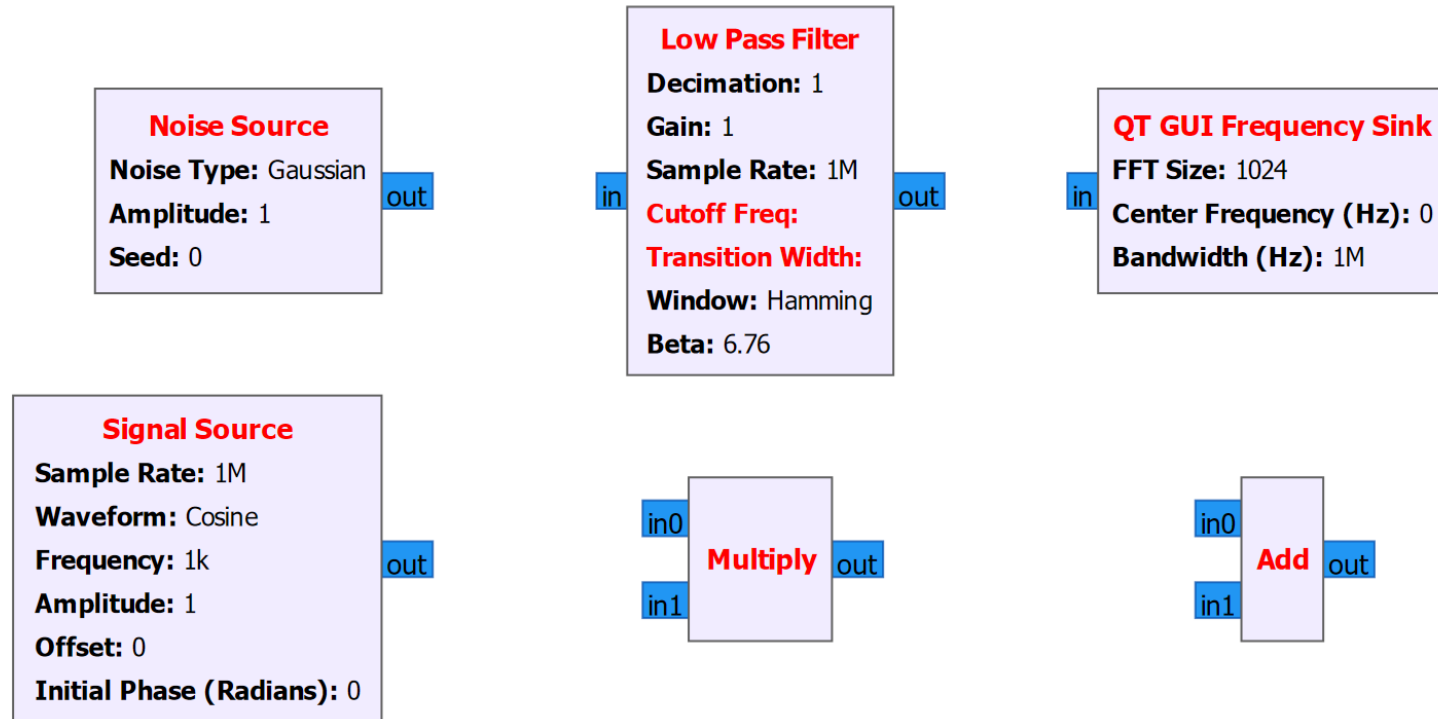
1. Werken met blokken
2. Werken met variabelen
3. Werken met formules

Oefening

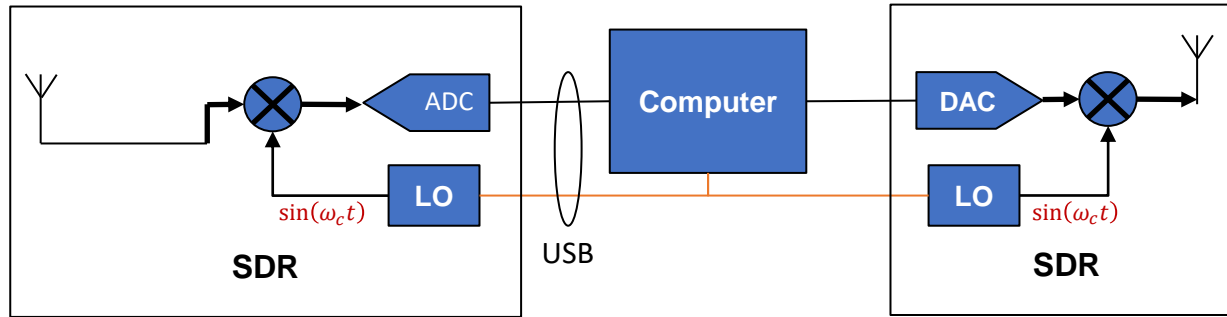
Genereer het volgende spectrum in GRC: *docent tekent spectrum*

Zie opdracht 1.2

Tools:



Simpele SDR



Nodige filters zijn
niet weergeven

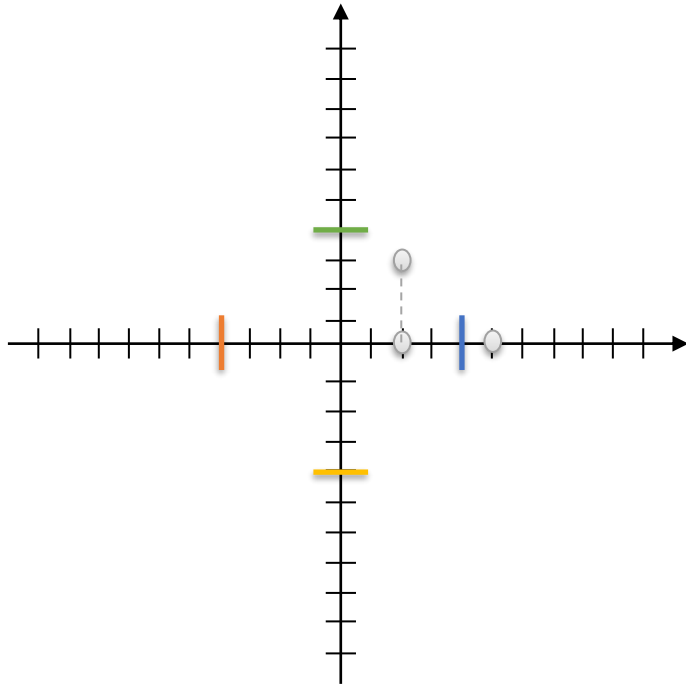
Voordelen:

- Digitale filters, bronnen, scopes, vermenigvuldiging etc.
- Real-time aanpasbaar

Vraag:

- Waarom sluiten we de antenne niet direct op de ADC/DAC aan? Dat zou een analoge mixer besparen

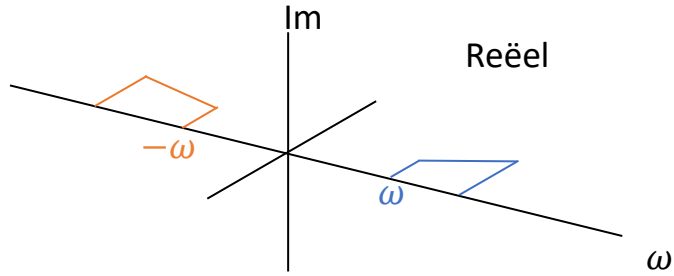
Wat is j?



- 4
- $-1 \cdot 4 = -4$
 - -1 operator geeft 180° draaing
- $j \cdot 4 = 4j$
 - j operator geeft 90° draaing
- $-1 \cdot j \cdot 4 = -j \cdot 4 = -4j$
 - $-j$ geeft -90° draaing
- $2 + 3j$
 - 2 naar rechts
 - 3 naar rechts, draai 90°

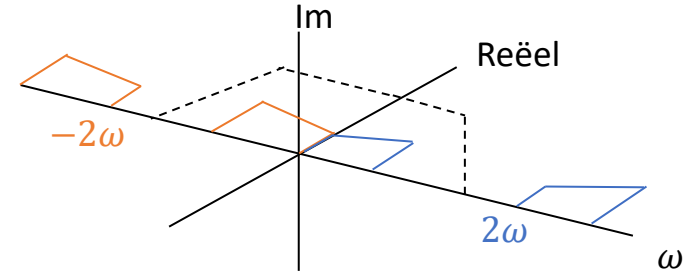
Reële mixer en adc

RF -> bandpass filter

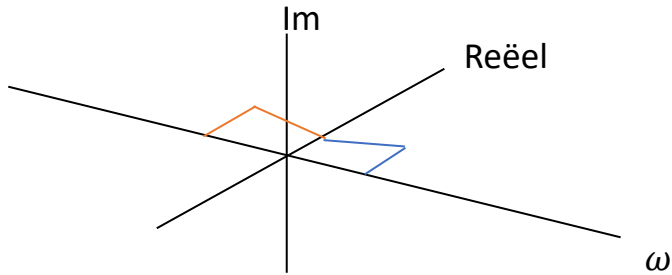


Mixer

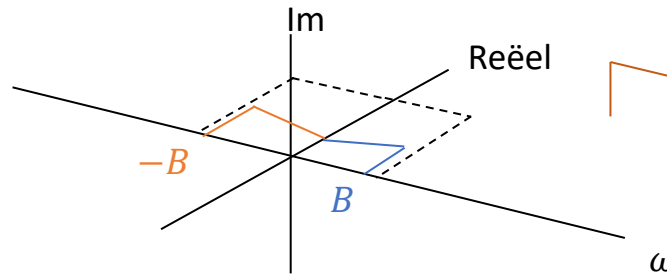
$$\cdot \cos(\omega t) = \frac{e^{j\omega t}}{2} + \frac{e^{-j\omega t}}{2}$$



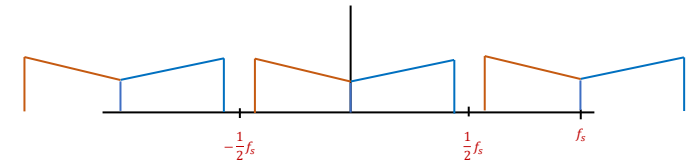
Na Low pass (anti-alias) filter



Samplen met $f_s > 2 \cdot B$

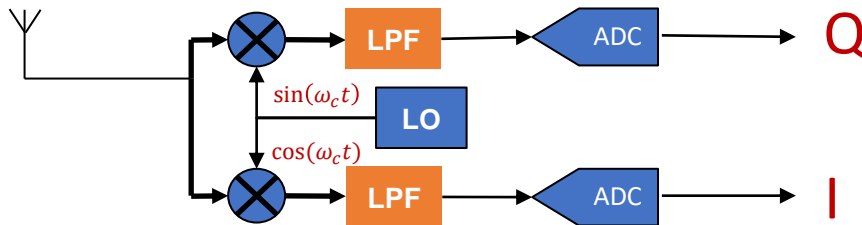


Uitkomst FFT



Betere SDR

- Verschuiven met $\cos(\omega t) = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2}$
 - Geeft som en verschil
- Verschuiven met $e^{-j\omega t}$ in plaats van $\cos(\omega t)$
 - Alleen verschil
 - $e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\sin(\omega t)$
 - Dus $sig(t) \cdot e^{-j\omega t}$ levert de band van $sig(t)$ verschoven met $-\omega$
- Hoe vermenigvuldigen we een signaal met $e^{-j\omega t}$??
 - We doen analoog vermenigvuldigingen van $sig(t)$ met cosinus en sinus
 - Digitaal berekenen we de uitkomst $sig(t) \cdot \cos(\omega t) - j \cdot sig(t) \cdot \sin(\omega t)$

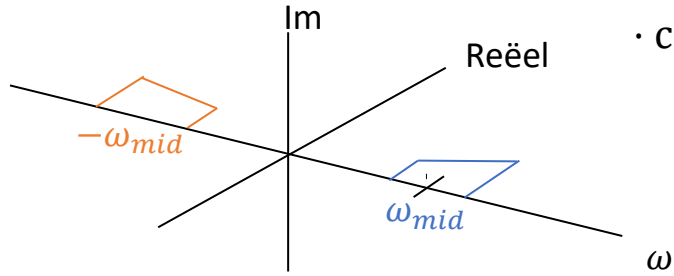


Vermenigvuldiging met $-j$ kan nu digitaal plaatsvinden.

Sample = $I[n] - jQ[n]$

Complexe mixer en adc

RF signaal

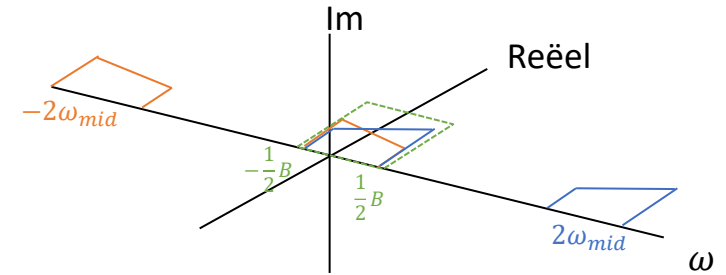


I-Mixer

$$\cdot \cos(\omega_{mid}t) = \frac{e^{j\omega t}}{2} + \frac{e^{-j\omega t}}{2}$$



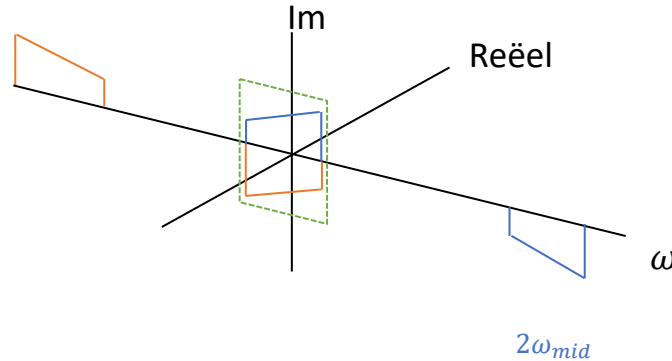
LPF en samplen, $f_s > B$

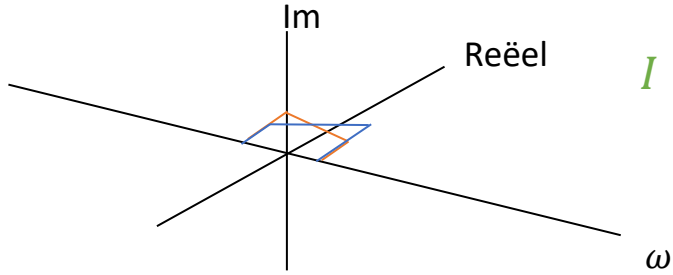


LPF en samplen, $f_s > B$

Q-Mixer

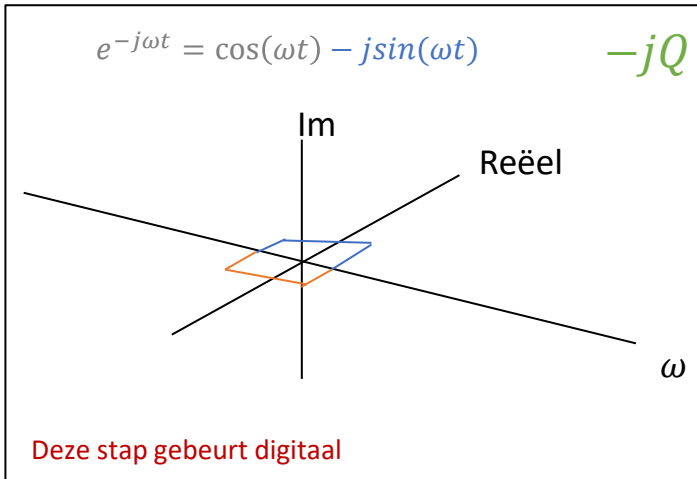
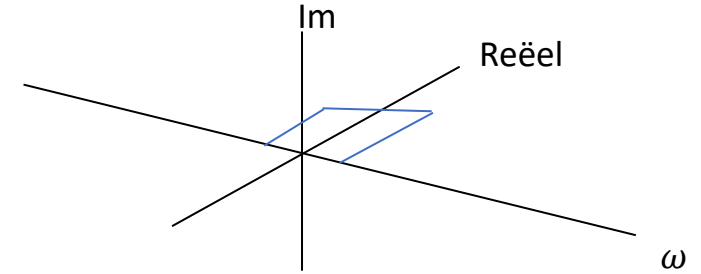
$$\cdot \sin(\omega t) = \frac{je^{-j\omega t}}{2} + \frac{-je^{j\omega t}}{2}$$



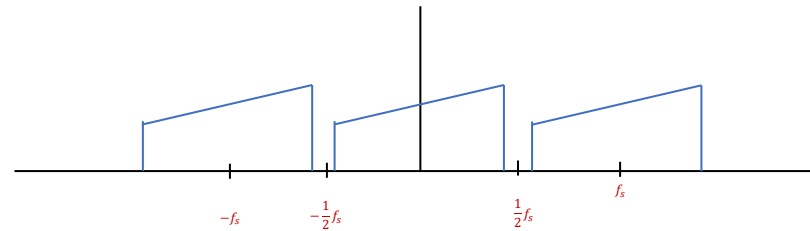


Hier zijn de kopieën van samplen weggelaten

Digitale sample
 $I + (-jQ) \Rightarrow$

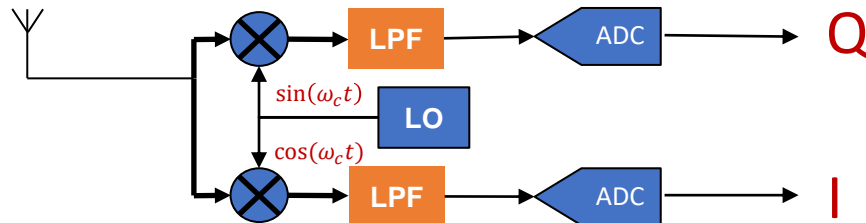


Uitkomst FFT (met kopieën)

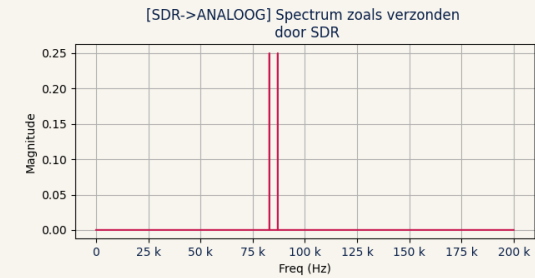
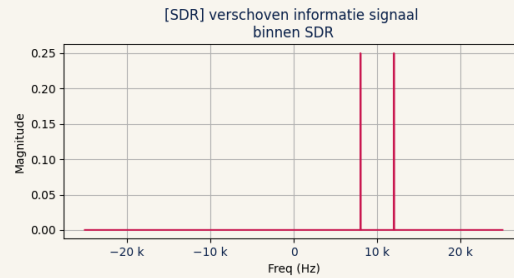
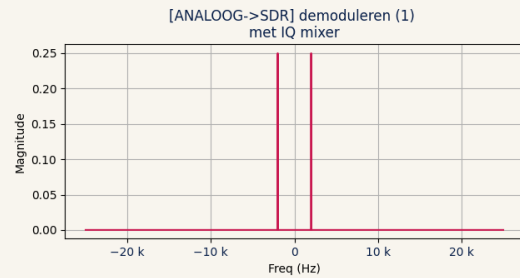
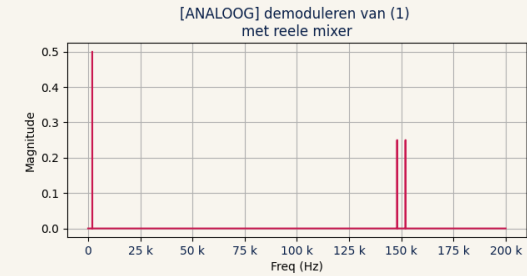
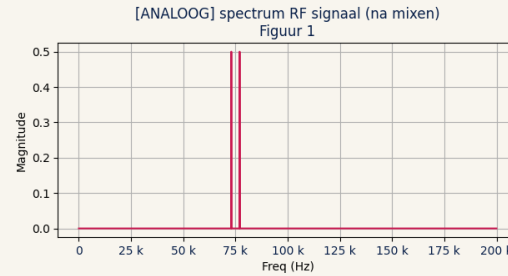
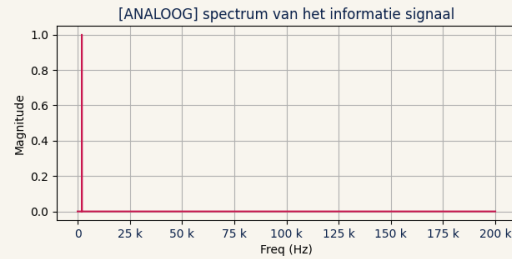
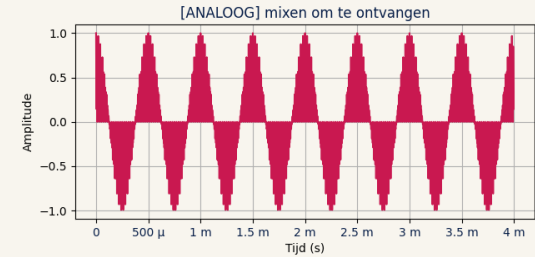
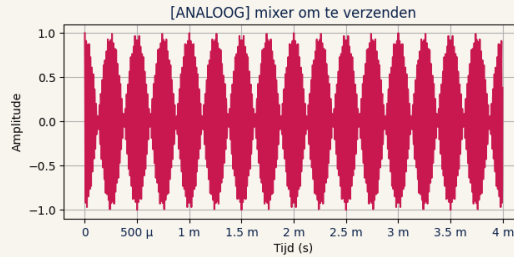
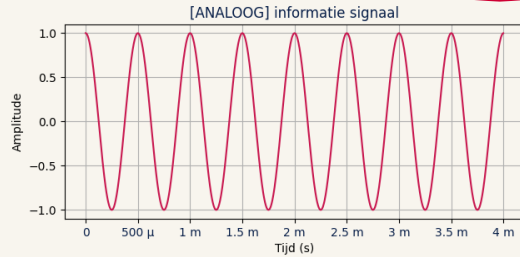


Complexe manier

- Voordelen hardware
 - Twee ADC's met $f_s > B$ i.p.v. 1 ADC met $f_s > 2B$, goedkoper, zuiniger
 - Geen BPF nodig (loop maar na)
 - LPF heeft kleinere bandbreedte
- Voordelen Software met complexe samples
 - Volledige bandbreedte uniek, geen kopieën van signalen
 - Verschuiven kan complex, dus zonder som/verschil
 - Filters met complexe coëfficiënten mogelijk (niet symmetrische filters)
 - Extra informatie t.o.v. reëel samples, kan moduleren/demoduleren vereenvoudigen



Voorbeelden



Koppeling SDR schema en wat er wordt uitgezonden

1. $f_S = 1\text{MHz}$, $f_{\text{signaal}} = 100\text{kHz}$
2. $f_S = 2\text{MHz}$, $f_{\text{signaal}} = 100\text{kHz}$
3. $f_S = 0.5\text{MHz}$, $f_{\text{signaal}} = 100\text{kHz}$

Amplitude Modulatie

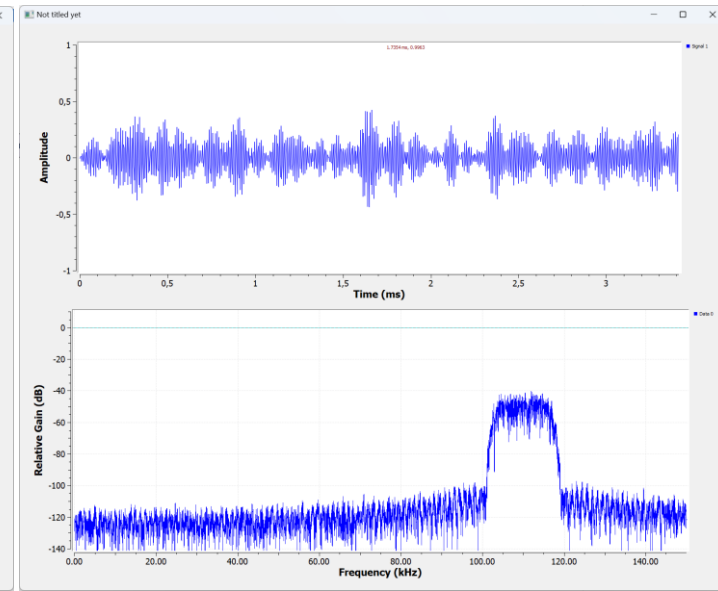
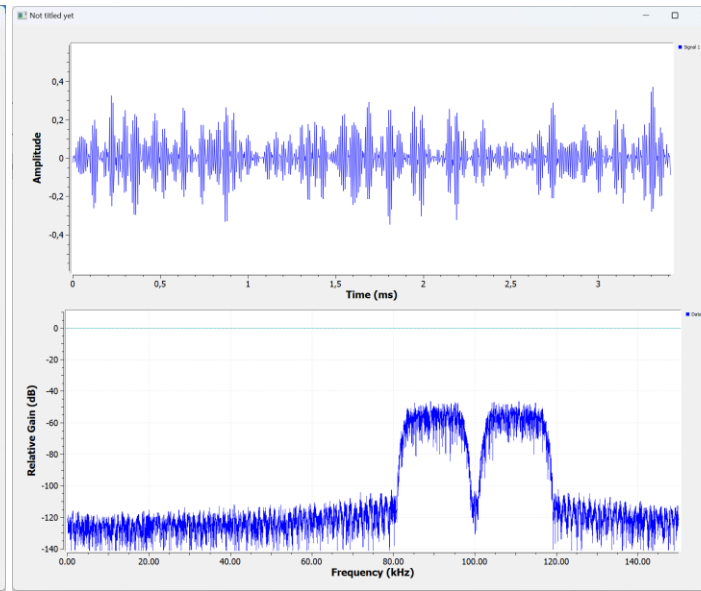
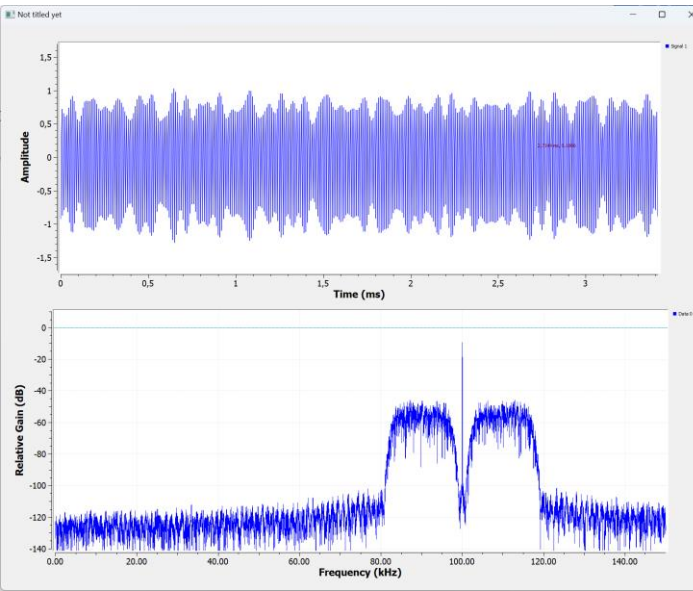
Twee/Drie opties

- Double Side Band (+ Suppressed Carrier)
- Single Side Band

$$A_{dg} \cdot \cos(\omega_{dg}t + \phi_{dg})$$

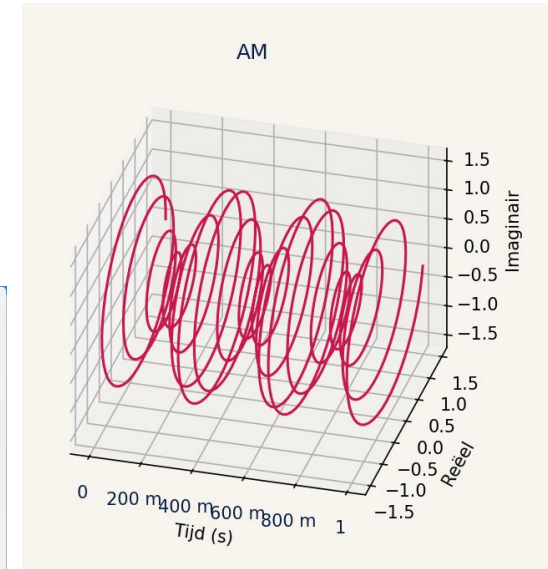
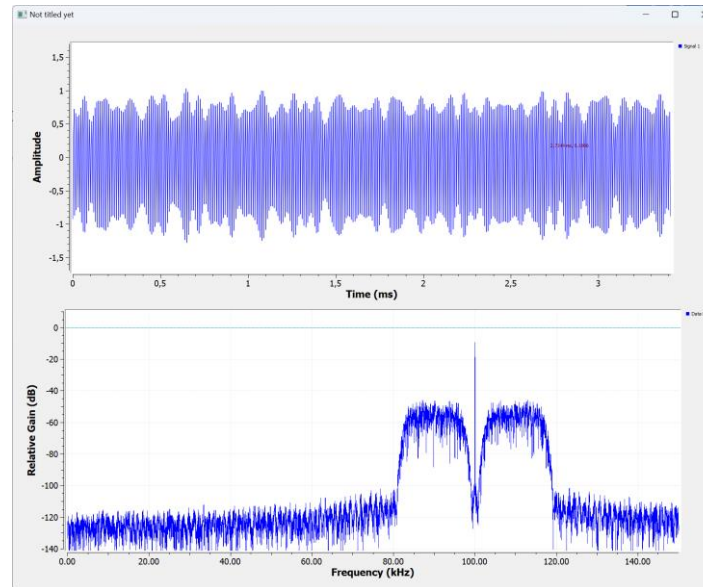
Gebruik : Scheepvaart, Luchtvaart

Welke gebruikt het meeste vermogen? Welke is het makkelijkste te demoduleren?



Top-detectie

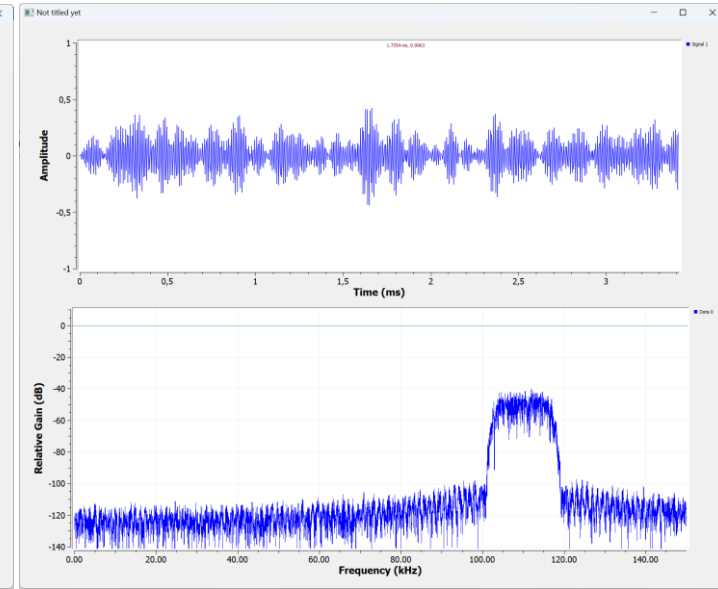
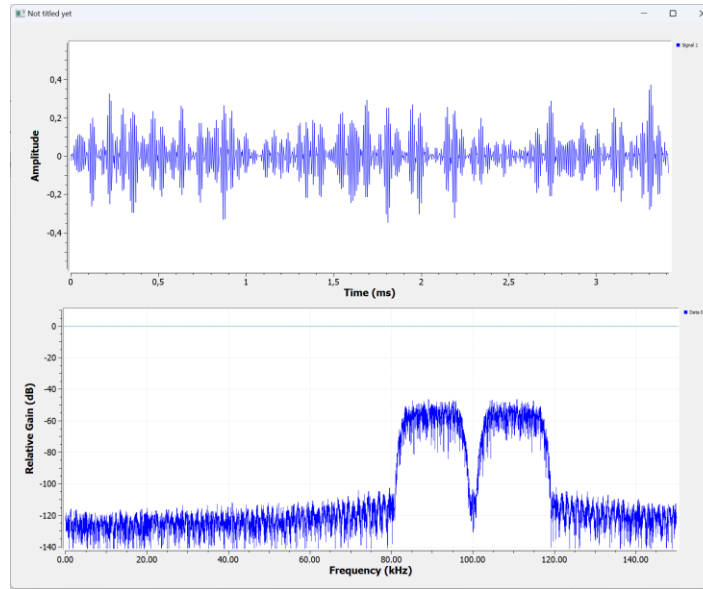
Informatie zit in de amplitude!
Makkelijk demoduleren



Product-detectie

Telecommunicatie

Signaal terug “schuiven” naar DC.
Dus draaggolf moet weer DC worden
Lastiger afstellen...



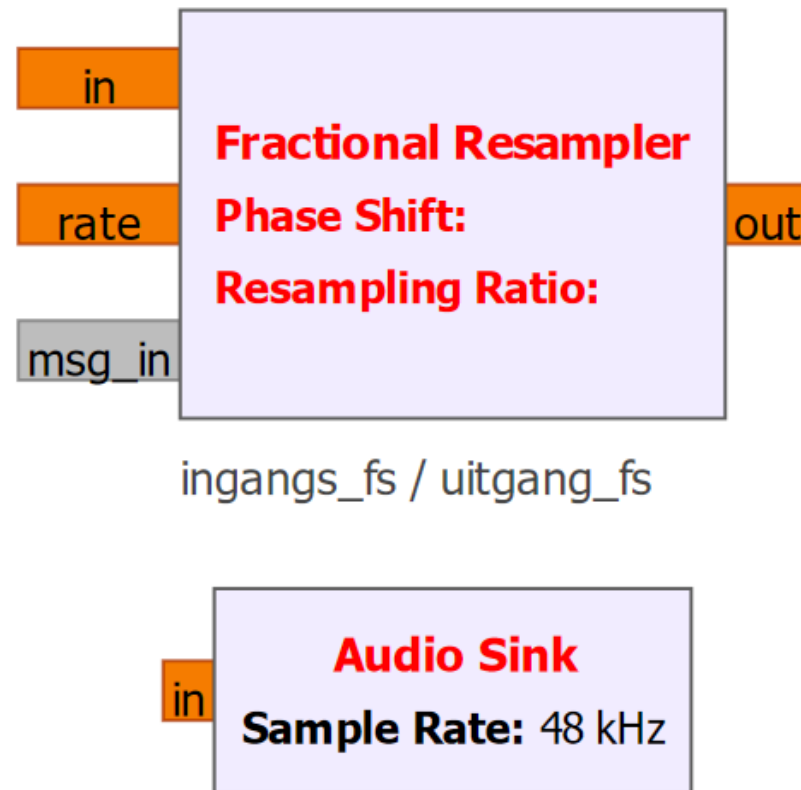
Audio

Te hoge sample-rate voor geluidskaart.

Verander sample rate met fraction resampler

Phase Shift = 0

$$\text{Resampling Ratio} = \frac{f_{s_{ingang}}}{f_{s_{uitgang}}}$$



Blokkanalen in de buurt in megahertz

Brug/sluis:

22=157.100

schip/wal begeleiding:
60=156.025/160.625

81=157.075/161.675

