

# Physics Experiments 2 – College 2

Bas Hensen– hensen@physics.leidenuniv.nl

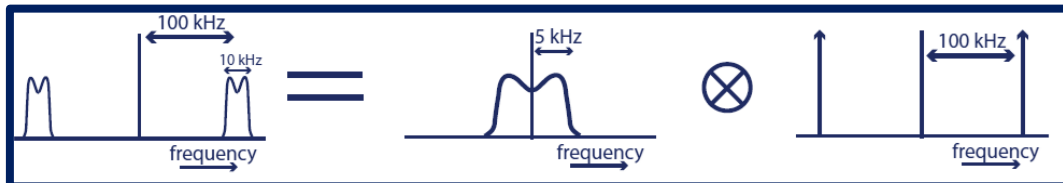
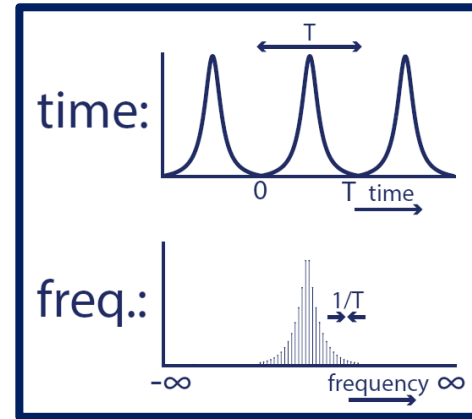
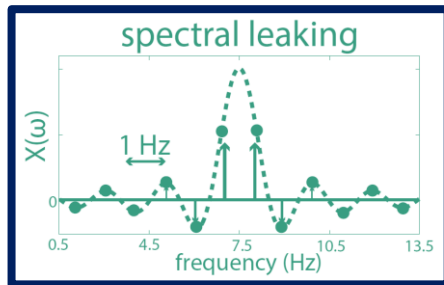
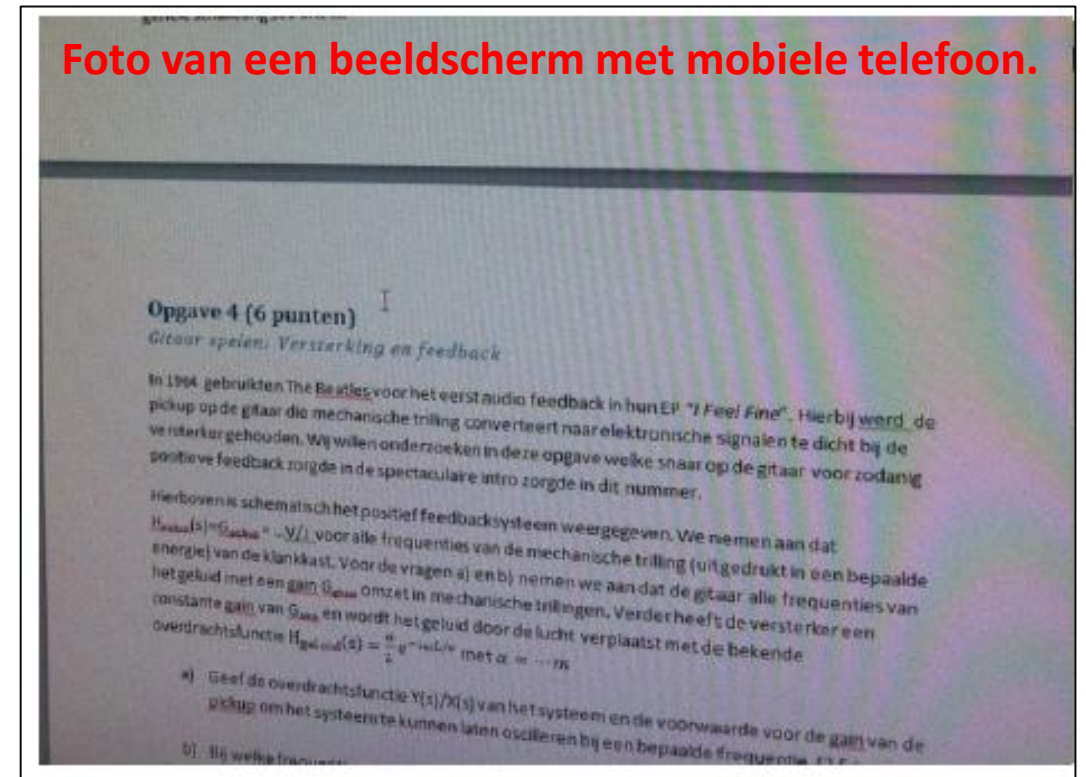


Foto van een beeldscherm met mobiele telefoon.



# Wat gaan we leren

College	Werkcollege	Te behandelen stof uit reader	Onderwerpen (onder voorbehoud)
C1	W1	H1 Electronic circuits	Herhaling PE1, loading filters, impulse response, step response
C2	W2	H2 Signal Processing	Convolution, aliasing, spectral leakage, frequency resolution
C3	W3 (Python)	H1/H2 Toepassingen	Force microscopy, (lockin amplifier), (2D transformaties) <b>Werkcollege: 2D transformaties met Python</b>
C4	W4	H3 Noise	Characterizing noise, noise spectrum, auto-correlation, Wiener-Khinchin, Thermal noise, shot noise
C5	W5	H3 Noise: Toepassingen	Improving SNR
C6	W6	H4 Feedback	Open loop, closed loop, (in)stability
C7	W7	H4 Toepassingen Start OpAmp	Toepassingen / herhaling en ev. verdieping: Nyquist stability criterion
C8	W8	H5 OpAmp	Golden Rules
C9	W9	H5 OpAmp	Non Ideal OpAmp, Applications OpAmp
C10	W10	Herhaling	Op werkcollege zal er een oud tentamen als oefening worden gemaakt
T		<b>Tentamen</b>	<b>Tentamenstof:</b> Uit de reader H1 t/m H5 incl. werkcolleges en stof tijdens colleges tenzij anders gecommuniceerd.

1. LTI system (elektronisch)
2. Fouriertransformaties en signaalverwerking
3. Ruis
4. Feedback
5. OpAmp

# Breinbreker impulrespons

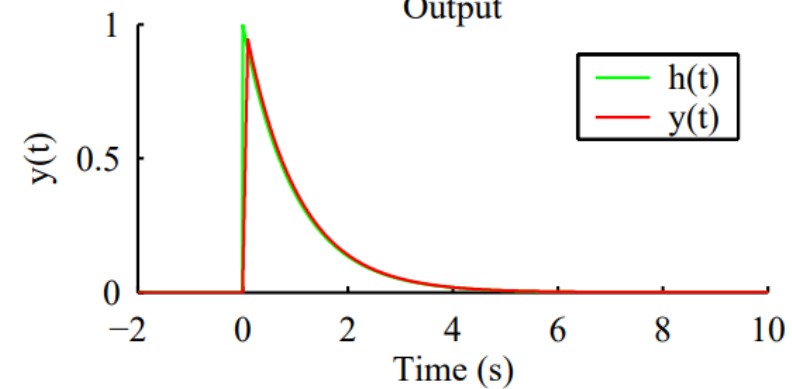
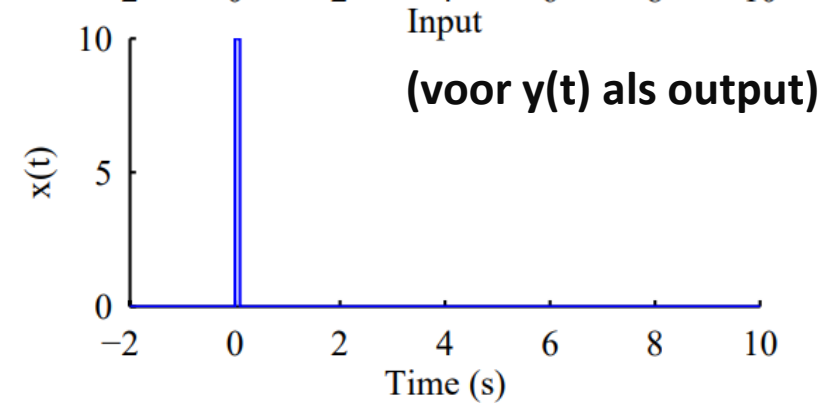
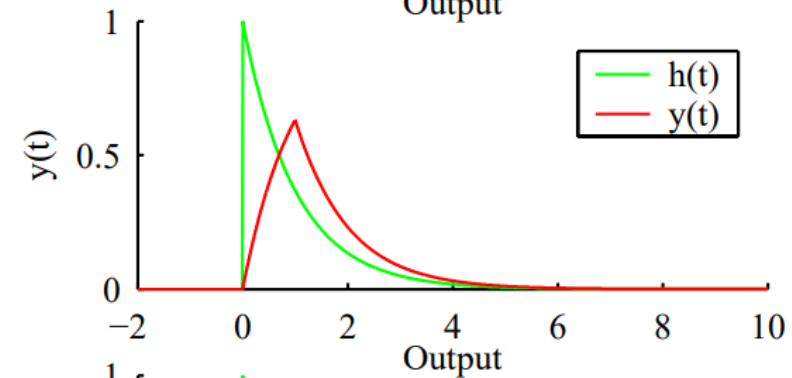
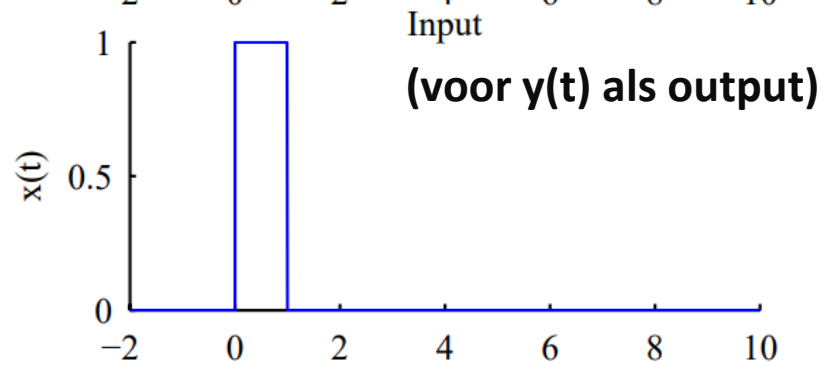
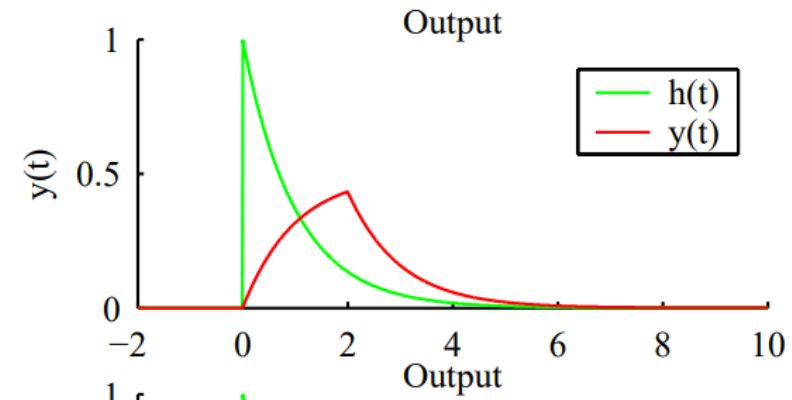
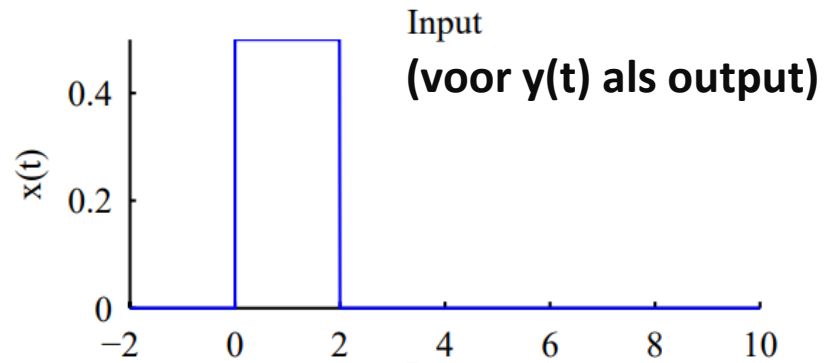


Wat is het voordeel van de impulsrespons  $h(t)$  meten i.p.v. de overdrachtsfunctie  $H(\omega)$ ?

Wat is het nadeel van de impulsrespons  $h(t)$  meten i.p.v. de overdrachtsfunctie  $H(\omega)$ ?

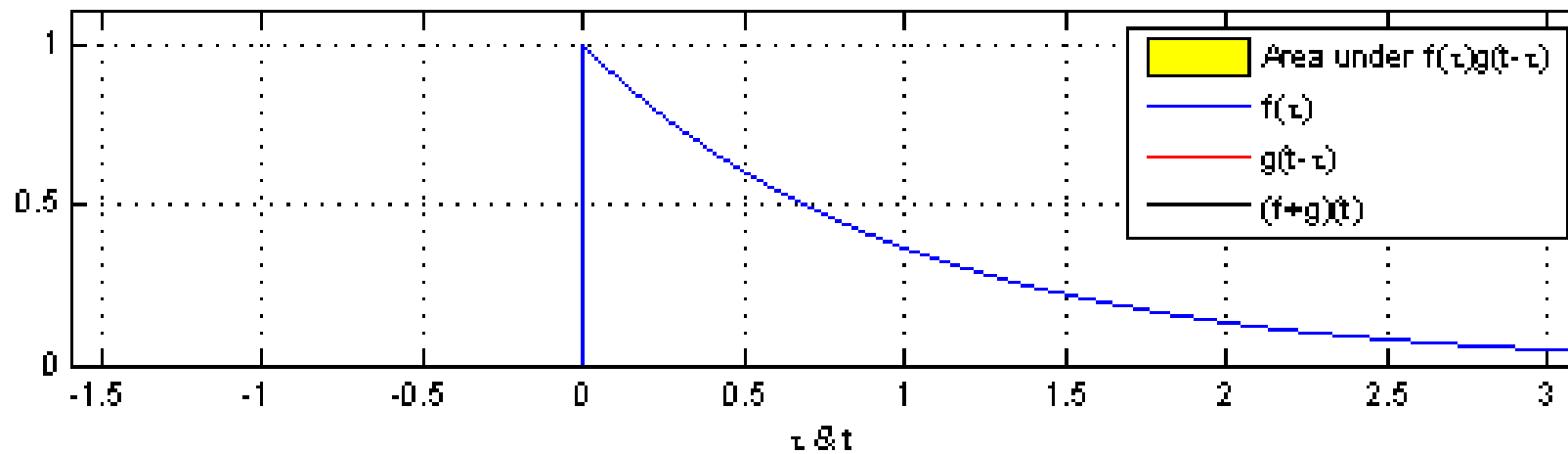
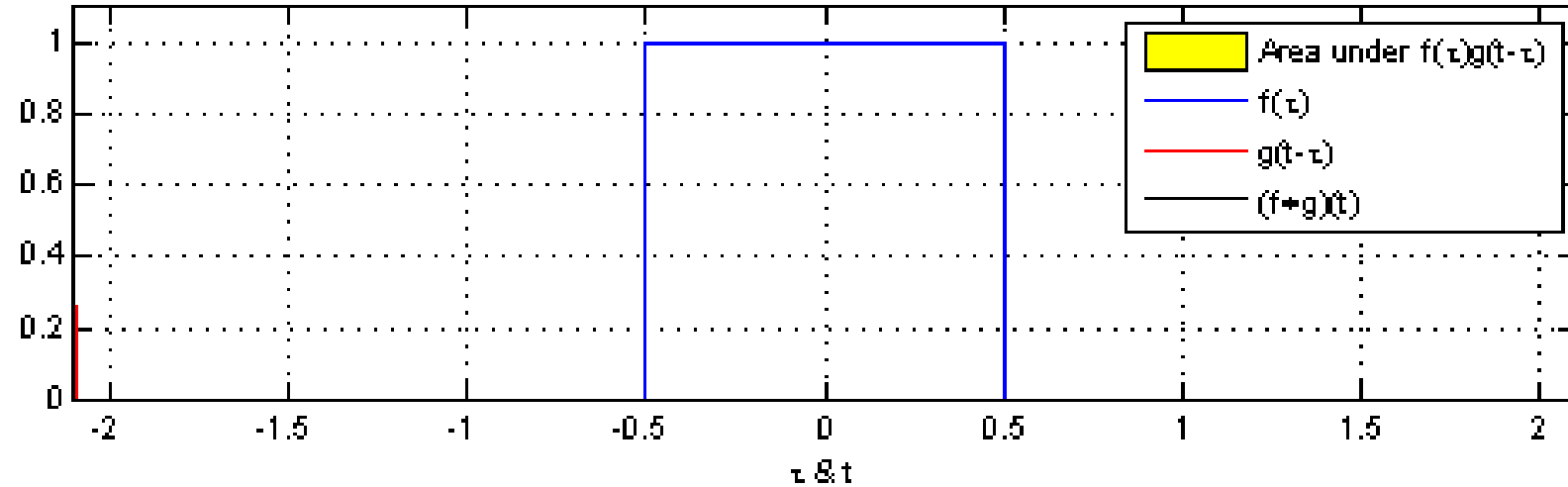


# Tijdschalen weer belangrijk



1. **Convolutie** gebruiken om AM-modulatie en demodulatie te kunnen modelleren/berekenen
2. **Convolutietheorema** toepassen op vermenigvuldigen met deltafuncties of kammen van deltafuncties om zo de eigenschappen van FS/DTFT/DFT uit te kunnen leggen
3. De voorwaarde noemen hoe **aliasing** valt te voorkomen en hoe aliasing zich uit in een signaal
4. Kunnen noemen hoe **spectral leakage** zich uit en hoe je dit kunt voorkomen

# Convolutie

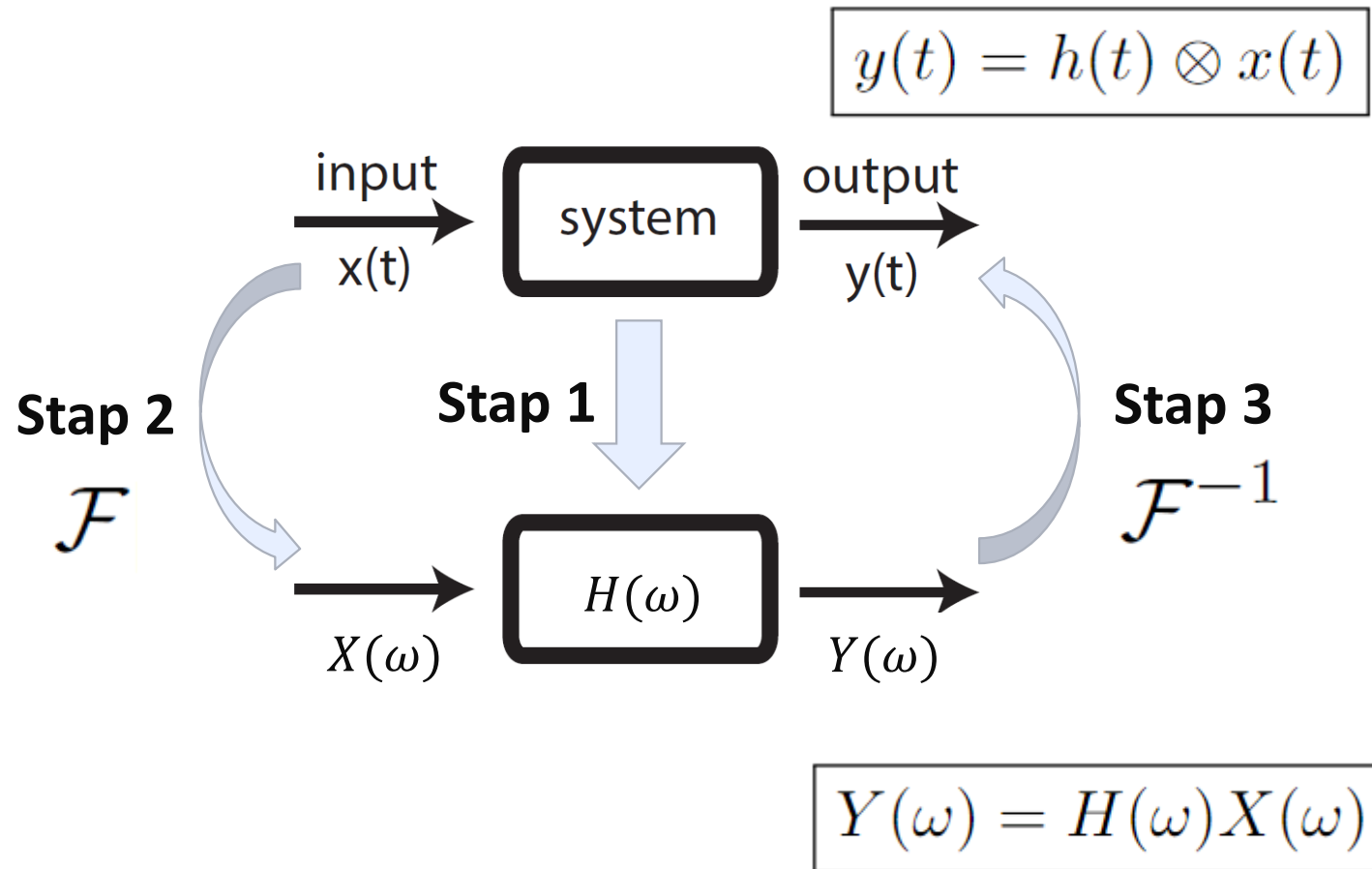


Convolutie met een blok kan dus ook als een “moving average” uitgelegd worden → Zeer belangrijk in digitale filter technieken, denk aan ECG data in het ziekenhuis



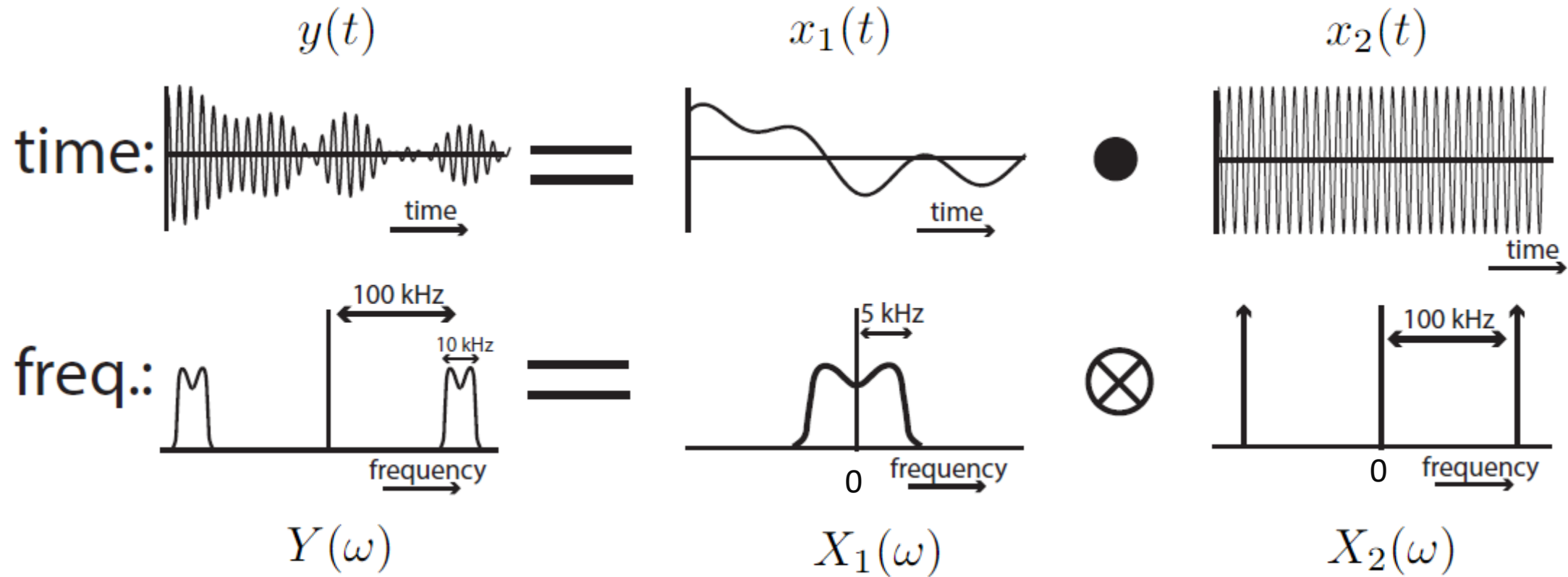
**Noteer** de relatie tussen uitgangssignaal en ingangssignaal van een systeem met overdrachtsfunctie  $H(\omega)$  in het fourier domein. Pas het convolutietheorema toe. Wat is je resultaat?

# LTI systems: full circle





# AM-modulatie

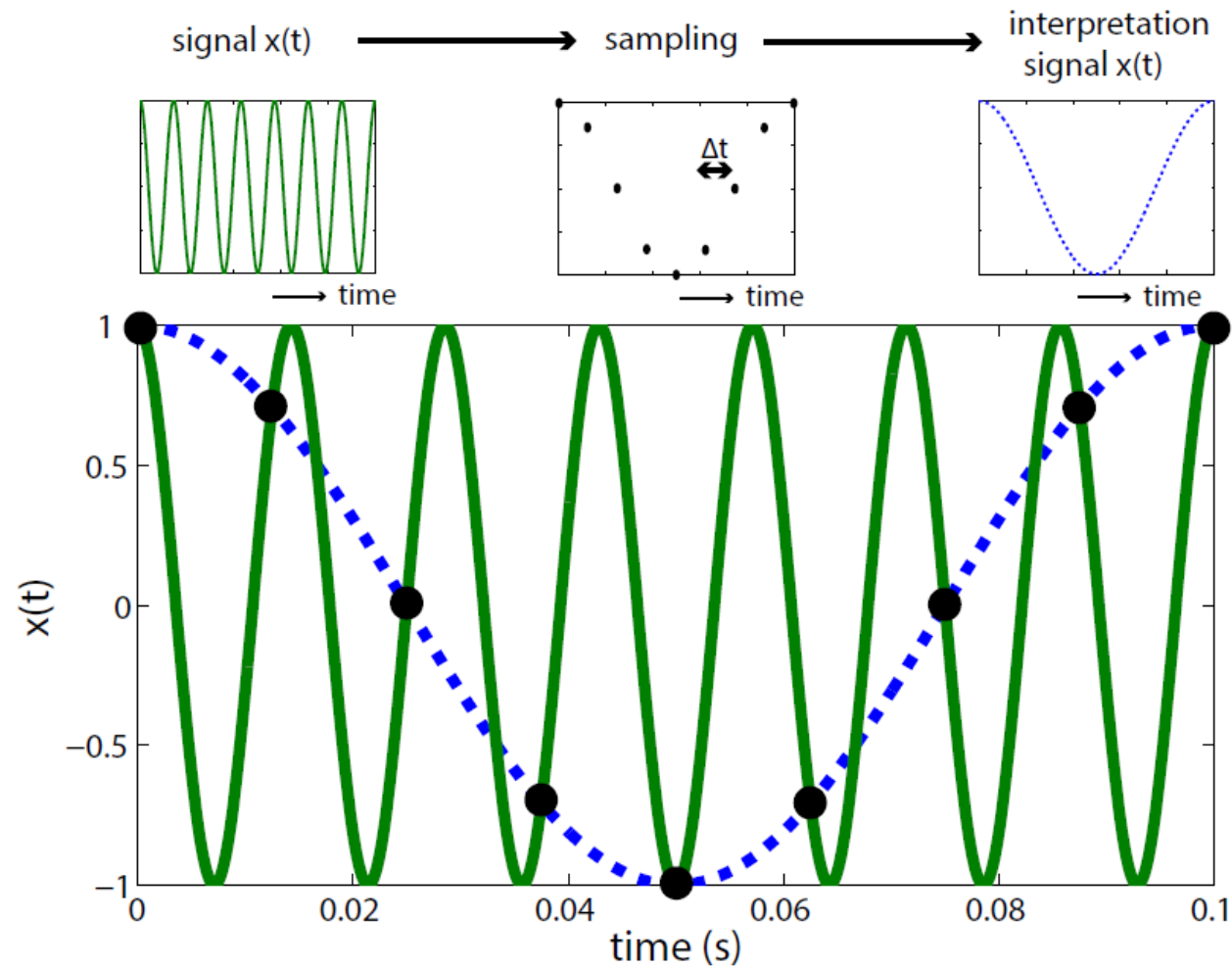


# Sampling



1. Aliasing
2. Windowing / spectral leakage
3. A/D conversie

# 1. Aliasing in tijdsdomein





# Wagon Wheel effect



# Foto maken van een beeldscherm



**Opgave 4 (6 punten)**

*Gitaar spelen: Verstärking en feedback*

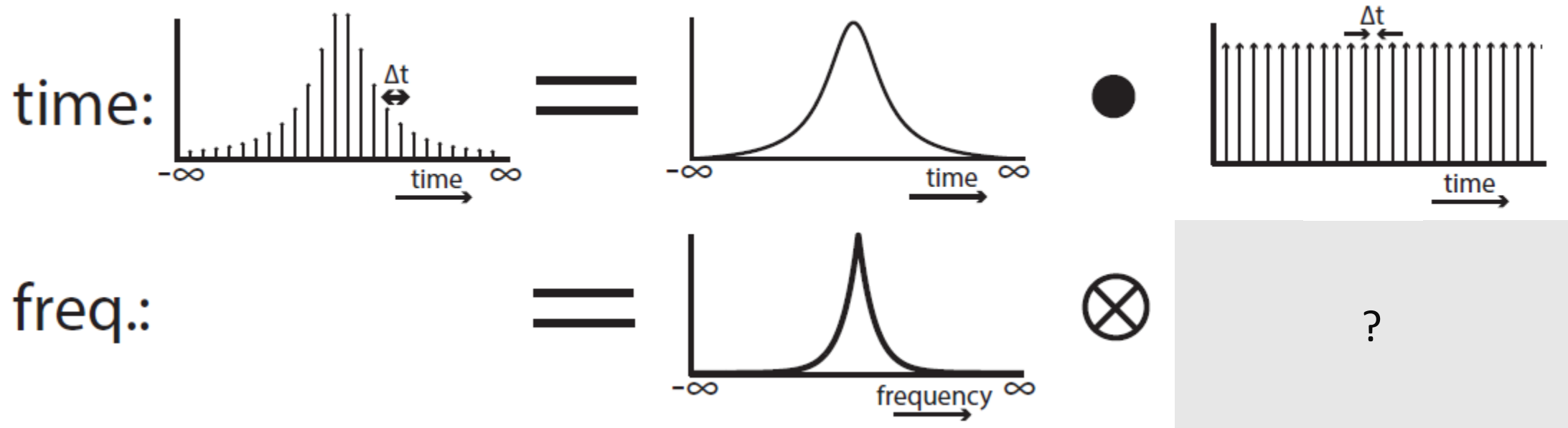
In 1964 gebruikten The Beatles voor het eerst audio feedback in hun EP "I Feel Fine". Hierbij werd de pickup op de gitaar die mechanische trilling converteert naar elektronische signalen te dicht bij de versterker gehouden. Wij willen onderzoeken in deze opgave welke snaar op de gitaar voor zodanig positieve feedback zorgde in de spectaculaire intro zorgde in dit nummer.

Hierboven is schematisch het positief feedbacksysteem weergegeven. We nemen aan dat  $H_{\text{pickup}}(s) = G_{\text{pickup}} \cdot \frac{1}{s}$  voor alle frequenties van de mechanische trilling (uitgedrukt in een bepaalde energie) van de klankkast. Voor de vragen a) en b) nemen we aan dat de gitaar alle frequenties van het geluid met een gain  $G_{\text{pickup}}$  omzet in mechanische trillingen. Verder heeft de versterker een constante gain van  $G_{\text{amp}}$  en wordt het geluid door de lucht verplaatst met de bekende overdrachtsfunctie  $H_{\text{geluid}}(s) = \frac{a}{s} e^{-\alpha |L|/v}$  met  $\alpha = \dots$

a) Geef de overdrachtsfunctie  $Y(s)/X(s)$  van het systeem en de voorwaarde voor de gain van de pickup om het systeem te kunnen laten oscilleren bij een bepaalde frequentie  $\omega$ .

b) Bij welke frequentie...

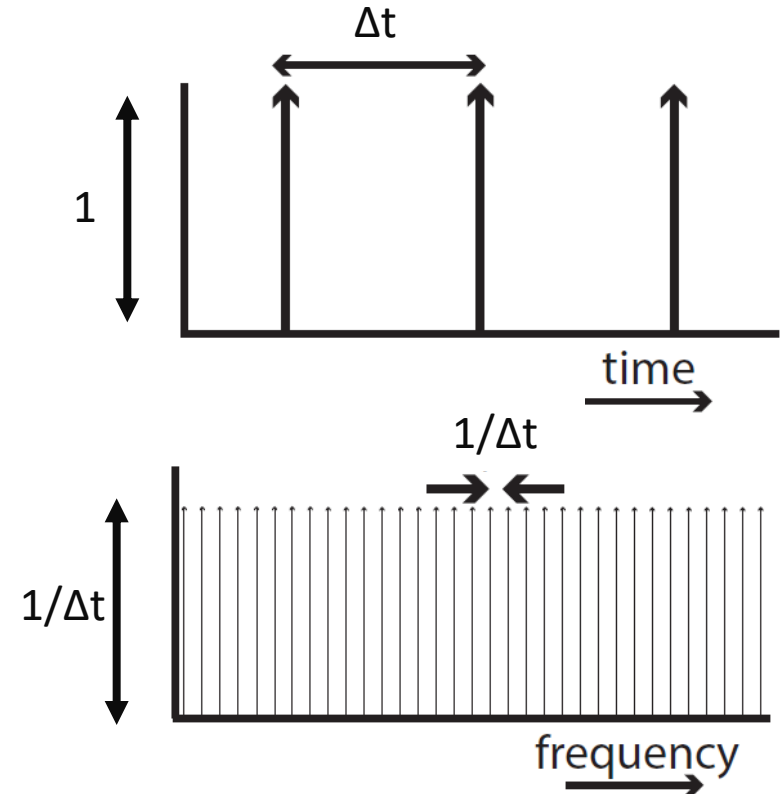
# Fourier Transformatie na bemonstering (sampling)



# Quizvraag



Noem een theorema waarmee je direct de factor  $\frac{1}{\Delta t}$  kan verantwoorden die voor de FT komt te staan van een kam van delta functies (i.e. hoe had je deze normalisatie anders had kunnen uitrekenen?)

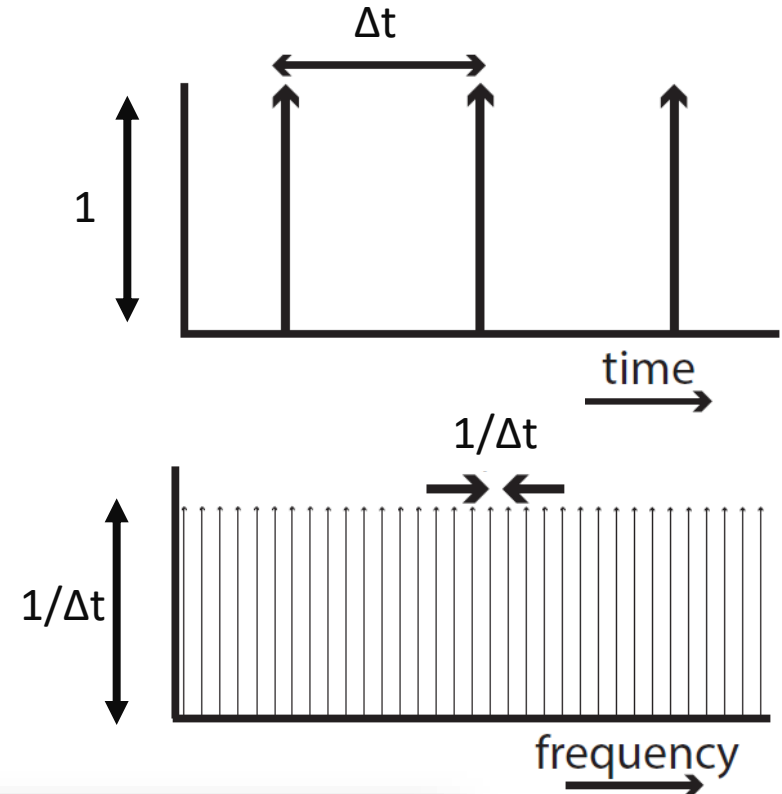




# Quizvraag



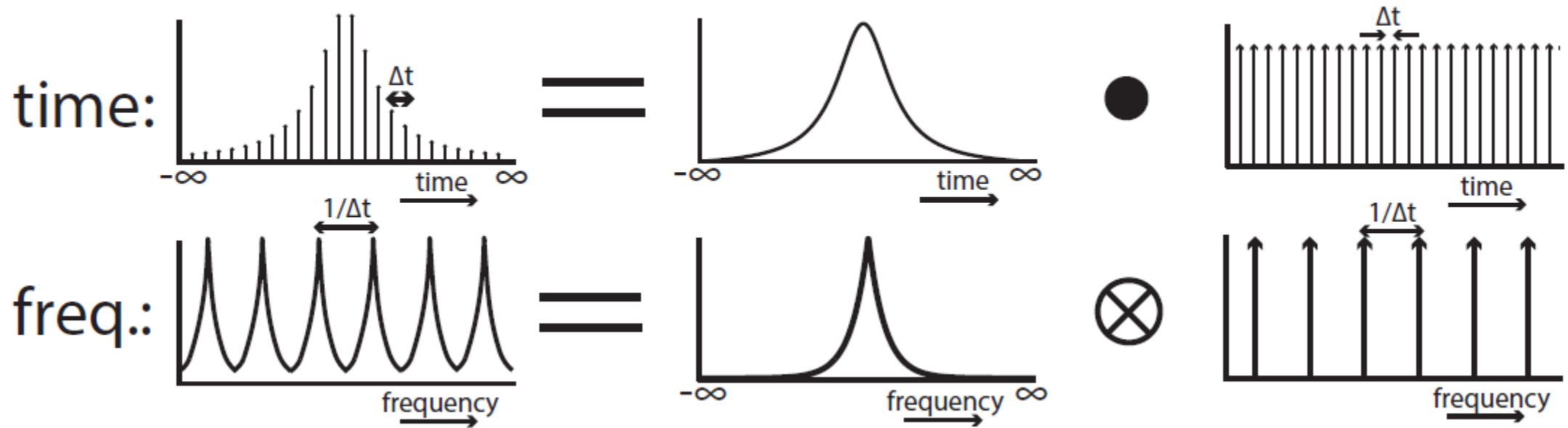
Noem een theorema waarmee je direct de factor  $\frac{1}{\Delta t}$  kan verantwoorden die voor de FT komt te staan van een kam van delta functies (i.e. hoe had je deze normalisatie anders had kunnen uitrekenen?)



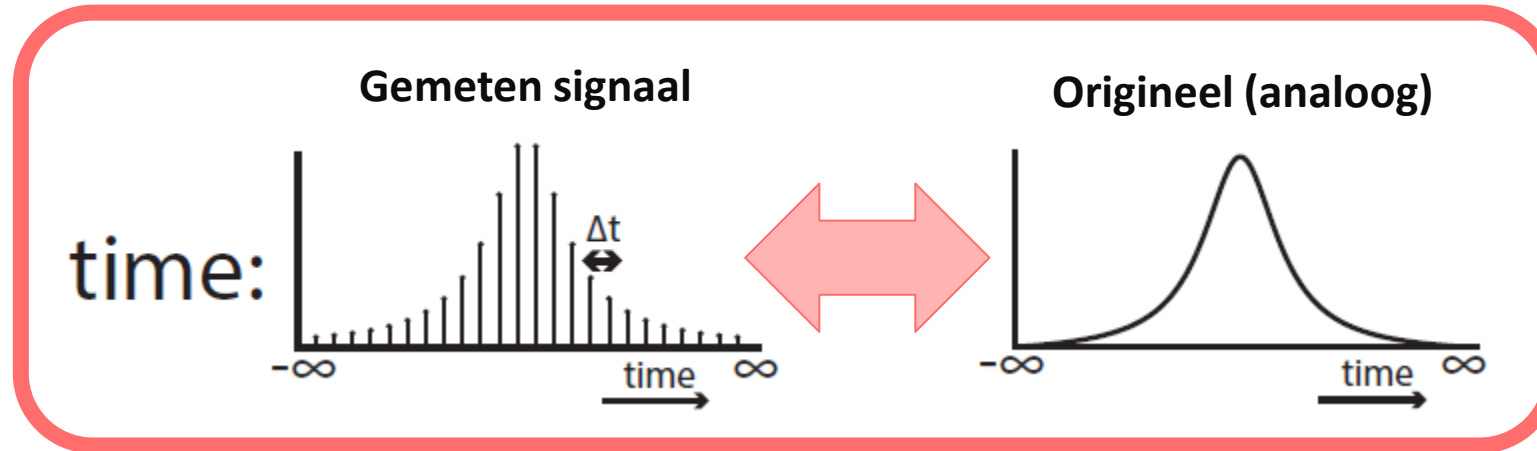
- **Parseval's theorem:** For the Fourier Transform (Equation [2.8b](#)) the following applies for every signal  $x(t)$ :

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2 df. \quad (2.9)$$

# Fourier Transformatie na bemonstering

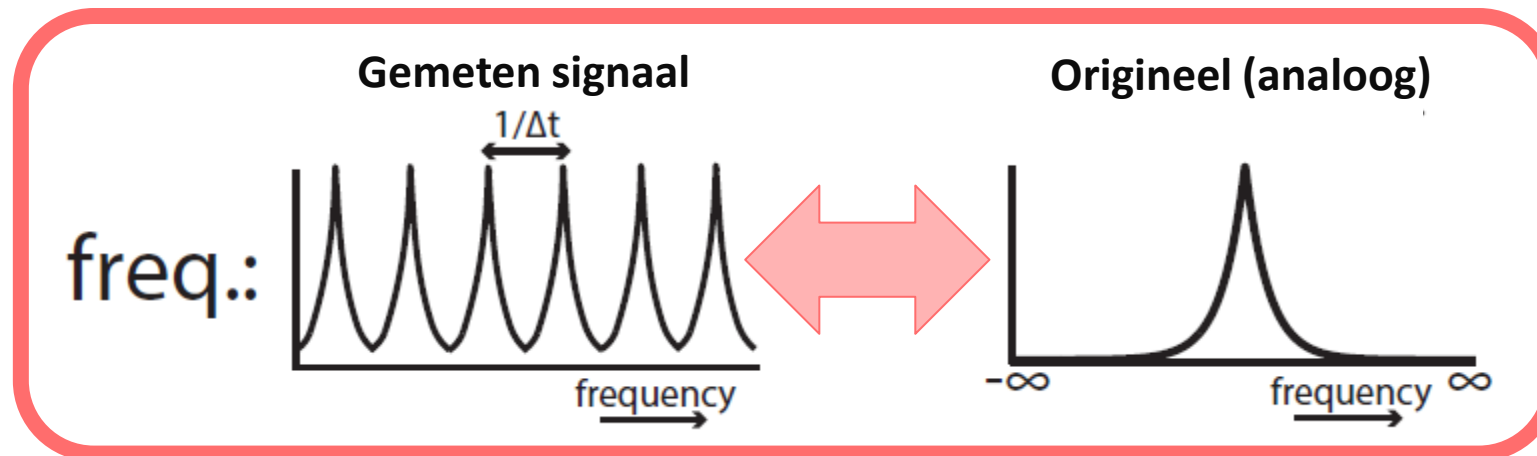


# We willen natuurlijk de originele informatie houden



**Bemonsteren (sampling) is niet een te inverteren operatie**

Wanneer is er geen sprake van  
informatieverlies?  
**Kwantificeer dit**



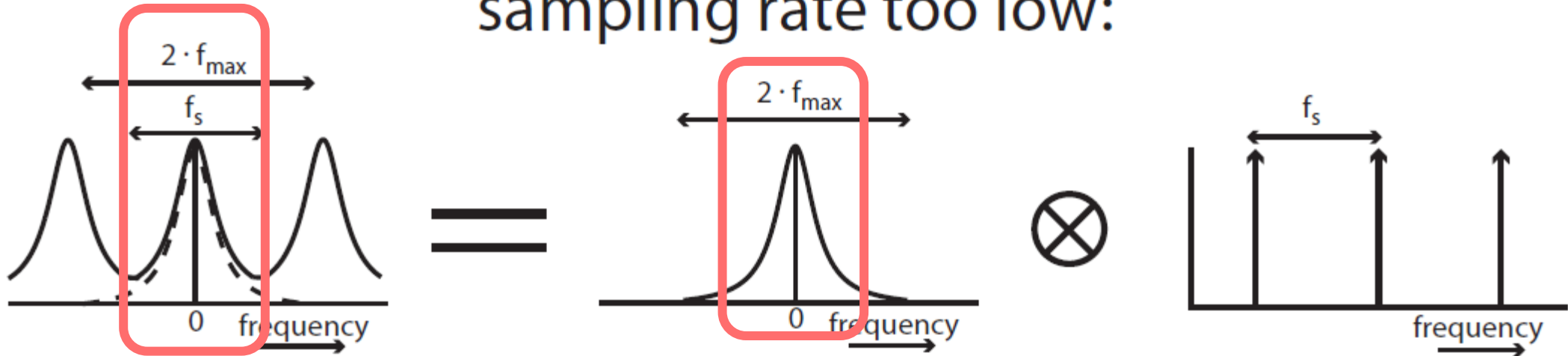
Wat voor wiskundige operatie  
zou je moeten doen om een  
origineel signaal terug te  
krijgen i.p.v. gesampled signaal?

**Het frequentiespectrum kan afwijkingen vertonen t.o.v. frequentiespectrum origineel signaal**

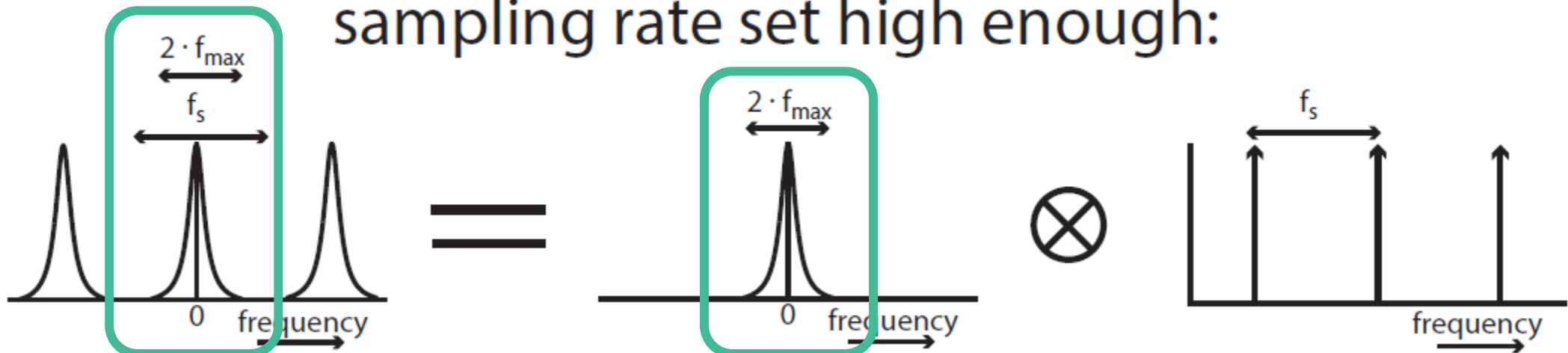


# In frequentiedomein $\rightarrow$ de oplossing

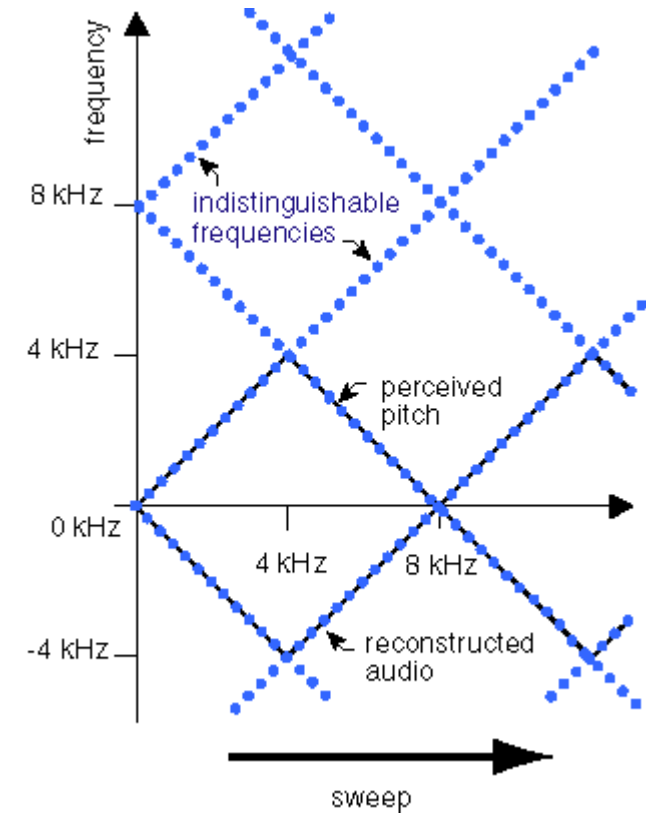
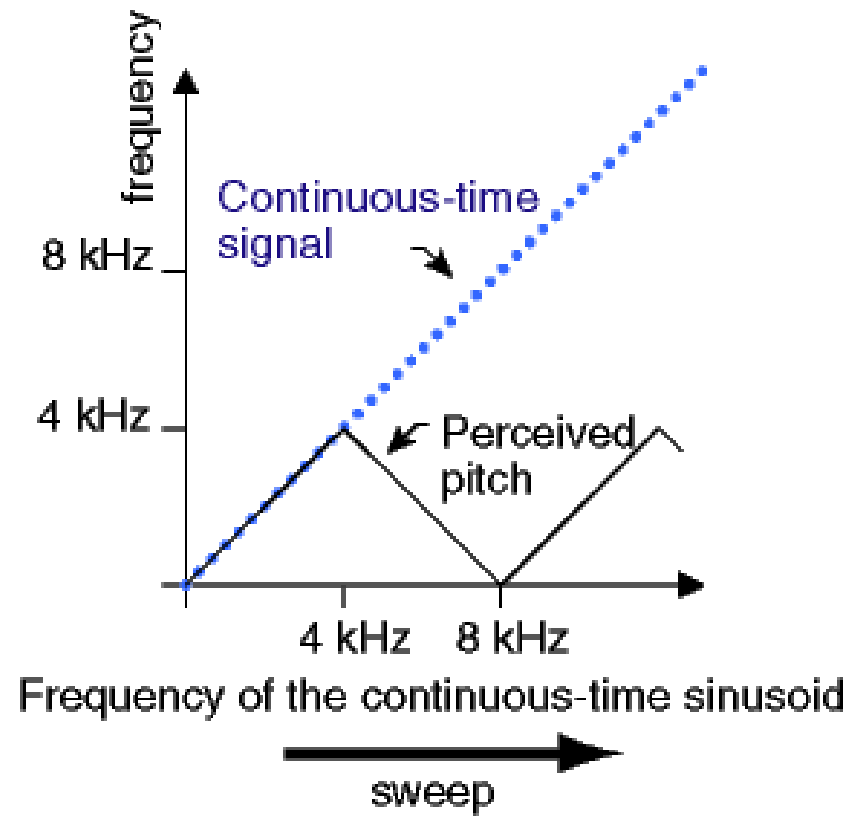
sampling rate too low:



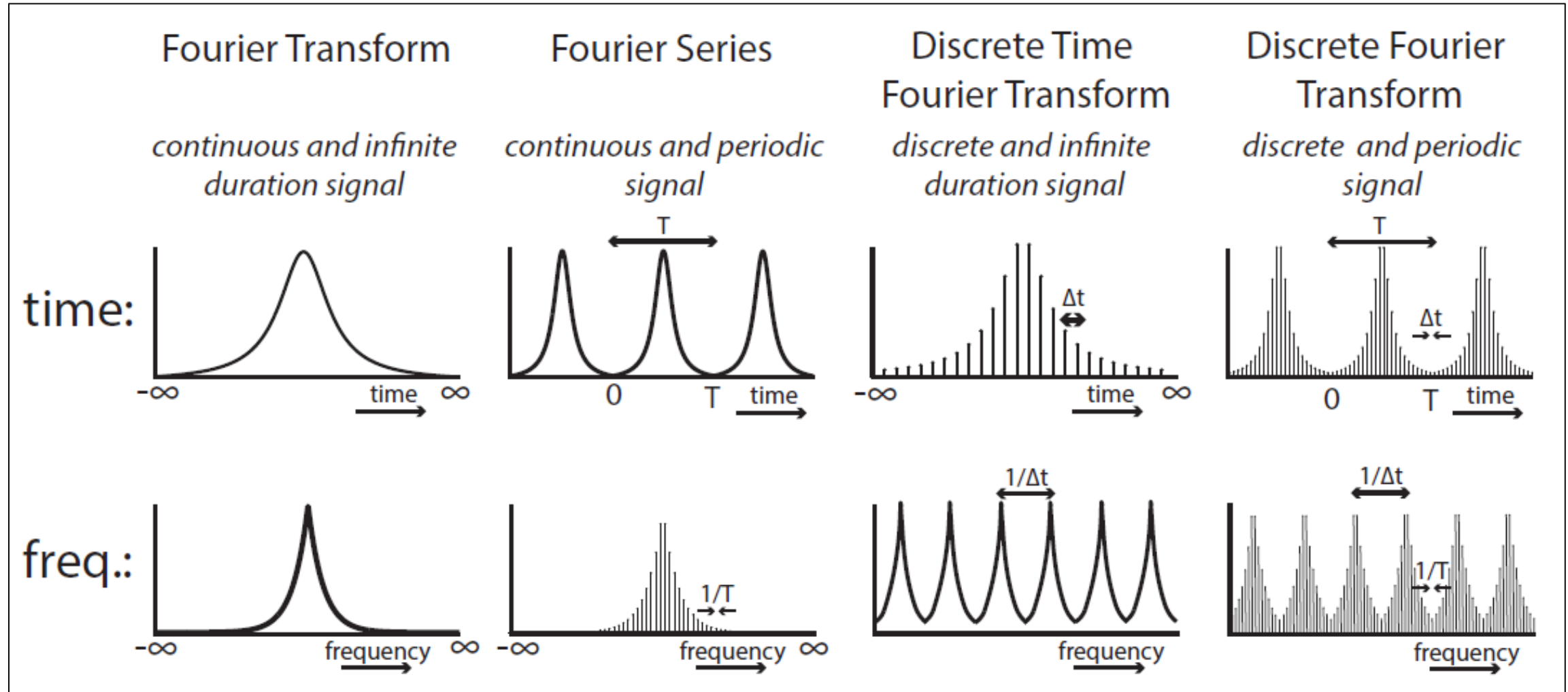
sampling rate set high enough:



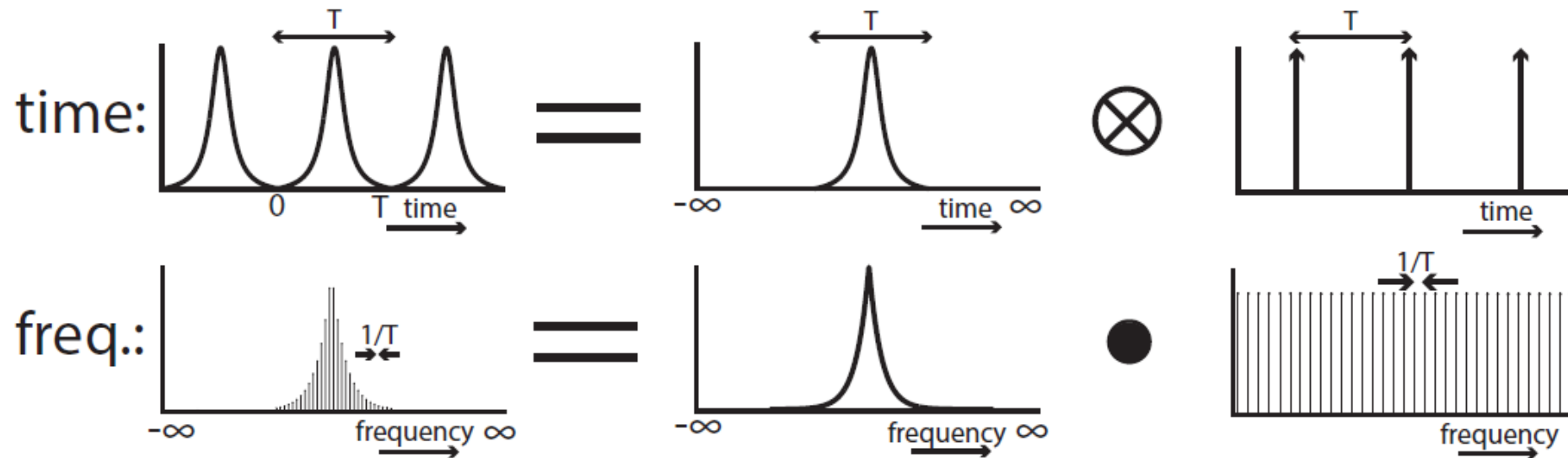
# Aliasing effect for single tone



# Intermezzo: Alle Fouriertransformaties



# Intermezzo: Fourier Series uitgelegd met convolutie theorema



**Figure 2.4** – *The Fourier Series can be explained using the Fourier Transform and convolution. Above you can see how a periodic signal can be constructed by the convolution of a single period with a series of delta functions. The Fourier Transform is equal to the direct product of the individual Fourier transforms. We see that the frequency resolution is equal to  $1/T$*





# Quizvraag

Ik wil weten “hoeveel” er zit van 7.5 Hz in een signaal. Als ik sample met 1000 Hz, dan moet alles goed gaan toch?

A. Ja

B. Nee





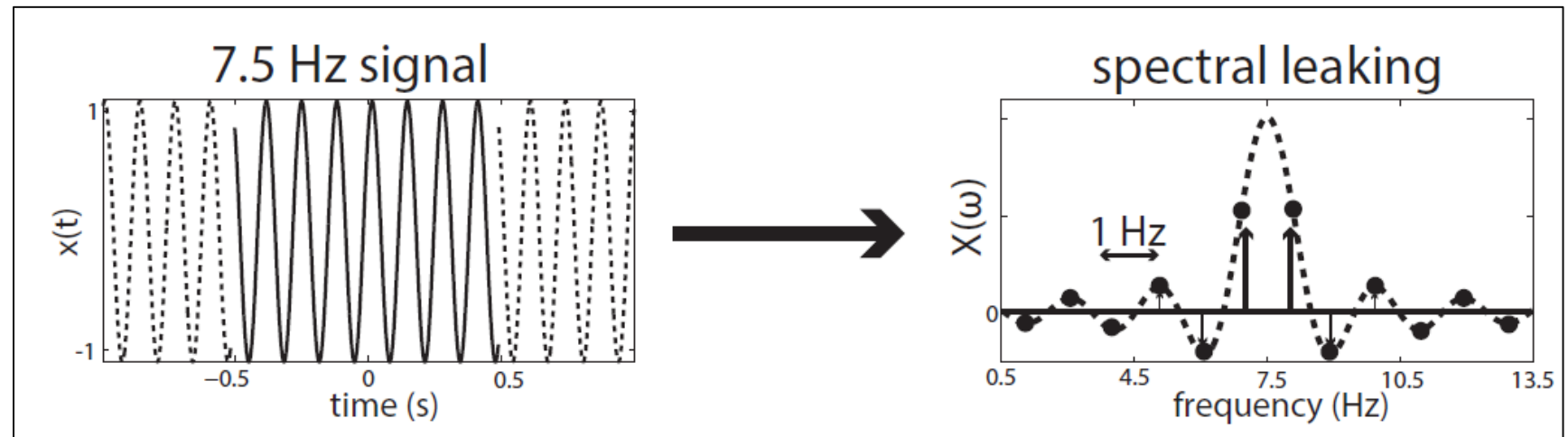
# Quizvraag

Ik wil weten “hoeveel” er zit van 7.5 Hz in een signaal. Als ik sample met 1000 Hz, dan moet alles goed gaan toch?

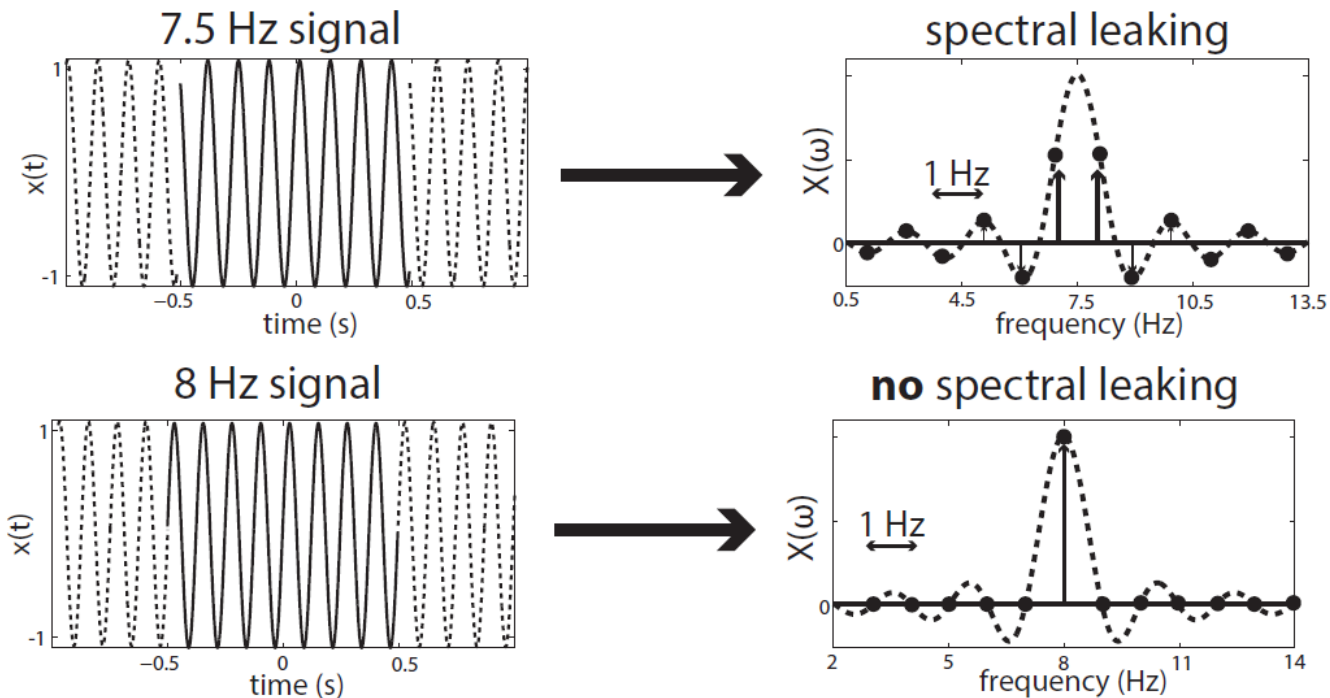
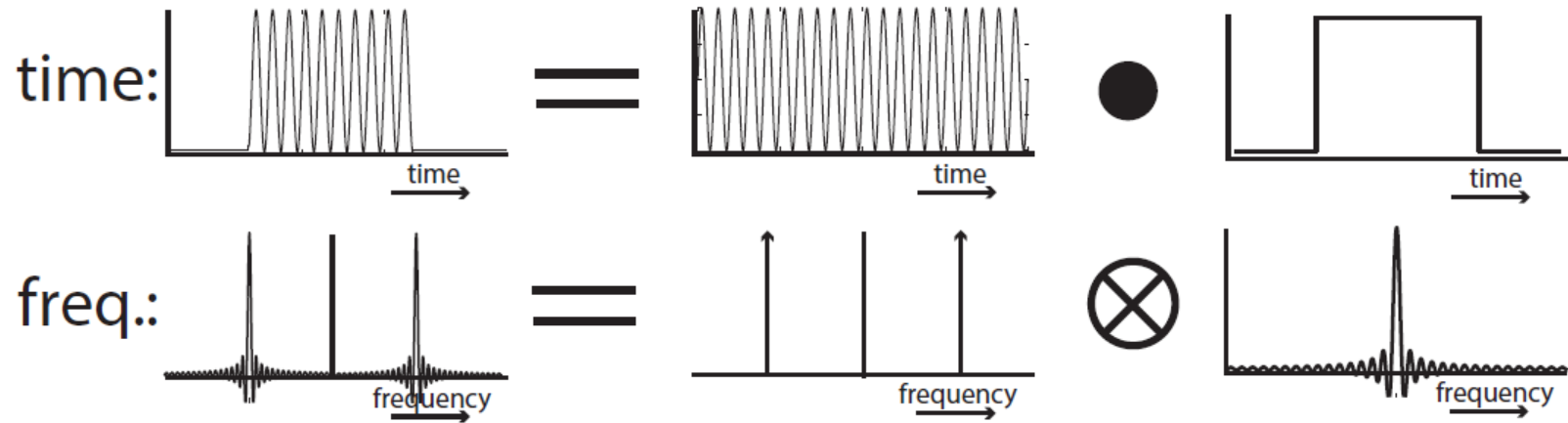
En nog een probleem → Hoelang ik meet maakt uit!

A. Ja

B. Nee

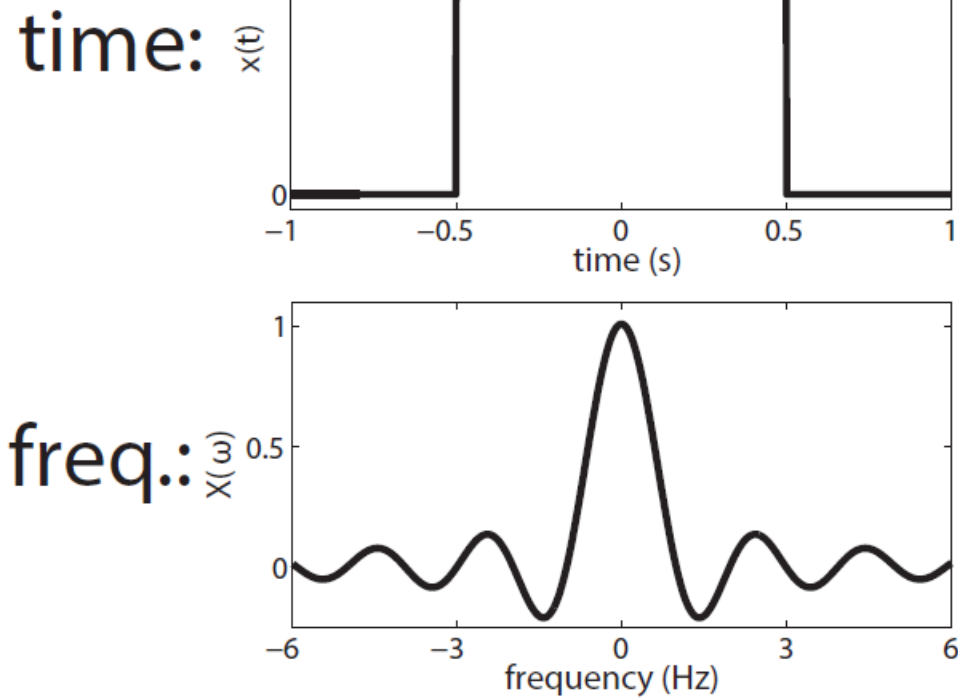


## 2. Spectral Leakage uitgelegd bij FT/FS na windowing

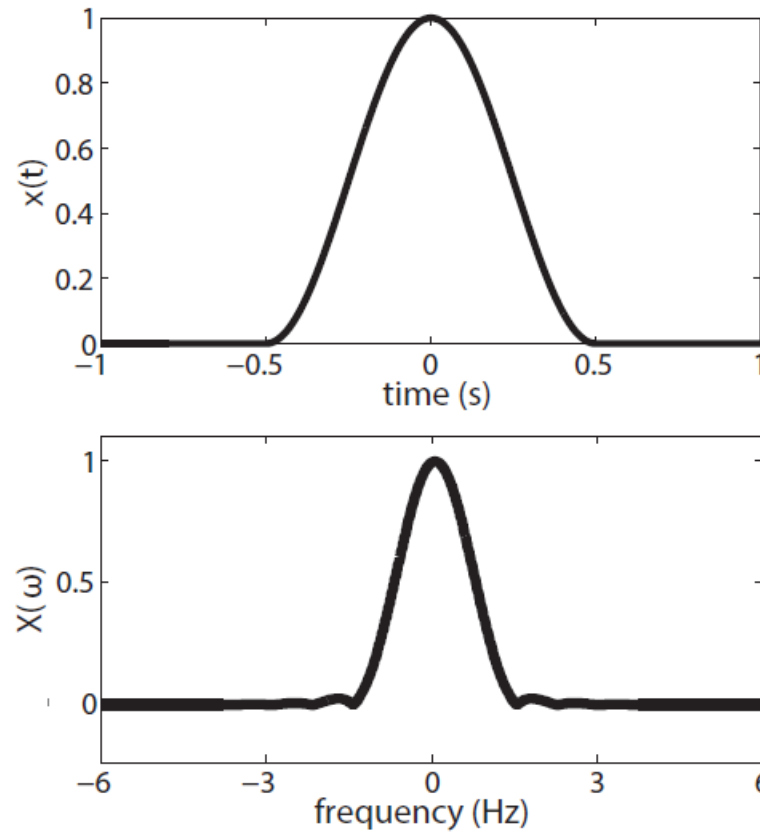


# Een oplossing: andere windows

## Rectangular



## Hanning



Bij Hanning heb je minder amplitude bij geheel andere frequenties dan de originele frequentie, maar breedte centrale piek is wel groter dan bij vierkant.

### Experimenteel natuurkundige:

Welk window kies je als je twee signalen hebt die heel erg verschillen van amplitude maar je wilt wel de frequentie van beide weten?

# Ideale window hangt af van de toepassing

Signal Content	Window
Sine wave or combination of sine waves	Hann
Sine wave (amplitude accuracy is important)	Flat Top
Narrowband random signal (vibration data)	Hann
Broadband random (white noise)	Uniform
Closely spaced sine waves	Uniform, Hamming
Excitation signals (hammer blow)	Force
Response signals	Exponential
Unknown content	Hann
Sine wave or combination of sine waves	Hann
Sine wave (amplitude accuracy is important)	Flat Top
Narrowband random signal (vibration data)	Hann
Broadband random (white noise)	Uniform
Two tones with frequencies close but amplitudes very different	Kaiser-Bessel
Two tones with frequencies close and almost equal amplitudes	Uniform
Accurate single tone amplitude measurements	Flat Top

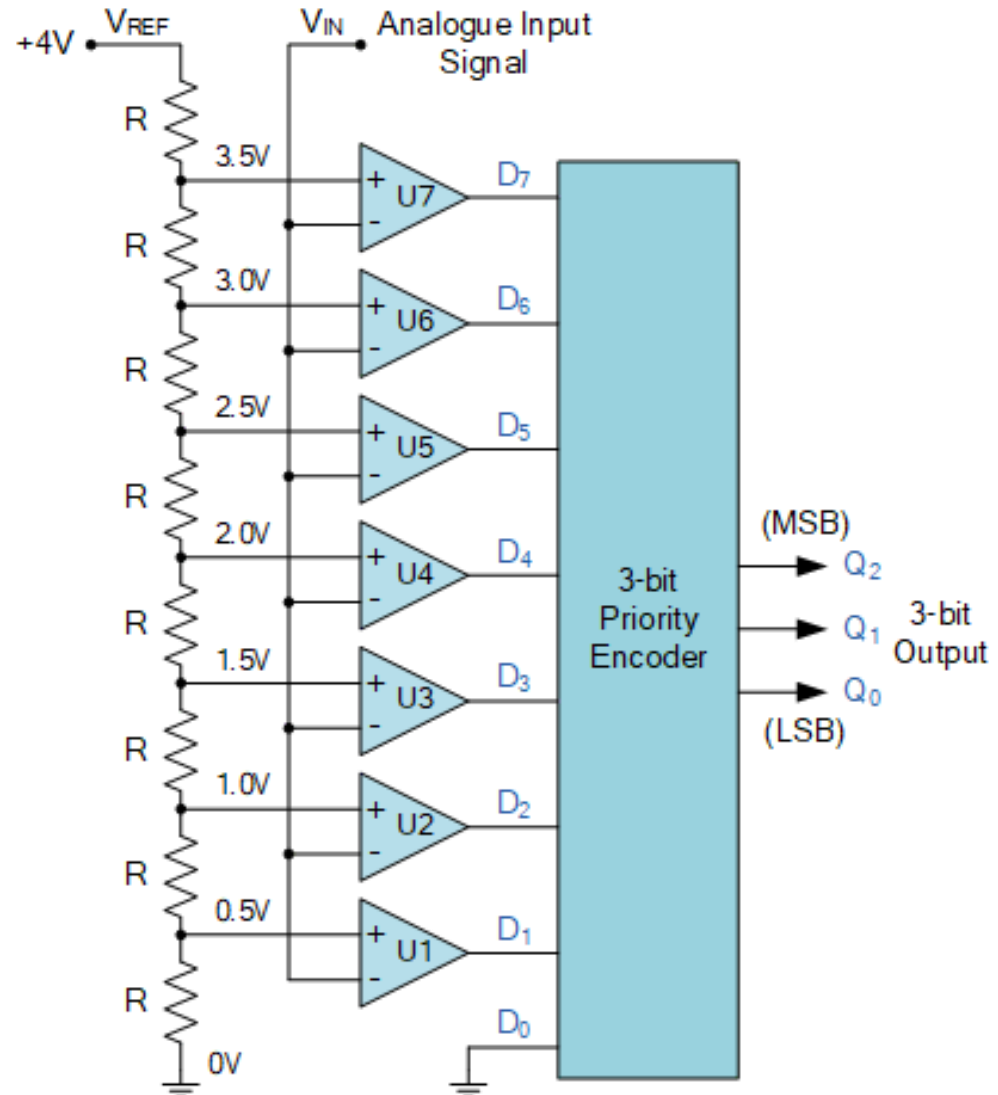
# 3. A/D conversion

Vertical resolution (volt) for N bits:

$$V_R = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^N - 1}$$

Often: actual resolution is less:  
ENOB = Effective Number Of Bits

→ Only first ENOB bits can be trusted



# Quizvraag



- Ik kan eerst samplen en A/D conversie doen en dan digitaal filteren. Waarom zou ik dan nog analoog filteren?

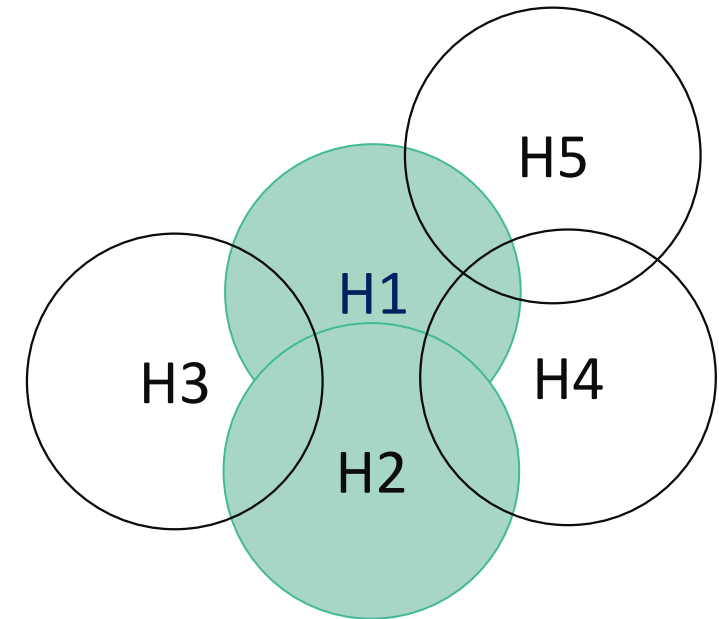
# Volgende keer



- 2D Fourier Transformaties en lockin amplifier
- Losse eindjes H1 en H2 / vragen stellen
- Enkele toepassingen H1 en H2
- Start H3
- ***Computerpracticum:*** 2D FT in Python



- Lees hoofdstuk 2 uit de reader
  - Niet behandeld hier:
    - Analog to Digital conversie (bit resolution, bitruis gebruiken)
- Werkcollege maken
  - **Opgave 1:** Aliasing en frequentieresolutie
  - **Opgave 2:** Spectral Leakage, convolutie
  - **Opgave 3:** Radio, A/D conversie, aliasing

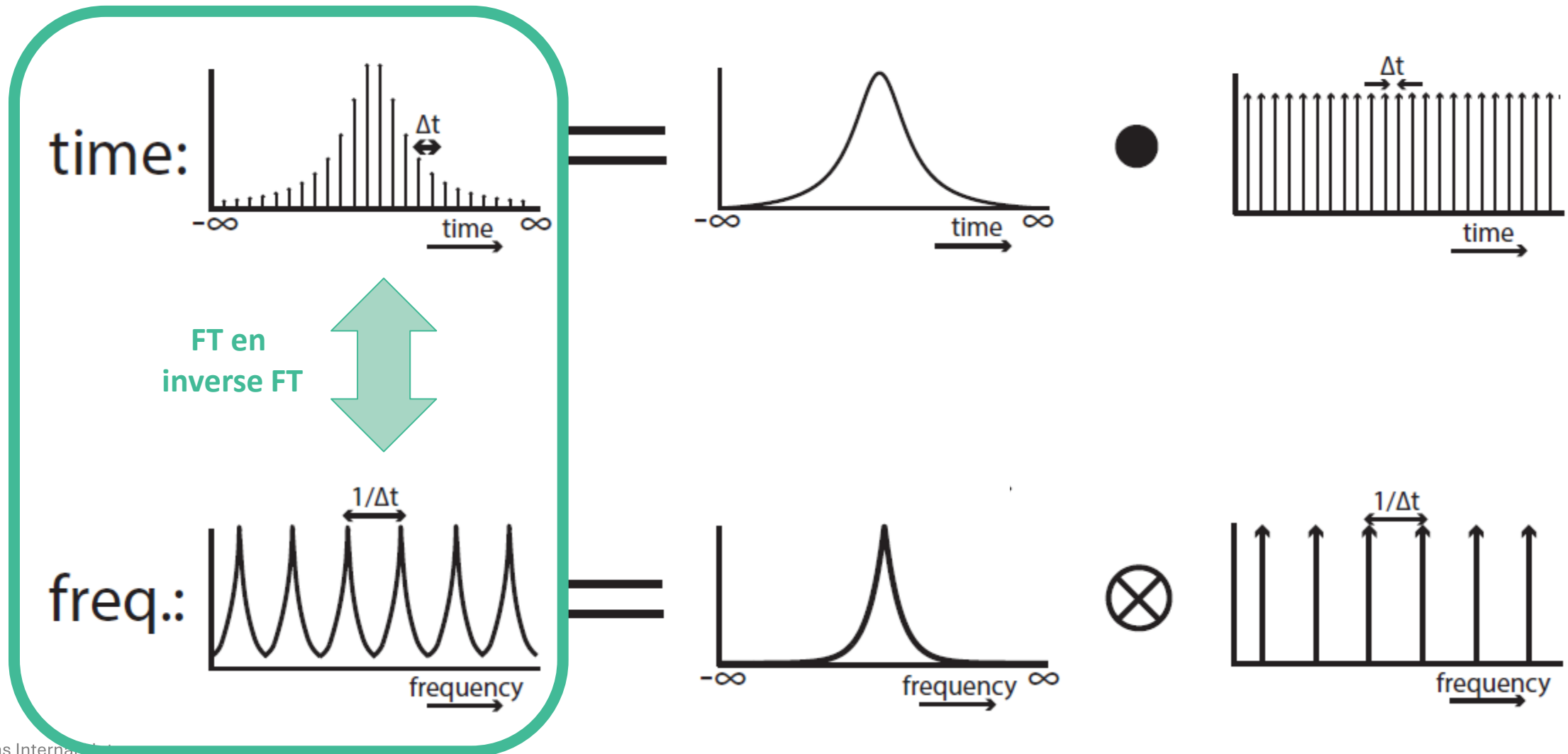


Niet bijhouden is dubbel werk

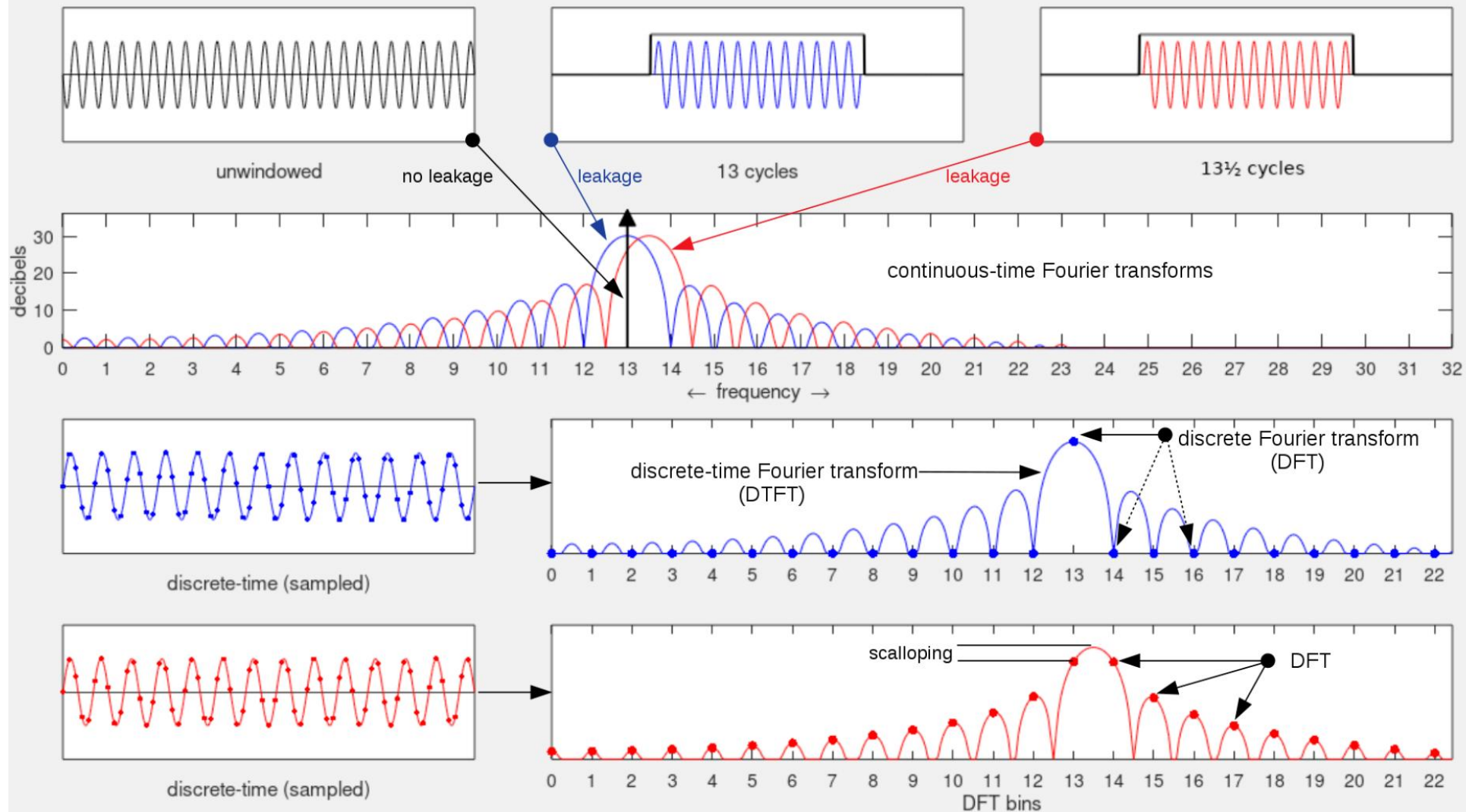


Einde college 2

# Tussen FT en inverse FT nooit informatieverlies



# Spectral leakage caused by "windowing"



# Meer collegerekvragen → Uit de “zelftesten”

## Question 1 (15 points):

Suppose we have a signal  $y(t)$  which is equal to the convolution of  $x_1(t)$  and  $x_2(t)$ . The Fourier transform of  $y(t)$ ,  $Y(\omega)$  is then equal to:

- A.  $X_1(\omega)X_2(\omega)$
- B.  $2\pi X_1(\omega)X_2(\omega)$
- C.  $\frac{1}{2\pi} X_1(\omega)X_2(\omega)$
- D.  $(2\pi)^2 X_1(\omega)X_2(\omega)$

## Question 2 (15 points):

We want to use Amplitude Modulation to transmit 10 channels to be used by the aviation industry simultaneously. The bandwidth of the conversations that have to be transmitted is 5 kHz. The aviation industry has reserved a frequency band between 325 kHz and 405 kHz? Will the 10 channels fit in the frequency band?

- A. Yes
- B. No

## Question 3 (10 points):

Which Fourier transform do you always use when looking at a signal recorded by a computer?

- A. The Fourier Transform (FT)
- B. The Fourier Series (FS)
- C. The Discrete Time Fourier Transform (DTFT)
- D. The Discrete Fourier Transform (DFT)

## Question 4 (15 points):

I have measured a signal for 10 seconds with a sampling frequency of 30 kHz. What is the frequency resolution when I use a computer to Fourier transform the signal?

- A. 60 kHz
- B. 15 kHz
- C. 3 kHz
- D. 0.1 Hz

## Question 6 (15 points):

I want to measure the resistance of a single atom ( $12.9 \text{ k}\Omega$ ). I'm using a voltage of 50 mV. I will use a current-to-voltage converter (I/V-converter) to convert the measured current to a  $10^X$  times higher voltage (1 Ampere is  $10^X$  Volt). This voltage is then sent to a 16-bit A/D converter with an input range of -5 to 5 V. What can the value of X be so that the resistance can be measured up to 1% accuracy?

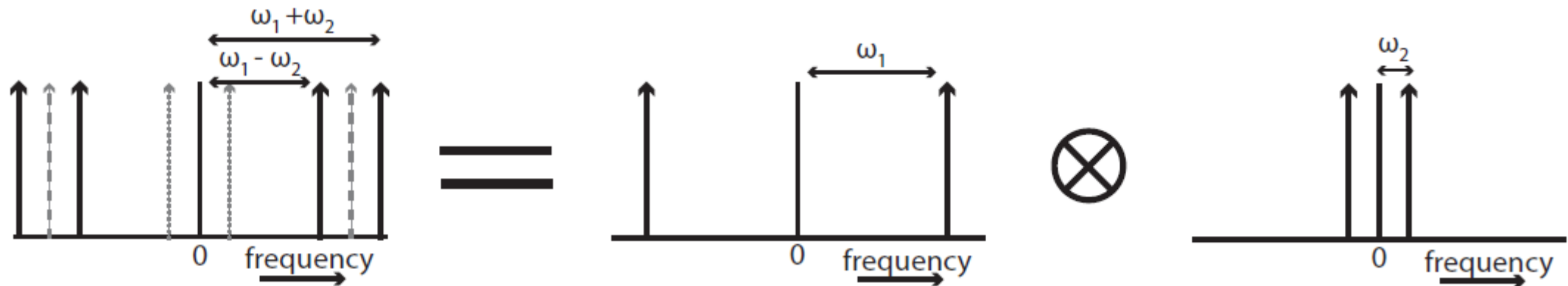
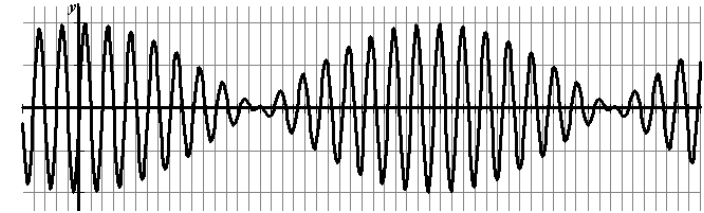
- A. X must be at least 3
- B. X must be at least 4
- C. X must be at least 4 and maximally 6
- D. X must be at least 3 and maximally 7

# Quizvraag 2 - zweving

Schets in het frequentiedomein:  $y(t) = \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t)$

Met bijvoorbeeld  $\omega_1=10$  rad/s en  $\omega_2=1$  rad/s

Gebruik onderstaande convolutie in het frequentiedomein:



# Spectral Leakage uitgelegd bij FS na windowing

