

Sensors & Interfacing

Tuur Vanhoutte

2 maart 2020

Inhoudsopgave

1	Communicatie	1
1.1	Datacommunicatie in IoT	1
1.2	Data	1
1.3	Communicatie	1
1.3.1	Communicatieafspraken	2
1.3.2	Encoding/Decoding	2
1.3.3	Signalen	2
1.3.4	Communicatiemedia	2
1.3.5	Voorbeelden	2
1.3.6	Eigenschappen van media	2
1.3.7	Afspraken	3
1.3.8	Standaardiseren van ...	3
2	Analoog vs digitaal	3
2.1	Toestanden	3
2.1.1	Bepaalde toestand	3
2.1.2	Digitale toestanden	3
2.1.3	Analoge toestanden	4
2.2	Signalen	4
3	Analoge signalen	4
3.0.1	Transducer	4
3.0.2	Sensoren en Actuatoren	4
3.1	Analoge communicatie	4
3.1.1	Eigenschappen	5
3.1.2	Wisselspanning - Eigenschappen	5
3.1.3	Periodieke signalen	6
3.1.4	Tijdsdomein en frequentiedomein	6
4	Digitale signalen	7
4.1	Duty Cycle	7
4.2	Flanken (edge)	7
4.3	Weergave digitale signalen	8
5	AD/DA conversie	8
5.1	Analoog naar digitaal	9
5.1.1	Voorbeeld A	9
5.1.2	Voorbeeld B	9
5.1.3	Sample Rate / sample frequentie	11
5.1.4	Aliasing	12
5.1.5	Oversampling	13
5.1.6	Implementatie en types	13
5.1.7	Flash ADC	13
5.1.8	Successive approximation ADC	14
5.2	Digitaal naar analoog conversie	15
5.2.1	Simpele DAC	15
5.2.2	Simpele DAC adhv PWM	16
5.2.3	Andere types	16
5.2.4	Nalezen:	17

6	Modulatie	17
6.1	Demodulatie	17
6.2	Modem	18
6.3	Waarom?	18
6.4	Hoe?	18
6.5	Draag golf	18
6.6	Simpel	19
6.7	Amplitude modulatie (=AM)	19
6.7.1	Overmodulatie	20
6.8	AM bandbreedte	21
6.9	SSB modulatie (USB/LSB)	22
6.10	ASK Modulatie	22
6.11	Frequentie modulatie	23
6.12	FSK modulatie	24
6.13	FM Modulatie	24
6.14	Fase modulatie	25
6.15	PSK modulatie	25
6.16	Phase Shift Modulatie	26
6.17	QAM modulatie	26
6.18	Bandbreedte / vermogen	27
6.19	Waarom Narrow-band	27

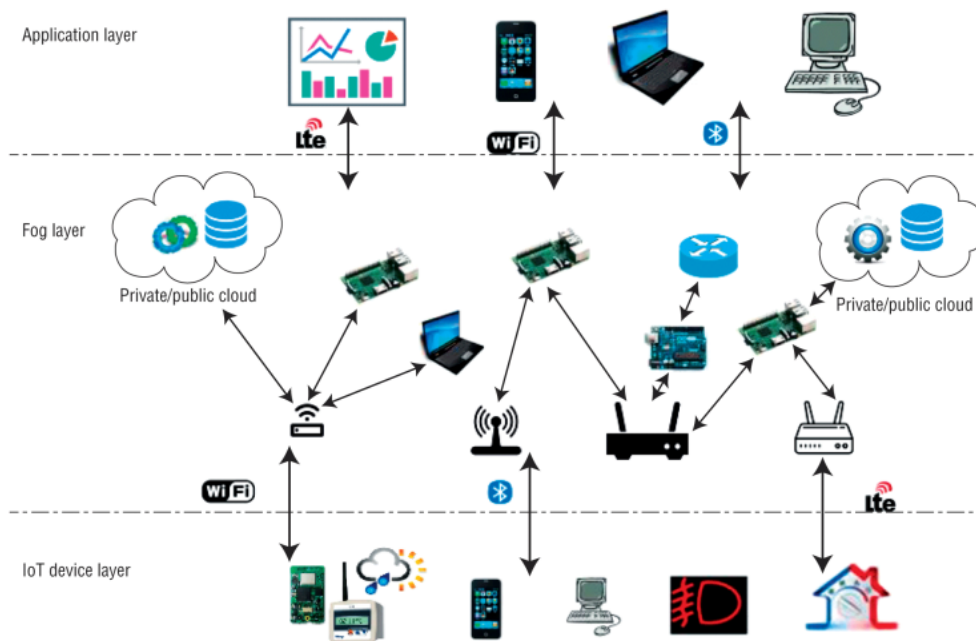
1 Communicatie

1.1 Datacommunicatie in IoT

3 lagen:

1. Application Layer
2. Fog layer
3. IoT Device Layer

Datacommunicatie in IoT



1.2 Data

- "Pre-informatie"
- Gegevens waaruit informatie kan worden gewonnen
- Stelt een bepaalde toestand voor

1.3 Communicatie

Overbrengen van informatie tussen deelnemers

- Boodschap
- Signaal
- Medium

1.3.1 Communicatieafspraken

- Coderen van informatie (encoding)
- Voorbeeld:
 - morse-code
 - Ascii-codering
 - Codering voor alle gebruikte symbolen in symbolen
 - Codering in 7 of 8 bit
 - 1 byte = 1 teken
- ...

1.3.2 Encoding/Decoding

1. Codifying
2. Sending the message
3. Decodifying

1.3.3 Signalen

- Licht
- Geluid
- Elektriciteit
- ...

1.3.4 Communicatiemedia

- Twisted-Pair cable
- Coaxial cable
- Fiber-Optic cable

1.3.5 Voorbeelden

- Welke codering?
- Wat is het signaal?
- Wat is het medium?

1.3.6 Eigenschappen van media

- Vatbaarheid voor interferentie
- Overbrugbare afstand
- Praktisch
- Kostprijs

1.3.7 Afspraken

- Protocol
- Standaarden
- IEEE
- EIA (NEDA/ECA)ECIA

1.3.8 Standaardiseren van ...

- Type media en zijn specificaties
- Het gebruikte signaal en zijn toleranties
- De elektrische interferentie
- De gebruikte codering
- Foutcorrectiecodes
- Protocol
- De gebruikte connector
- ...

2 Analooq vs digitaal

- **Digitaal:** Discrete waarden
- **Analooq:** Continue waarden

2.1 Toestanden

2.1.1 Bepaalde toestand

- Temperatuur
- Licht aan/uit
- Afstand
- Tijd
- ...

2.1.2 Digitale toestanden

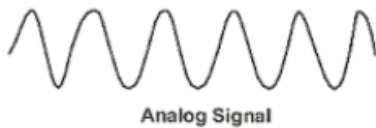
- Licht aan/uit
- Deur open/dicht
- Keuze van versnelling N - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - R
- Ruitenwisser interval uit - interval - traag - snel
- ...

2.1.3 Analoge toestanden

- Tijd (!)
- Temperatuur
- Luchtdruk
- Luchtvochtigheid
- Afstand
- ...

2.2 Signalen

- Analooq signaal
- Digitaal signaal



3 Analoge signalen

3.0.1 Transducer

Omzetten van een analoog signaal naar een ander analoog signaal.

Voorbeeld: elektrisch signaal omzetten naar een geluidsignaal via een luidspreker (=de transducer)

3.0.2 Sensoren en Actuatoren

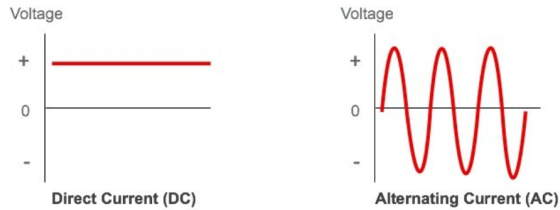
- Sensor \Rightarrow meten van een fysieke eigenschap
- Actuator \Rightarrow beïnvloeden van een fysieke parameter \Rightarrow transducers

3.1 Analoge communicatie

Sinusgolf als meest elementaire signaal

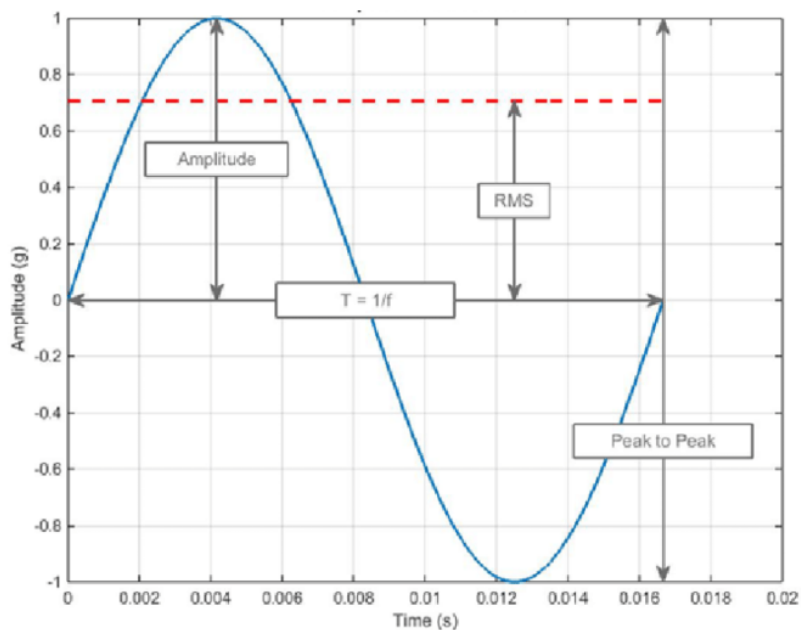
3.1.1 Eigenschappen

- DC vs AC
- Polariteit blijft gelijk bij (pulserende) DC
- Polariteit verandert bij AC



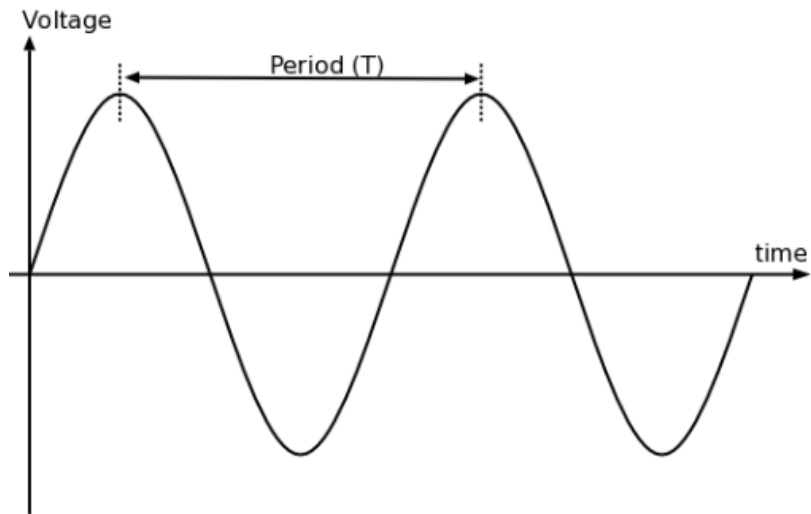
3.1.2 Wisselspanning - Eigenschappen

- RMS = Root Mean Square (= kwadratisch gemiddelde) = effectieve waarde (in geval van sinus)
 1. Som van alle kwadraten (= square)
 2. Die som delen door het aantal waardes (= mean)
 3. Neem de vierkantswortel van dat getal
 - Wordt vaak gebruikt in de elektriciteit om het gemiddelde vermogen te vinden
- Frequentie
- Periode
- Amplitude
- Peak of top-to-top waarde



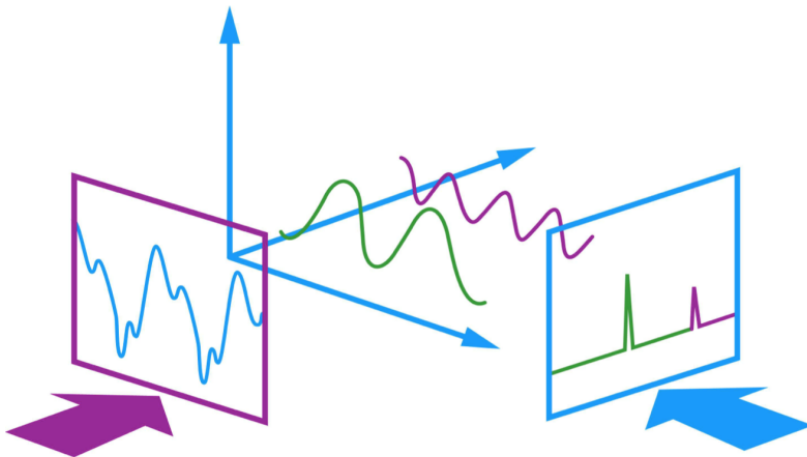
3.1.3 Periodieke signalen

- 1 herhaling = 1 periode
- Periode (T) = tijdsduur (in s)
- Frequentie (f) = aantal periodes per seconde (in Hz)
- $F = \frac{1}{T}$ en $T = \frac{1}{F}$



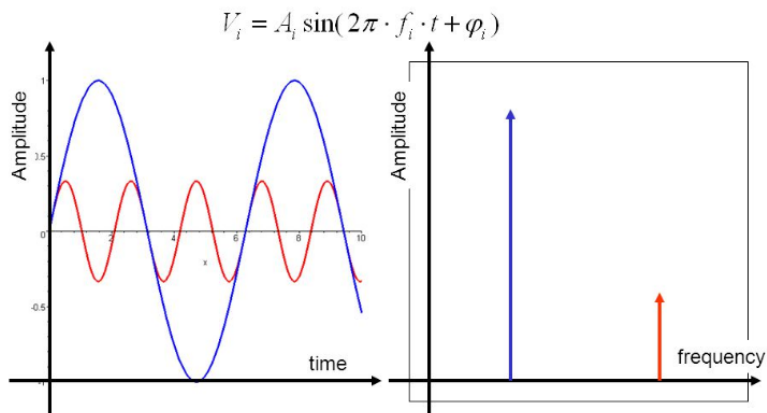
3.1.4 Tijdsdomein en frequentiedomein

- Tijdsdomein: met een oscilloscoop
- Frequentiedomein: met



(Formule niet te kennen)1

Time Domain \Leftrightarrow Frequency Domain



4 Digitale signalen

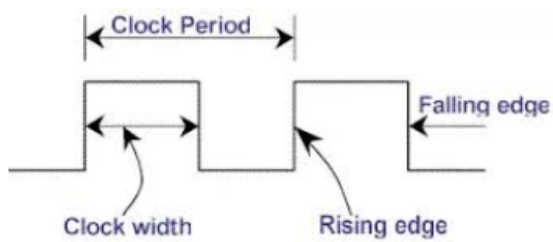
Aan/uit

4.1 Duty Cycle

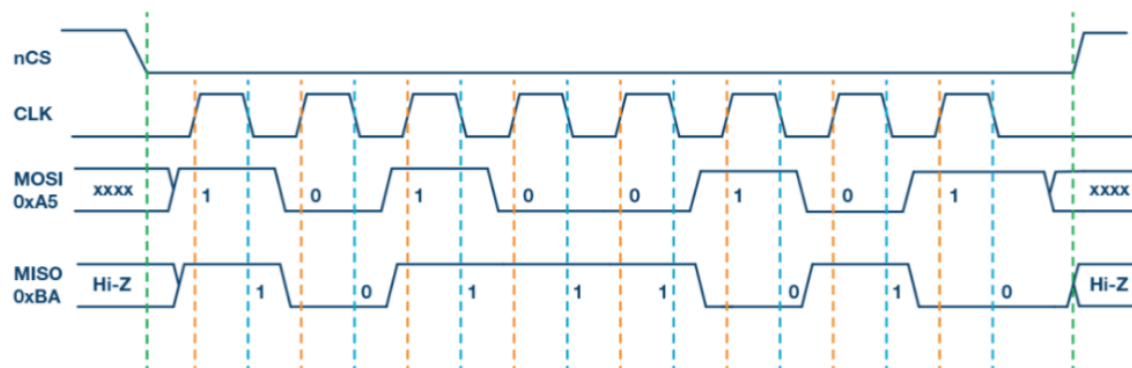
= Hoeveel procent van de tijd staat het signaal aan?

4.2 Flanken (edge)

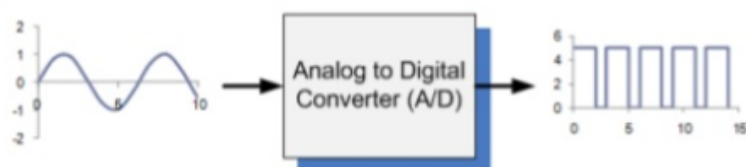
- Stijgende flank
- Dalende flank
- Belangrijk bij kloksignalen



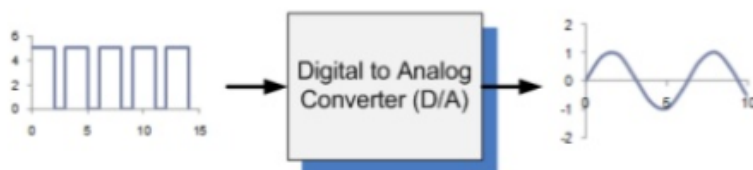
4.3 Weergave digitale signalen



5 AD/DA conversie

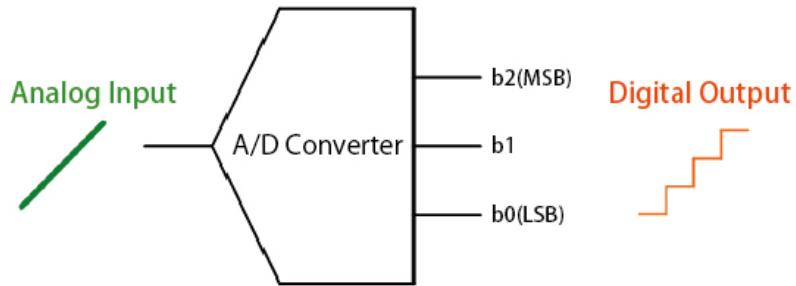


Figuur 1: Analooq naar digitaal (AD converter)



Figuur 2: Digitaal naar analooq (DA converter)

5.1 Analooq naar digitaal



Figuur 3

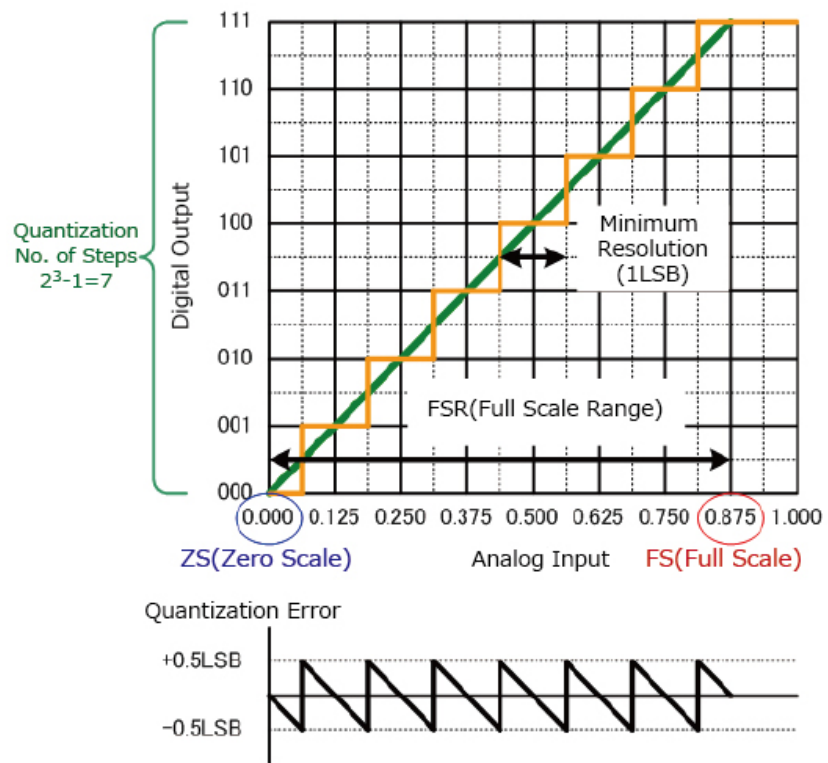
- Range = verschil tussen laagste en hoogste waarde
- Resolutie = aantal stappen of stapgrootte in bits
- Belangrijk gevolg:
 - beide parameters bepalen de exactheid en de afwijkingen

5.1.1 Voorbeeld A

- Range = 2V - 2.5V
- Resolutie = 8bits
- Dus aantal discrete stappen = $2^8 = 256 \Rightarrow 256 - 1 = 255$
- Stapgrootte (LSB) = $\frac{range}{255} = \frac{2.5V - 2V}{255} = \frac{0.5V}{255} = 0.00196..V/stap$
- ofwel $\approx 2mV/stap$

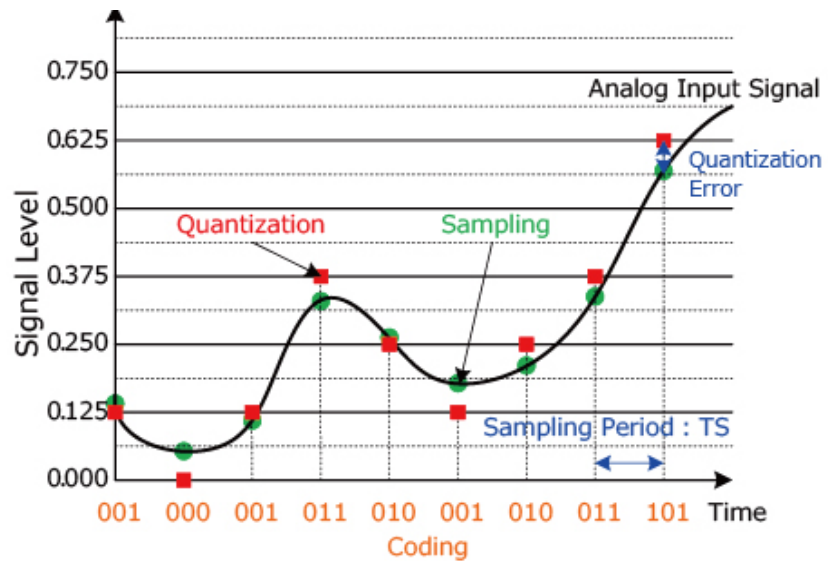
5.1.2 Voorbeeld B

- Range = 0V - 12V
- Resolutie = 12bits
- Dus aantal discrete stappen = $2^{12} = 4096 \Rightarrow 4096 - 1 = 4095$
- Stapgrootte (LSB) = $\frac{range}{4095} = \frac{12V - 0V}{4095} = \frac{12V}{4095} = 0.0029304..V/stap$
- ofwel $\approx 3mV/stap$



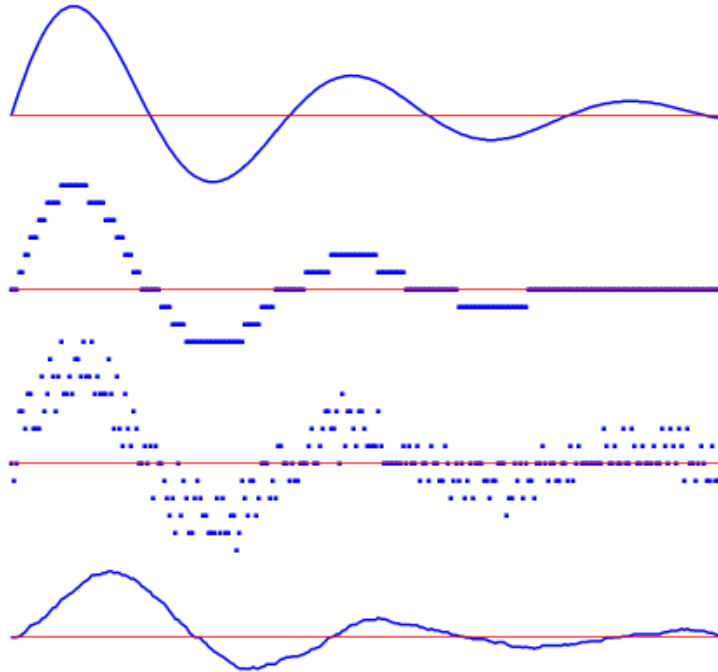
Figuur 4: AD conversie

- Quantisatiefouten
- Veroorzaakt quantisatieruis



Figuur 5: AD conversie

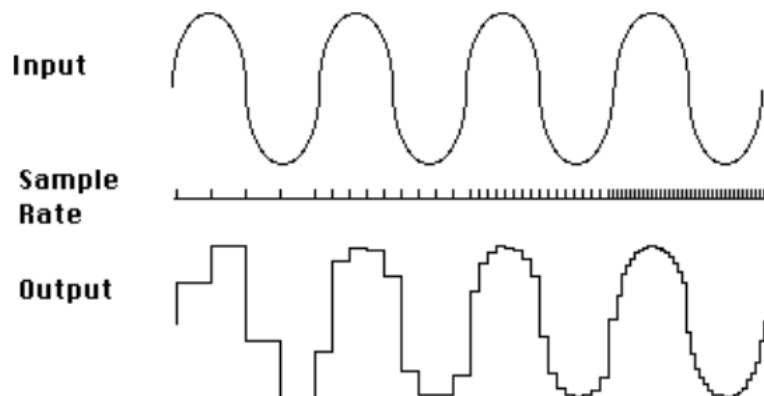
- Quantisatiefouten \rightarrow dithering
- = vooraf (witte) ruis toevoegen aan signaal



Figuur 6: Dithering

5.1.3 Sample Rate / sample frequentie

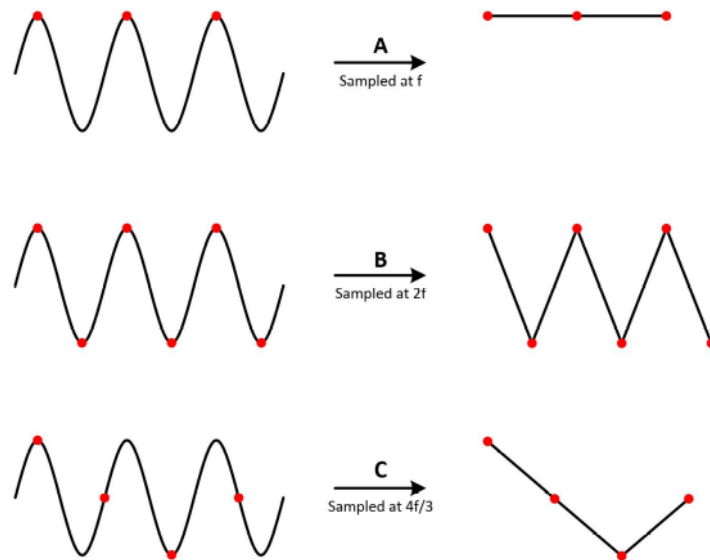
= aantal conversies per seconde



Figuur 7: Sample rate

- Nyquist \rightarrow Minimale sample rate = 2x de frequentie van het signaal

- Voorbeelden:
 - HiFi Audio CD: 44.1kHz sample rate
 - Oude telefoontoestellen: 8kHz sample rate
 - HD-DVD Audio: 192kHz

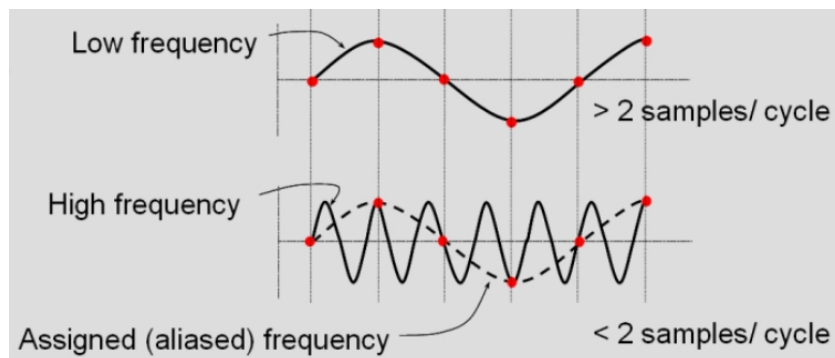


Figuur 8: Minimale sample rate

5.1.4 Aliasing

= HF signaal als LF 'spooksignaal' detecteren

- Treedt op bij onvoldoende hoge sample rate
- Anti-Aliasing filter (low-pass filter) beperkt signaal onder nyquist frequentie



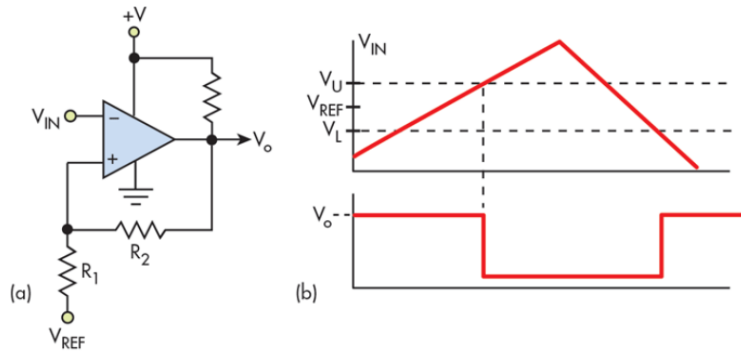
Figuur 9: Anti-aliasing filter

5.1.5 Oversampling

- Sampelen met veelvoud van nyquist frequentie
- Kan worden gebruikt om de resolutie op te voeren
- Kan worden gebruikt om digitaal (DSP) te filteren
- Verhoogt het effectieve aantal bits van de ADC
 - Voorbeeld: 20bit ADC met 256x OS = 24bit effectieve resolutie
- Undersampling → specifiek gebruik bij mixers

5.1.6 Implementatie en types

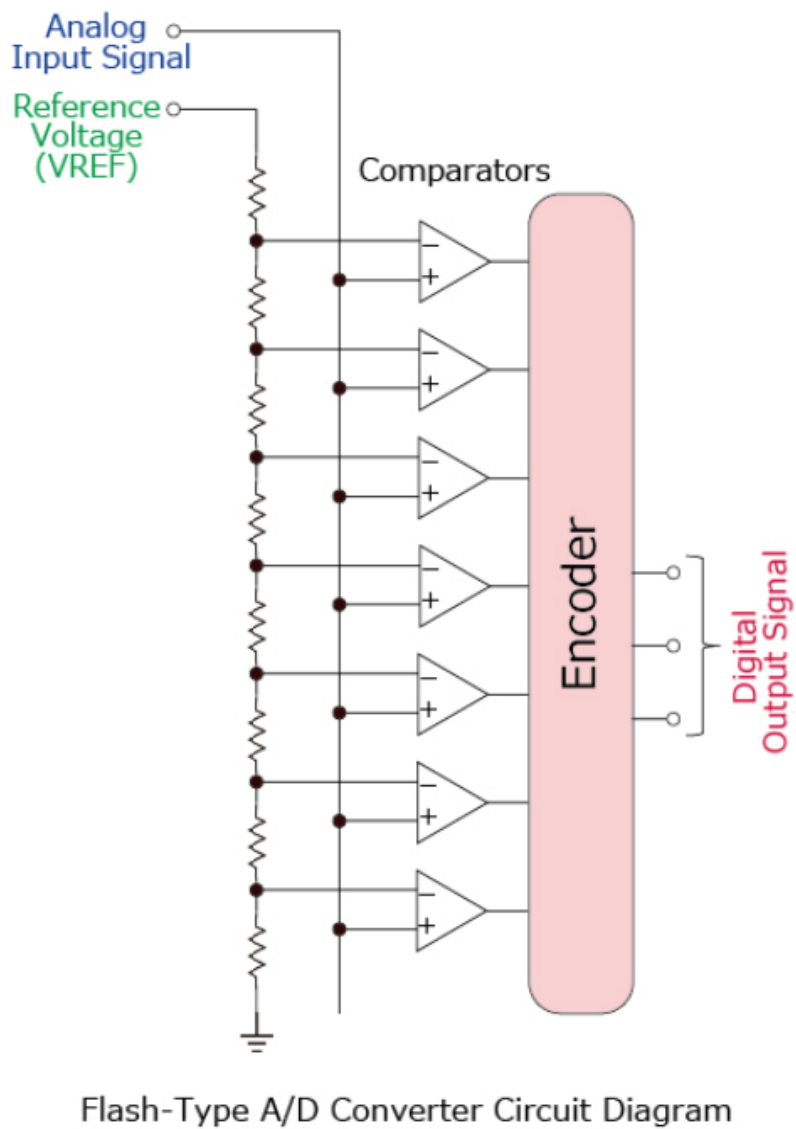
- De comparator
- Bekeken als 1-bit ADC



Figuur 10: Comparator

5.1.7 Flash ADC

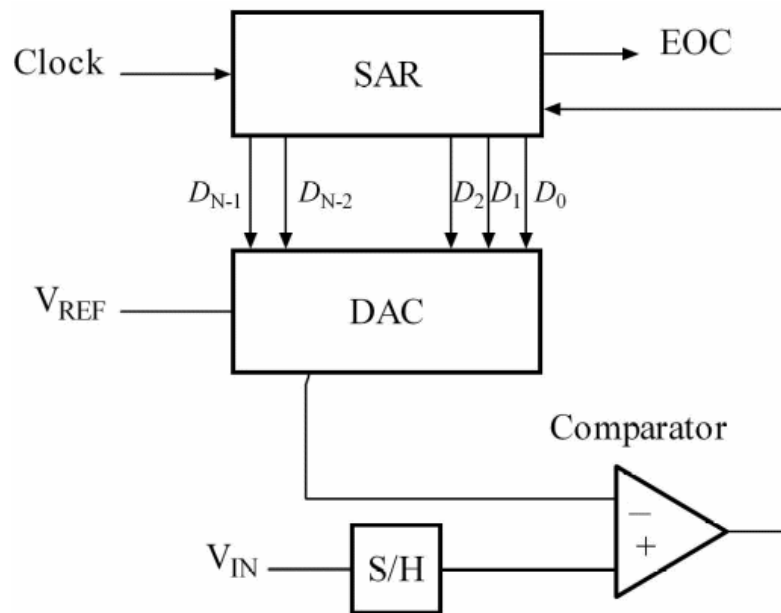
- Comparator per 'level'
- Zeer snel = directe omzetting
- Complex & High power
- Lagere resoluties



Figuur 11: Flash ADC

5.1.8 Successive approximation ADC

- Gebruikt 1 comparator
- Vergelijkt een opgewekte spanning met het signaal
- Hoge resolutie mogelijk
- Trager
- Relatief goedkoop



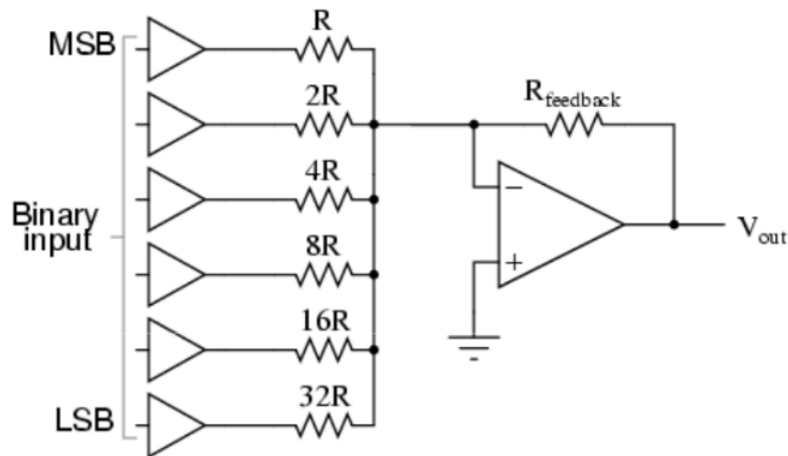
Figuur 12: Successive approximation ADC

5.2 Digitaal naar analoog conversie

- Omzetten digitale naar analoge waarde
- Range
- Resolutie
- Samplefrequentie

5.2.1 Simpele DAC

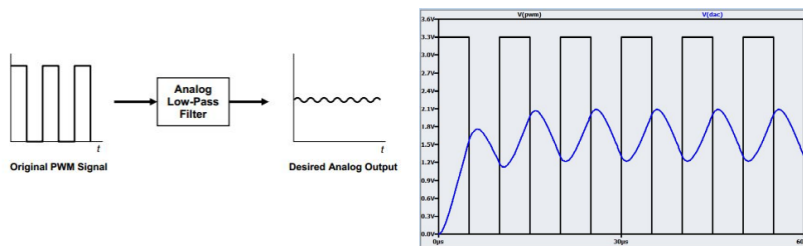
- Binair \rightarrow analoge waarde
- Voorbeeld weerstandsnetwerk



Figuur 13: Weerstandsnetwork

5.2.2 Simpele DAC adhv PWM

- PWM == digitaal signaal
- Door variatie van duty-cycle kan de gemiddelde waarde worden gevarieerd
- Door filteren kan de blokgolf worden omgezet in een variabele analoge waarde



Figuur 14: DAC met PWM

5.2.3 Andere types

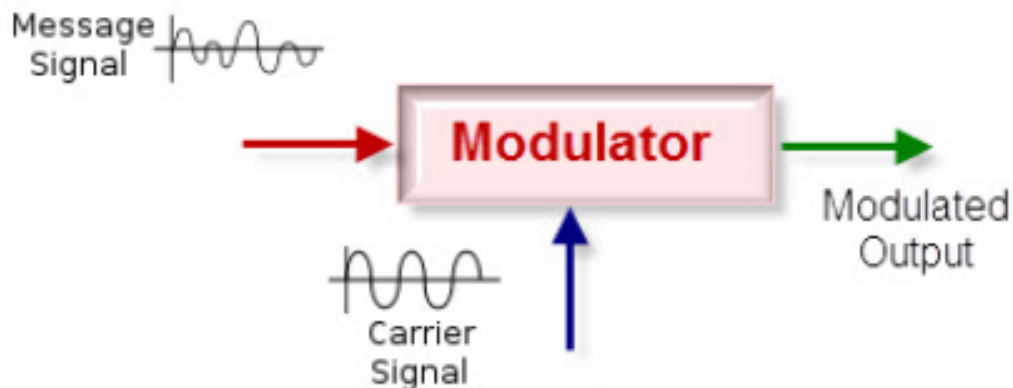
- $\Sigma\Delta$
- I^2S DAC
- Nog zeer veel andere overwegingen:
 - THD (Harmonische vervorming)
 - Faseruis
 - ...

5.2.4 Nalezen:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Digital-to-analog_converter
- https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter
- https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem
- https://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist_rate
- https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation
- https://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma_modulation

6 Modulatie

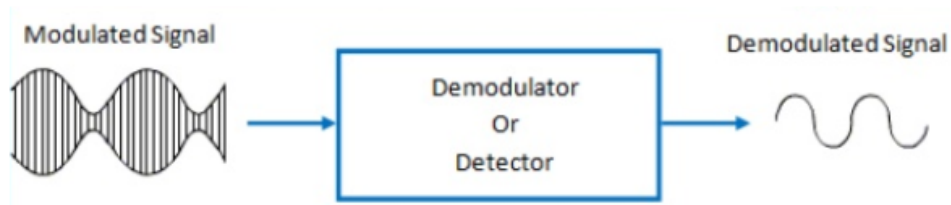
- Informatie toevoegen aan een draaggolf
- Door de variatie van minstens een van de eigenschappen van deze draaggolf



Figuur 15: Modulatie

6.1 Demodulatie

= Het terugwinnen van de informatie uit de gemoduleerde draaggolf



Figuur 16: Demodulatie

6.2 Modem

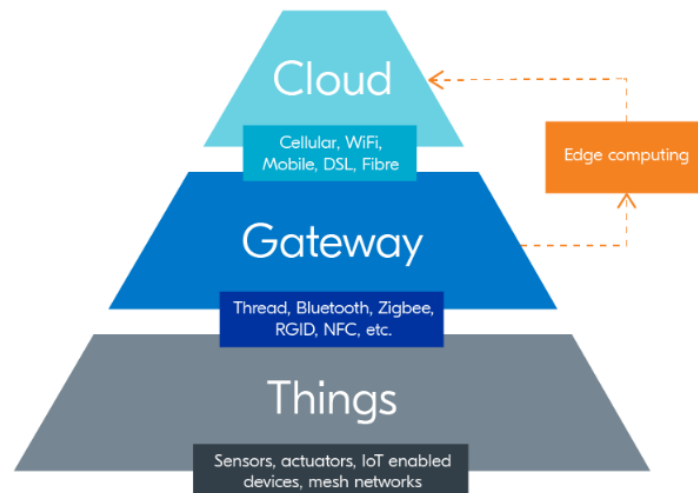
= **M**odulator + **D**emodulator



Figuur 17: Modem

6.3 Waarom?

- Interconnectie van IoT devices
- Vaak draadloos



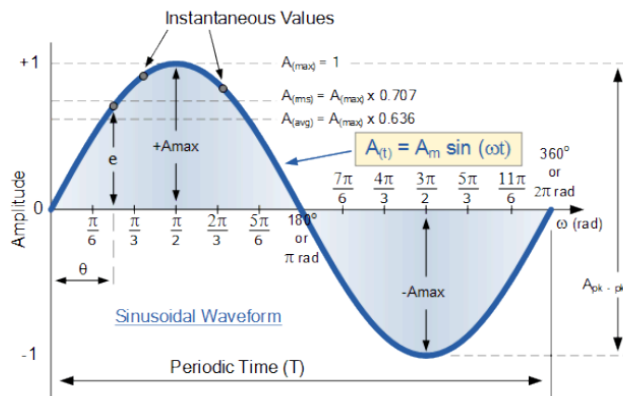
Figuur 18

6.4 Hoe?

- Draaggolf of carrier
- Signaal met een zekere (hogere) frequentie

6.5 Draaggolf

= carrier

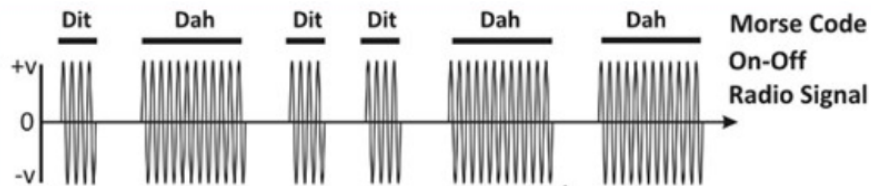


Figuur 19: Draaggolf

- Amplitude
- Frequentie / Periode

6.6 Simpel

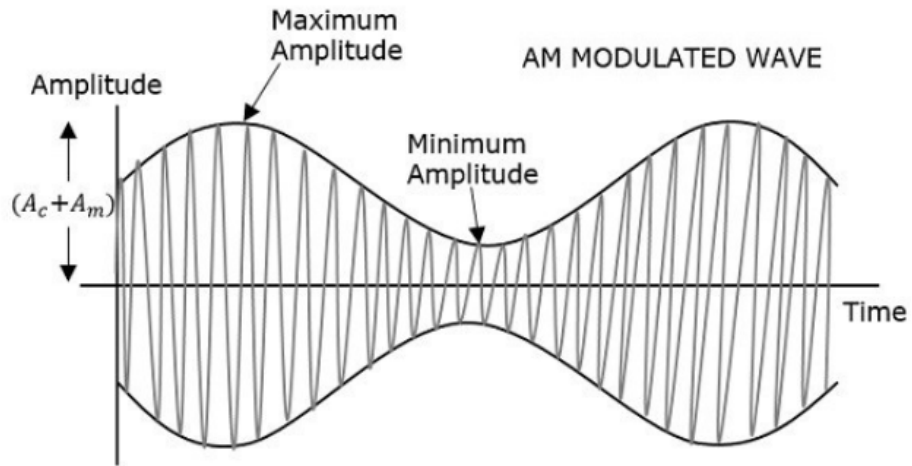
- Aan/uit schakelen van de draaggolf
- CW = continuous wave
- Bv: Morse code



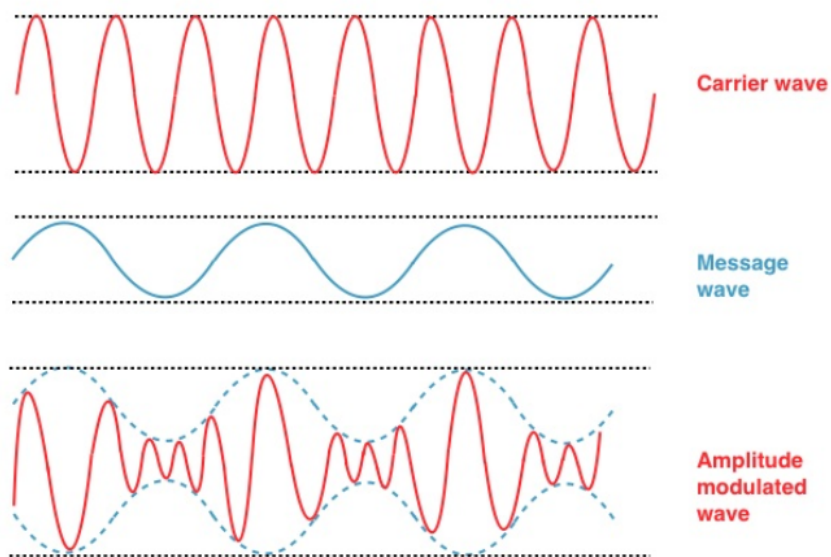
Figuur 20: Morse code

6.7 Amplitude modulatie (=AM)

- Aanpassen van de amplitude v/d draaggolf



Figuur 21: Amplitudemodulatie (1)

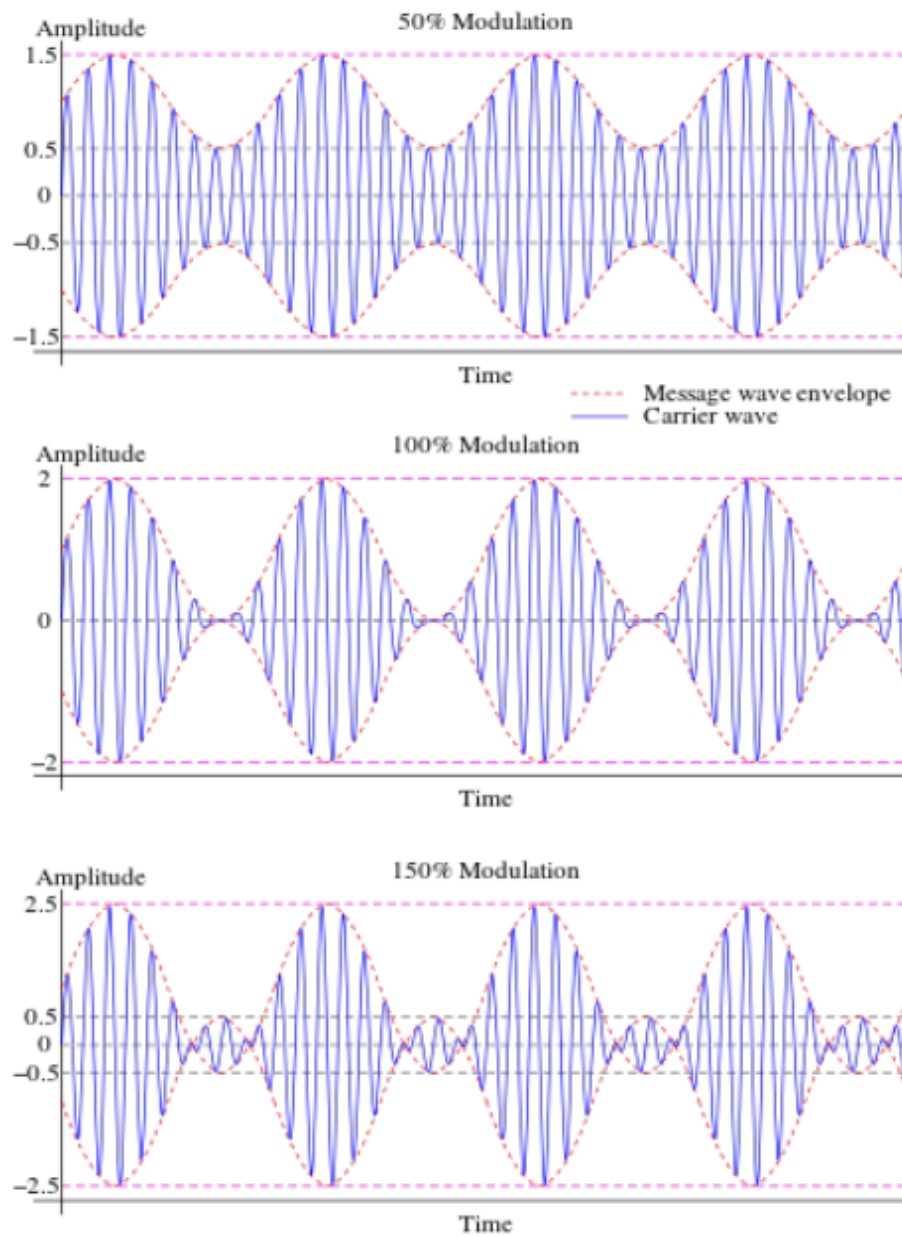


Figuur 22: Amplitudemodulatie (2)

- Radio LW/MW/SW AM
- Typisch gebruikt op 'lagere' HF banden: 100kHz - 60MHz

6.7.1 Overmodulatie

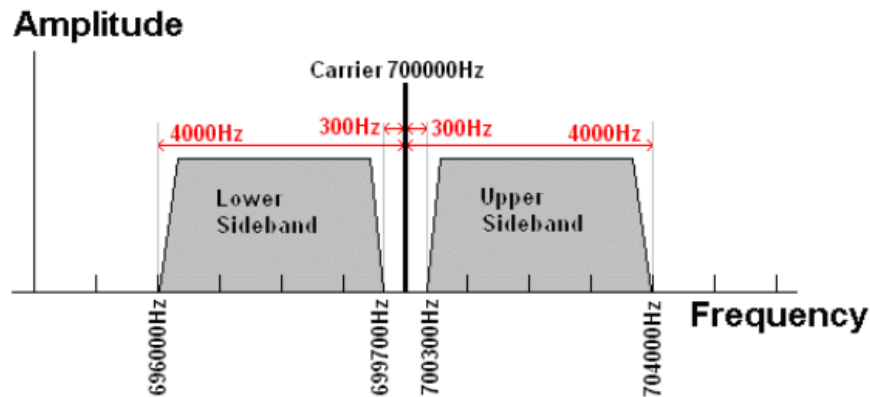
- Modulatiediepte (modulatie index)



Figuur 23: Overmodulatie

6.8 AM bandbreedte

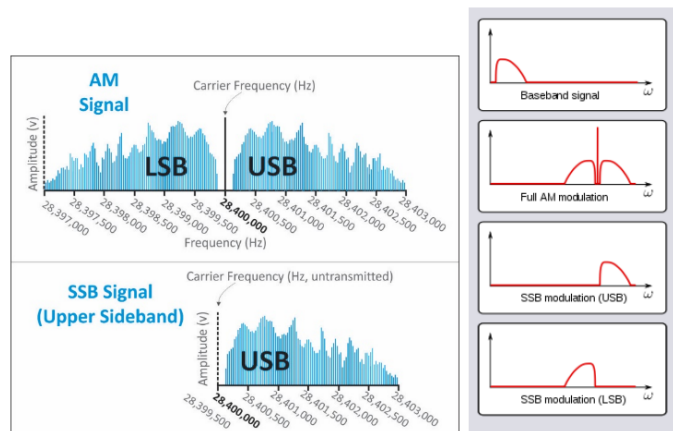
- Bandbreedte van een AM signaal:
 - Centerfrequentie = draaggolffrequentie
 - 2x frequentie van gemoduleerd signaal in totaal



Figuur 24

6.9 SSB modulatie (USB/LSB)

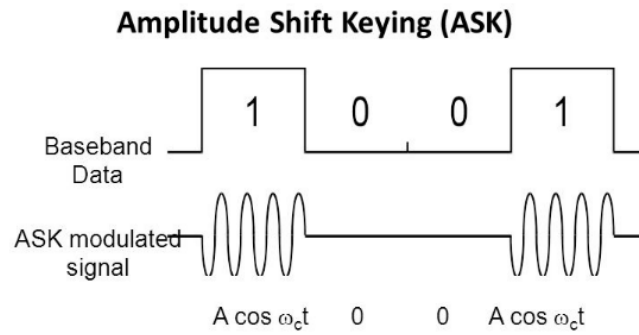
- Alle informatie zit in elke sideband (zijband) bij AM
- Carrier + een sideband wegfilteren = reductie van de bandbreedte
- Efficiënter gebruik van het spectrum
- Moeilijk om goed te demoduleren



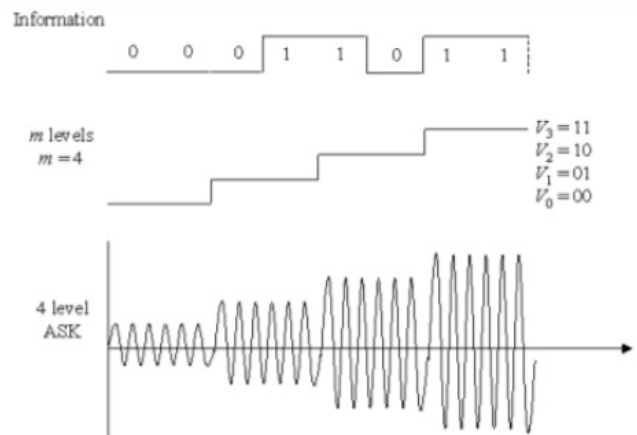
Figuur 25

6.10 ASK Modulatie

- Amplitude shift keying
- Vorm van AM-modulatie voor digitale signalen
- Mogelijk met meerdere signaalniveaus
- 4-level ASK



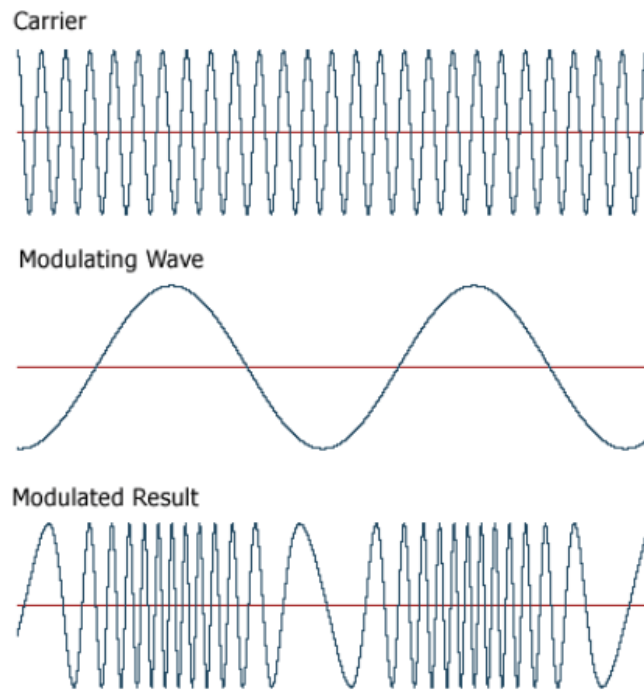
Figuur 26: ASK



Figuur 27: 4 level ASK

6.11 Frequentie modulatie

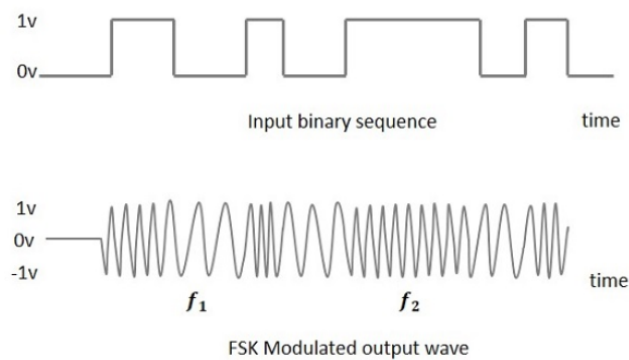
- Variatie in de frequentie van de draaggolf
- FM radio 88MHz - 108MHz
- VHF Maritieme radio
- UHF PMR Radios



Figuur 28: Frequentiemodulatie

6.12 FSK modulatie

- Frequency Shift Keying
- Vorm van FM
- Wisselen tussen 2 of meer frequenties

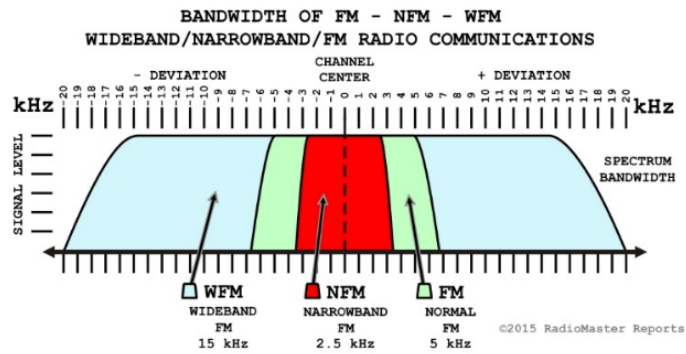


Figuur 29: FSK

6.13 FM Modulatie

- Carrier is altijd op 100% amplitude aanwezig tijdens transmissie

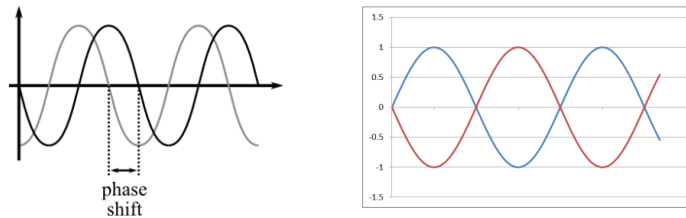
- Minder ruis, betere kwaliteit voor audio dan AM
- Hogere bandbreedte \Rightarrow Meer stroomverbruik
- WFM (Wide FM), NFM (Narrow FM), FM



Figuur 30: Bandbreedte FM - NFM - WFM

6.14 Fase modulatie

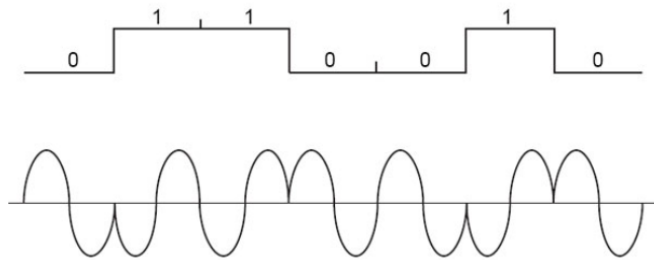
- Faseverschuiving van een signaal



Figuur 31: Faseverschuiving

6.15 PSK modulatie

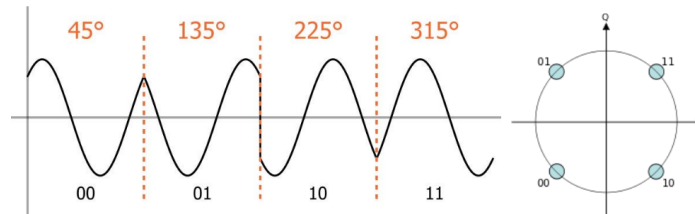
- Phase shift keying
- Bij wisselen van bit \Rightarrow fase omkeren



Figuur 32: Fasemodulatie

6.16 Phase Shift Modulatie

- BPSK \Rightarrow Binary PSK = 2 fase
- QPSK \Rightarrow Quadrature PSK = 4 fase



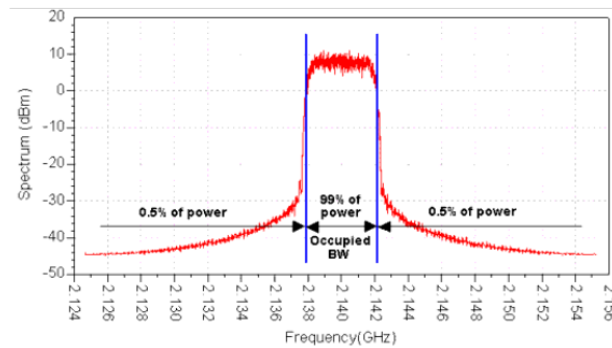
Figuur 33

6.17 QAM modulatie

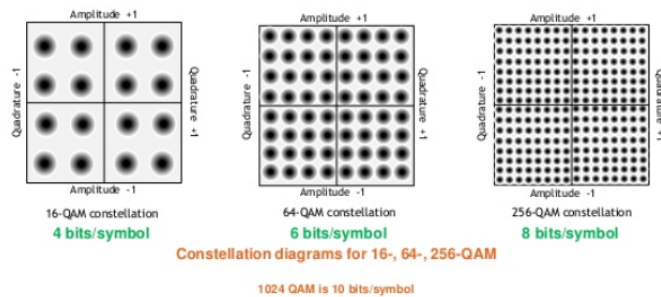
- Quadrature amplitude modulatie
- Informatie zit ...
 - de amplitude (zoals bij ASK)
 - de fase (zoals bij PSK)
- Meerdere symbolen
 - 4-QAM
 - 16-QAM
 - 64-QAM
 - ...
- DAB+ \Rightarrow 4/16/64 - QAM
- Hogere transmissiesnelheid
- Gevoeliger voor fouten

6.18 Bandbreedte / vermogen

- Meer bandbreedte = hogere snelheid
- Meer bandbreedte = hoger vermogen nodig



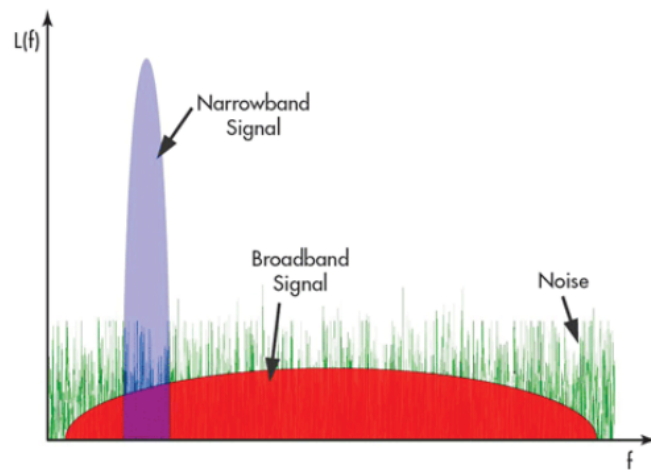
Figuur 34



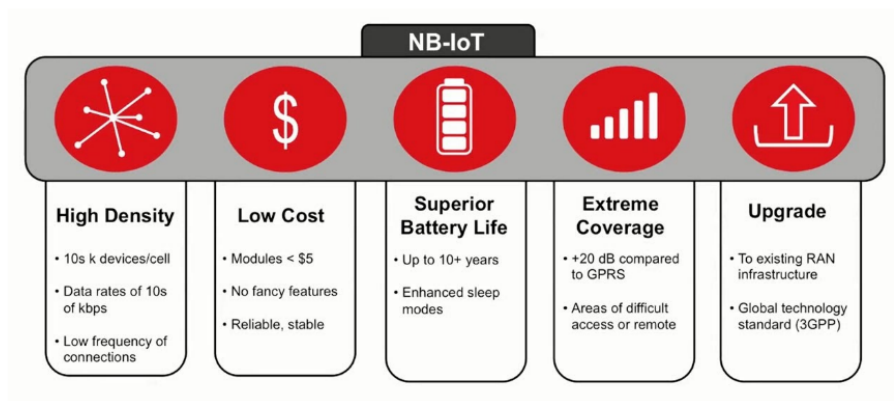
Figuur 35

6.19 Waarom Narrow-band

- Oppervlakte van het signaal = Power
- Bij smalbandige signalen \Rightarrow betere SNR (signaal-naar-ruis) verhouding bij hetzelfde vermogen
- Om met een klein vermogen heel grote afstanden overbruggen
- Zeer traag



Figuur 36: Waarom Narrow-band: narrow-band kan makkelijker boven ruisniveau



Figuur 37: Voorbeeld: NB-IoT



Figuur 38: Voorbeeld: Telefoonmodem (<https://www.youtube.com/watch?v=ckc6XSSh52w>)