

Lesstof tentamen HARONT

Michel Vollmuller

January 20, 2024

Contents

1	Hoogfrequent	2
1.1	les 1 Elektromagnetische golven	2
1.1.1	Overdracht	2
1.1.2	Golflengte	3
1.1.3	Verkortingsfactor	3
1.1.4	Impedantie	4
1.1.5	Afsluiten van transmissielijnen	4
1.1.6	Pulsechometing	5
1.1.7	decibel	6
1.2	les 2 Analoge modulatie	7
1.2.1	Moduleren	7
1.2.2	Single Side Band (SSB)	9
1.2.3	Frequentie Modulatie (FM)	10
1.3	les 3 Digitale modulatie	11
1.3.1	Amplitude Shift Keying 'ASK'	11
1.3.2	Phase Shift Keying 'PSK,QPSK'	11
1.3.3	Klokextractie	12
1.3.4	Quadrature Amplitude Modulation 'QAM'	13
1.3.5	Transmissiepad en Parameters	13
1.3.6	LoRa	14
1.4	les 4 Antennetheorie	15
1.4.1	Free Space Path Loss	17
1.4.2	Antenne	17
2	Laagfrequent	19
2.1	les 1	19
2.2	les 2	19
2.3	les 3	19
2.4	les 4	19

1 Hoogfrequent

1.1 les 1 Elektromagnetische golven

Date : 1 december 2023

1.1.1 Overdracht

Een elektromagnetische golf plant zich voor in vacuüm(ether) met de lichtsnelheid. In een kabel (koper/optisch) plant de golf zich met een lagere snelheid voort dan de lichtsnelheid.

- Een EM golf bestaat uit een elektrisch en magnetisch veld.
- Het elektrische en magnetische veld staan loodrecht ten opzichte van elkaar.
- De richting van het elektrische veld wordt de polarisatierichting genoemd.
- $\lambda = c/f$

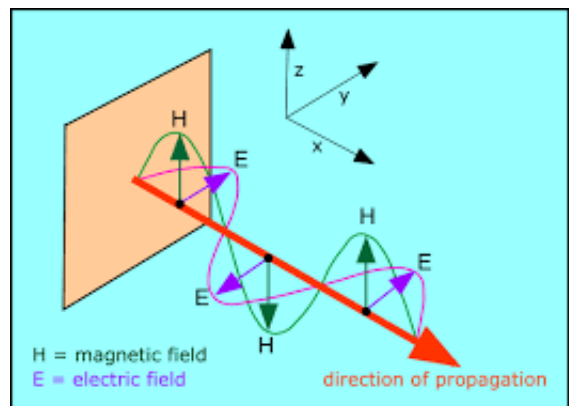


Figure 1: EM Signaal.

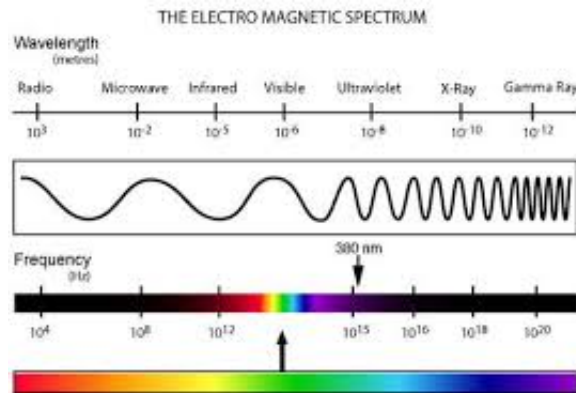


Figure 2: Elektromagnetisch spectrum

1.1.2 Golflengte

Voortplantingssnelheid in de vrije ruimte, wordt lichtsnelheid 'c' genoemd en is 3.108 m/s. Het verband tussen de golflengte en de frequentie: $\lambda = c/f$

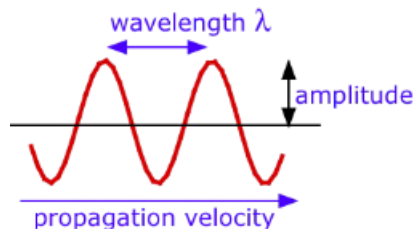


Figure 3: Golflengte

1.1.3 Verkortingsfactor

De voortplantingssnelheid in een medium. Dus bijvoorbeeld een kabel of fiber is lager.

in vacuum geldt $c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$

waarin ϵ_0 de elektrische veldconstante is

waarin μ_0 de magnetische veldconstante is

In een kabel zijn deze constanten hoger waardoor de snelheid lager wordt. Deze verlaging wordt de Verkortingsfactor genoemd. De Verkortingsfactor van bijvoorbeeld een coaxkabel is $2/3$.

Een Verkortingsfactor heeft gevolgen voor de golflengte in de kabel! Je moet hier bij de volgende zaken rekening mee houden:

- Board design, lengte van printsporen
- Antenne-afmetingen
- Lichtbreking (fiber communication)

1.1.4 Impedantie

De impedantie (Z) wordt gegeven door de som van de reële component (R), ook wel de weerstand genoemd, en de imaginaire component (jX), ook wel reactantie genoemd. Deze reactantie kan inductief of capacitief zijn.

$$Z = R + jX$$

Waarbij:

R : Reële component (weerstand)

jX : Imaginaire component (reactantie)

De karakteristieke impedantie (Z_0) van een kabel of vierpool is de impedantie die aan de ingang gelijk wordt aan de impedantie waarmee je de uitgang afsluit. Wanneer je hieraan voldoet, heb je op alle punten de juiste aanpassing en dus optimale vermogensoverdracht!

$$Z_0$$

Z_{kar} van een kabel:

Een klein stukje kabel is voor te stellen als een vierpool:

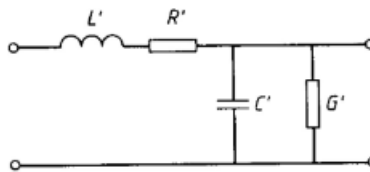


Figure 4: Vierpool

Voor een verliesvrije kabel geldt $R=0$ en $G=\infty$

$$Z_{kar} = \sqrt{L/C}$$

1.1.5 Afsluiten van transmissielijnen

We willen een maximale vermogensoverdracht van een bron naar een belasting bereiken wanneer de impedantie van de bron (Z_i) gelijk is aan de impedantie van de belasting (Z_l). Wanneer dit niet het geval is, treedt bij hoogfrequente signalen reflectie op.

Deze situatie heeft twee ongewenste gevolgen:

1. Vermogensverlies
2. Mogelijke beschadiging van de zender (eindtrap) door extra dissipatie van gereflecteerd vermogen. Dit kan leiden tot oververhitting. Meer geavanceerde systemen zijn vaak beschermd tegen dergelijke situaties.

karakteristiek korgesloten = Alle energie komt terug. De spanning wordt gereflecteerd in tegenfase.



Figure 5: karakteristiek kortgesloten

karakteristiek open = Alle energie komt terug. De spanning wordt gereflecteerd in fase.



Figure 6: karakteristiek open

1.1.6 Pulsechometing

Pulseecho-metingen of een Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) worden gebruikt bij glasvezelkabels. Op de positie van de breuk bevindt zich in feite een open uiteinde (de energie komt terug!). Door de tijd te meten tussen de verstuurde en gereflecteerde puls is de positie van de breuk vast te stellen! De essentiële parameter van een kabel die hiervoor nodig is, is de verkortingsfactor; deze bepaalt de snelheid van de elektromagnetische golf in de kabel (c).

1.1.7 decibel

1. Vermogen in dB:

De formule voor het berekenen van vermogen in dB is:

$$P_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

Hierbij is:

- P_{dB} het vermogen in decibel (dB)
- P het vermogen waarvan je de dB-waarde wilt berekenen
- P_0 een referentievermogen (vaak 1 mW of 1 μ W, afhankelijk van de context)

2. Spanning in dB:

De formule voor het berekenen van spanning in dB is:

$$V_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V}{V_0} \right)$$

Hierbij is:

- V_{dB} de spanning in decibel (dB)
- V de spanning waarvan je de dB-waarde wilt berekenen
- V_0 een referentiespanning (vaak 1 mV of 1 μ V, afhankelijk van de context)

- Wat is dBm?

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$$

- Wat is dBi?

- Decibels ten opzichte van een isotrope straler.
- Isotrope straler? (Komen we nog op terug)

- En dBd?

- Decibels ten opzichte van een dipool. (Komen we ook nog op terug)

1.2 les 2 Analoge modulatie

Date : 8 december 2023

1.2.1 Moduleren

Het aanbrengen van informatie in een draaggolf wordt vaak gemodelleerd als:

$$U_c(t) = \hat{U}_c \cdot \cos(2\pi f_c t + \alpha)$$

waarbij:

- $U_c(t)$ de gemoduleerde draaggolf is,
- \hat{U}_c de amplitude van de draaggolf,
- f_c de frequentie van de draaggolf,
- α de fasehoek.

Amplitude Modulatie (AM) houdt in dat de amplitude \hat{U}_c wordt gevarieerd.
Frequentiemodulatie (FM) houdt in dat de frequentie f_c wordt gevarieerd.
Phasemodulatie (PM) houdt in dat de fasehoek α wordt gevarieerd.

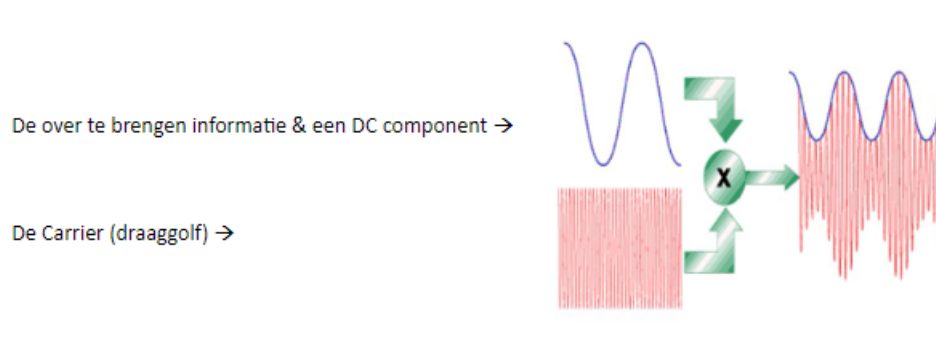


Figure 7: Amplitude Modulatie

Modulatiediepte (m) geeft aan hoe sterk er gemoduleerd wordt en wordt bepaald door:

$$m = \frac{\hat{U}_m}{\hat{U}_c} \times 100\%$$

waarbij:

- m de modulatiediepte is,
- \hat{U}_m de amplitude van het informatiesignaal is,
- \hat{U}_c de amplitude van het carriersignaal is.

In het frequentiespectrum ontstaan drie frequentiecomponenten (wanneer het informatiesignaal uit slechts één frequentie bestaat):

1. De carrierfrequentie f_c
2. Zijband 1: $f_c + f_m$
3. Zijband 2: $f_c - f_m$

waarbij:

- f_c de draaggolf frequentie is,
- f_m de frequentie van het informatiesignaal is.

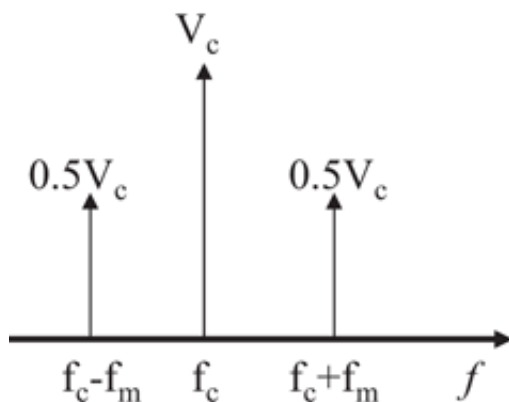


Figure 8: Frequent AM

Het vermogenspectrum is als volgt te bepalen:

- Voor de Carrier geldt:

$$P_c = \left(\frac{\hat{U}_c}{\sqrt{2}} \right)^2 \div R_{\text{load}} \text{ (Watt)}$$

- Voor elke van de zijbanden geldt:

$$P_{zb} = \left(\frac{m\hat{U}_c}{2\sqrt{2}} \right)^2 \div R_{\text{load}} = \frac{m^2}{4} \cdot \left(\frac{\hat{U}_c}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{P_c \cdot m^2}{4}$$

waarbij:

- P_c het vermogen van de carrier is,

- P_{zb} het vermogen van elke zijband is,
- \hat{U}_c de amplitude van het carriersignaal is,
- m de modulatie diepte is,
- R_{load} de belastingsweerstand is.

Wat zijn de voordelen van AM?

- Eenvoudige demodulatie.
- De carrier is altijd aanwezig en afstembaar.

Wat zijn de nadelen van AM?

- Storingsgevoeligheid (amplitude).
- Relatief veel vermogen waarin geen informatie zit.

1.2.2 Single Side Band (SSB)

Single Side Band (SSB) is een modulatietechniek die wordt gebruikt in communicatiesystemen. In SSB wordt slechts één zijband van het gemoduleerde signaal overgedragen, samen met de draaggolf, in plaats van beide zijbanden zoals bij Amplitude Modulatie (AM).

De wiskundige representatie van een SSB-signaal is als volgt:

$$U(t) = A_c \cdot m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t)$$

waarbij:

- $U(t)$ is het SSB-signaal,
- A_c is de amplitude van de draaggolf,
- $m(t)$ is het informatiesignaal,
- f_c is de frequentie van de draaggolf.

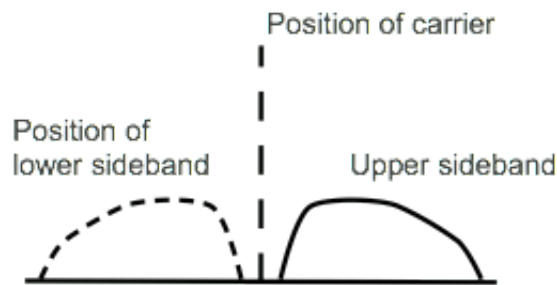


Figure 9: single side band overview

De voordelen van SSB zijn onder andere een efficiënter gebruik van het radiospectrum en verminderde vermogensvereisten. Echter, demodulatie van SSB vereist complexere apparatuur in vergelijking met AM.

1.2.3 Frequentie Modulatie (FM)

FM is een goed alternatief voor AM.

Voordelen:

- Minder storingsgevoelig, informatie zit niet in de amplitude.
- Constant vermogen.

Nadelen:

- Grotere bandbreedte.
- Complexere hardware.

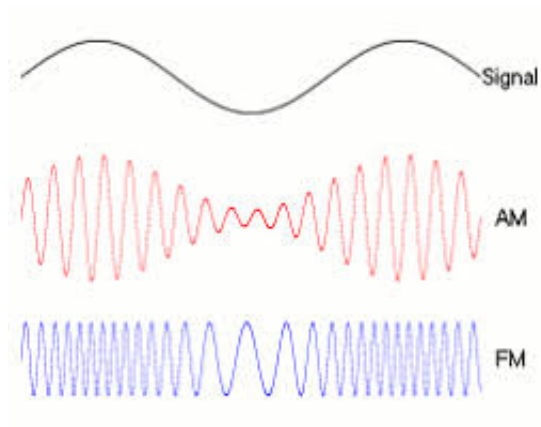


Figure 10: FM vs AM

1.3 les 3 Digitale modulatie

Date : 14 december 2023

1.3.1 Amplitude Shift Keying 'ASK'

Voordelen:

- Eenvoudig en goedkoop.
- Weinig bandbreedte nodig.

Nadelen:

- Referentieniveau is lastig vast te stellen.
- Gevoelig voor amplitudeverstoring (overeenkomstig met AM).

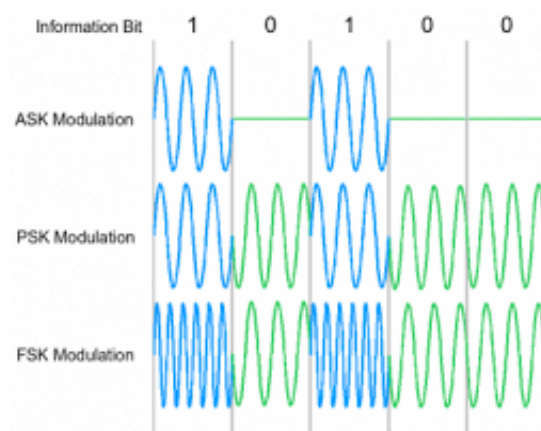


Figure 11: Vormen van modulatie

1.3.2 Phase Shift Keying 'PSK,QPSK'

Er zijn verschillende methodes van PSK zoals:

- Binaire Phase Shift Keying ('BPSK') \Rightarrow 1-bit symbool
- Quadrature Phase Shift Keying ('QPSK') \Rightarrow 2-bit symbool
- Enzv.

BPSK is de eenvoudigste vorm van PSK met '1 bit per symbool'. Het constellatiediagram (IQ) van BPSK ziet er als volgt uit:

- Een '1' $\Rightarrow 0^\circ$
- Een '0' $\Rightarrow 180^\circ$

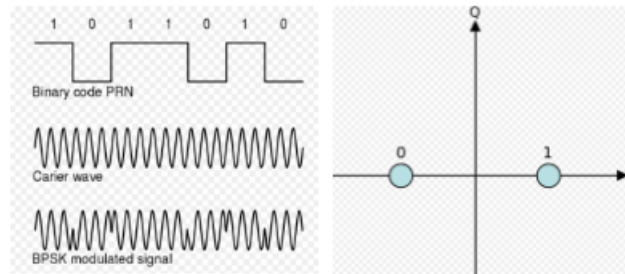


Figure 12: BPSK

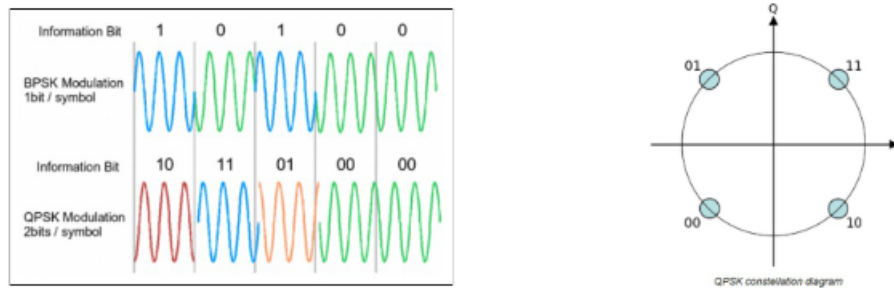


Figure 13: Quadrature Phase Shift Keying

1.3.3 Klokextractie

Klokextractie vs. Demodulatie

- Om de verzonden data uit het gemoduleerde signaal te kunnen halen, is het noodzakelijk om de klokfrequentie waarmee verzonden is te kennen, de 'sample frequentie'.
- Dit proces noemen we klokextractie, waarbij de ontvanger wordt gesynchroniseerd met de zender.
- Wanneer er voldoende veranderingen in het gemoduleerde signaal aanwezig zijn, is het mogelijk de zendklok te extraheren uit het gemoduleerde signaal. De veranderingen in het gemoduleerde signaal corresponderen namelijk met de zendklok frequentie.

Klokextractie vs. Preamble

- In de preamble kan vaak ook de klokfrequentie worden verkregen.
- Wat is dan een Preamble?

Voor een goede demodulatie is het dus noodzakelijk dat de ontvangstklok dezelfde frequentie krijgt als de zendklok. Nog belangrijker is dat de fase van de ontvangstklok in orde is!

1.3.4 Quedrature Amplitude Modulation 'QAM'

PSK is praktisch te gebruiken met maximaal 8 fases. Om meerdere levels te kunnen gebruiken wordt QAM toegepast. Hierbij wordt een combinatie van amplitude en fasesprongen gemaakt.

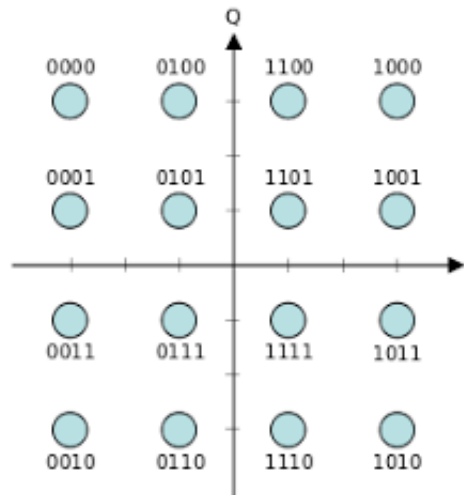


Figure 14: Constellatie

Modulatie	Bits per Symbool
BPSK	1
QPSK	2
8 PSK	3
16 QAM	4
32 QAM	5
64 QAM	6
256 QAM	8

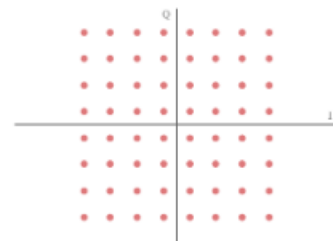


Figure 15: Digitale modulatie: overzicht

1.3.5 Transmissiepad en Parameters

- Zendvermogen: Het uitgangsvermogen van de zendunit, meestal uitgedrukt in dBm.
- RSSI 'Received Signal Strength Indicator': Het gemeten ontvangstniveau

in de ontvangstunit. Meestal uitgedrukt in dBm. Met meer symbolen krijg je ook een hogere RSSI

- Receive Level: Meestal wordt hier een range mee aangeduid waarbinnen het ontvangstniveau moet liggen.
- S/R: ratio geeft de Signal to Noise Ratio aan. Meestal wordt van de ontvanger opgegeven welke S/R nodig is om een bepaalde BER te garanderen. De S/R wordt uitgedrukt in dB.
- Bandwidth: De bandbreedte van het RF signaal dat uit de zender komt.
- BER: Bit Error Rate is de verhouding tussen het aantal foute ontvangen bits ten opzichte van het totaal aantal ontvangen bits. $BER = (\text{aantal foutieve bits}) / (\text{totaal aantal ontvangen bits})$
- Interference: Verstoring van het ontvangstsignaal door andere zenders of door multipathfading.
- Attenuation (verzwakking): Damping die optreedt door bijvoorbeeld kabels, connectoren en de free space los.
- Phasedistortion: Fasevervalsing die ontstaat door een verschil in looptijd(snelheid) van de aanwezige frequentiecomponenten in een pulsvorming signaal (dispersie).

1.3.6 LoRa

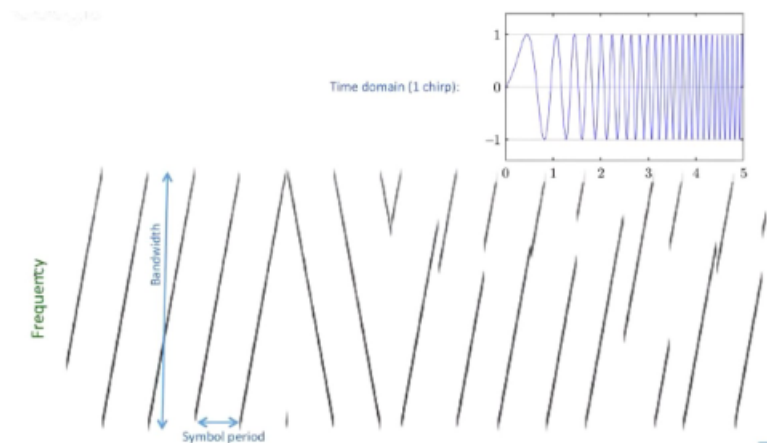


Figure 16: LoRa

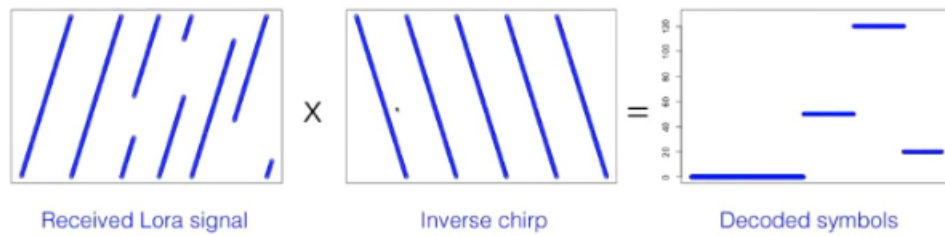


Figure 17: LoRa

1.4 les 4 Antennetheorie

Date : 19 januari 2024

De radiogolf (elektromagnetische golf) ondervindt de volgende verstoringen:

- Absorptie: Vooral bij frequenties boven 4 GHz.
- Diffractie: Verstoring door objecten in het radiopad.
- Obstructie: Onderbreking van het signaal door een object.
- Multipath fading: Ongewenste reflecties van het radiosignaal die bij de ontvanger binnenkomen via een andere weg.
- Reflecties via ionosfeer en troposfeer ($f < 30$ MHz).
- Free Space Path Loss, vrije ruimte demping.

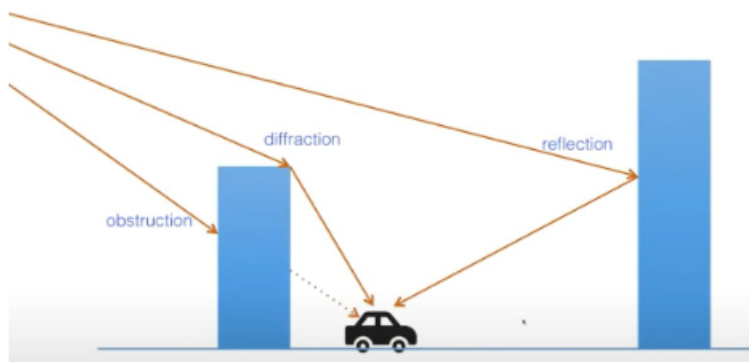


Figure 18: multipathfading

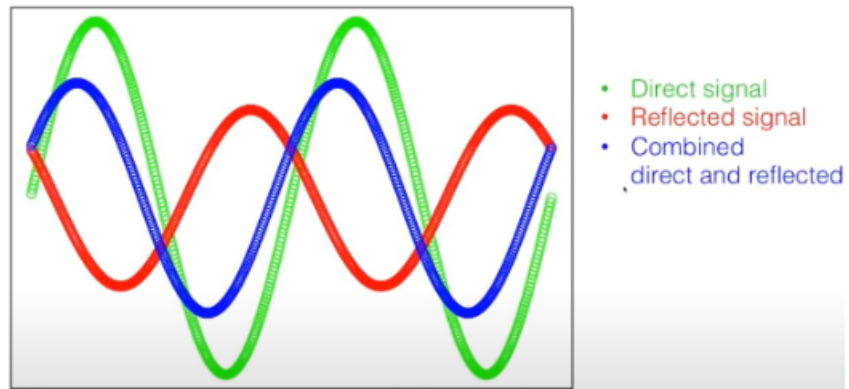


Figure 19: multipathfading

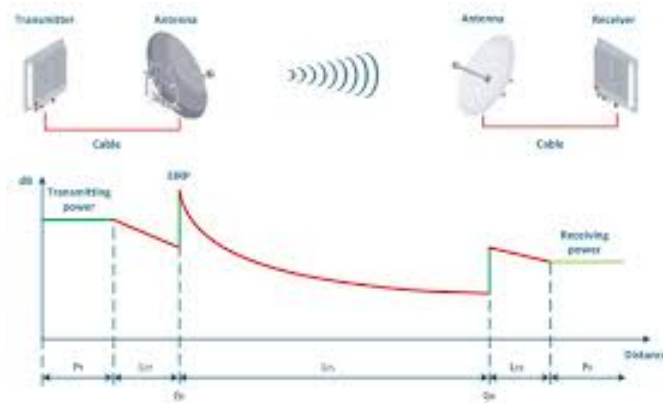


Figure 20: Link Budget

1.4.1 Free Space Path Loss

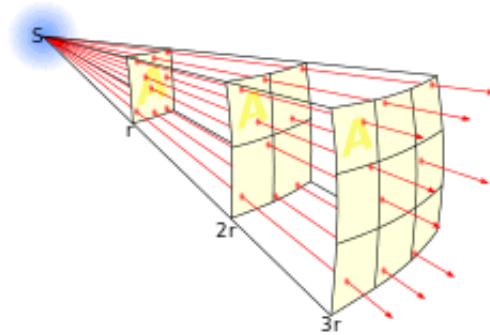


Figure 21: free path space loss

Het bereik van een draadloze verbinding wordt in grote mate beperkt door de Free Space Path Loss (FSPL).

- Er gaat geen energie verloren, maar de energie verdeelt zich over het oppervlak.
- Bij FSPL wordt uitgegaan van een isotrope straler.
- Deze antenne straalt het signaal in alle richtingen met gelijke sterkte uit.

$$\text{FSPL} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad (d = \text{afstand in meter})$$

Figure 22: FSPL Formule.

Wat is de FSPL(dB) voor een frequentie van 434 MHz en van 868 MHz op bijv. een afstand van 500 meter?

Wat valt je op aan het antwoord?

434 MHz = 79,2 dB

868 MHz = 85,2 dB

Een frequentieverdubbeling leidt tot 6dB (vierdeling) extra demping.

1.4.2 Antenne

De antenne zorgt voor: De uitstaling van de radiogolf in de gewenste richting, daardoor mogelijk ook voor compensatie van de FSPL. (De energie wordt gebundeld)

Een antenne heeft de volgende kenmerken:

- Ingangsimpedantie
- Gain en stralingsdiagram (radiation pattern)
- Afmeting
- Resonantiefrequentie

Antenne impedantie

De antenne is te beschouwen als een resonantiekring.

- Op de resonantiefrequentie is de impedantie in Ohms. Deze impedantie wordt bepaald door het type antenne en het gebruikte materiaal. Veelvoorkomend is een impedantie van 50 Ohm.
- Belangrijk is dat deze impedantie overeenkomt met de feeder (kabel) impedantie en de zender/ontvanger impedantie. Wanneer deze impedantie niet overeenkomt, treedt er reflectie op.

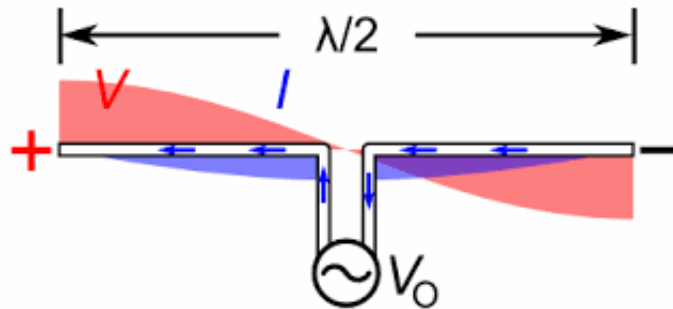


Figure 23: De halve golf dipoolantenne in resonantie

We beperken ons tot een veelgebruikt type: de halve golf dipool. De lengte is ongeveer $0,95 \times \frac{\lambda}{2}$ (de 0,95 is de verkortingsfactor van het antennemateriaal). In een medium is $\lambda = \frac{c \cdot k}{f}$ (waarbij k de verkortingsfactor van het materiaal van de antenne is).

De polarisatie wordt bepaald door de positie van de straler (dipool), deze bepaald het elektrische veld. Typen polarisatie: Horizontaal, verticaal, circulair

2 Laagfrequent

2.1 les 1

2.2 les 2

2.3 les 3

2.4 les 4