

7 Transmissiemedia

7.1 Elektrische opbouw van een transmissiekabel

Leerplandoelstellingen:

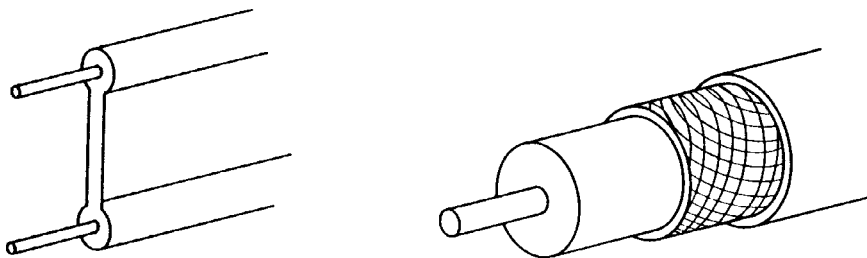
- ⇒ Defenietie "karakteristieke impedantie" en "genormeerde impedantie" verklaren.
- ⇒ Het begrip dB, dBm en dBuV toepassen.
- ⇒ Verschil tussen "lange lijn" en "energielijn" weergeven.
- ⇒ Verband tussen frequentie (golflengte) en fysische kabellengte bespreken.

http://www.kuleuven.ac.be/bwf/onderwijs/basis/N_besp_staa_golf_1.htm

7.1.1 Het HF - signaal als lopende golf:

Het transport van HF-signalen gebeurt door transmissiekabels of transmissieleidingen. De 2 belangrijkste uitvoeringen zijn (zie onderstaande fig.):

- De 2-draadslijn (*twin-lead*)
- Coax-kabel



Figuur 0.1

Om een stroom in een geleider te bekomen is een potentiaalverschil of een spanning nodig. De spanning U veroorzaakt een *elektrisch veld*, terwijl de stroom I een *magnetisch veld* doet ontstaan. Samen vormen ze het *elektro-magnetisch veld*.

Beide velden planten zich voort met een snelheid, afhankelijk van het medium:

$$v = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s in het luchtledige (c = snelheid van het licht)}$$

$$\text{in de meeste isolatiestoffen is } v < 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Als f en v gekend zijn kan men de lengte bepalen van 1 periode (=

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

golfengte λ):

Indien de kabellengte in de orde grootte van de golflengte komt, spreekt men van een "lange leiding"

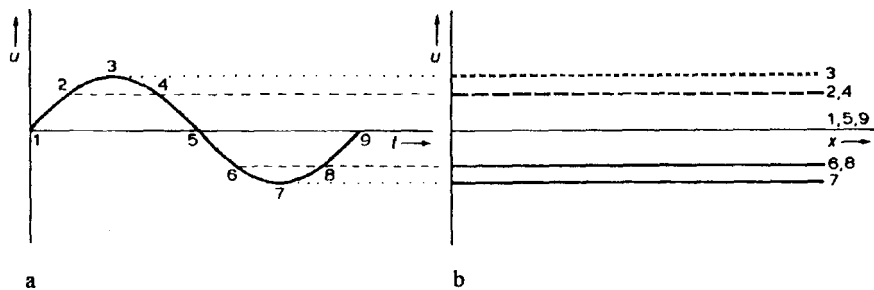
Vb.: LF-sigitaal (10 kHz) in een kabel met $v = 2 \cdot 10^8$ m/s

$$\lambda = \dots\dots\dots$$

In de praktijk zijn de LF-kabels niet zo lang, zodat "lange leidingen" praktisch uitsluitend voorkomen bij HF-signalen.

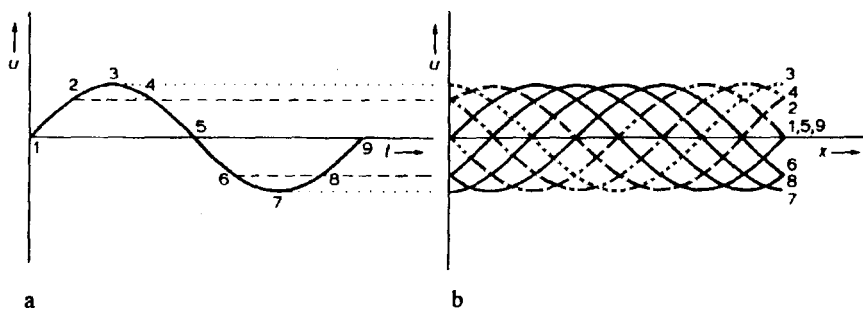
Het gedrag van een "lange leiding":

- Bij lage frequentie: de ogenblikspanning is op elk punt van de lijn gelijk ofwel $u = f(t)$, zoals de volgende figuur laat zien.



Figuur 0.2: gedrag bij lage frequentie.

- Bij $l \approx \lambda$ (= bij hoge freq.) speelt ook de plaats een rol: het golfpatroon beweegt zich als een "lopende golf" voort langs de kabel met een snelheid $v = v_{\text{kabel}}$ of in formulevorm $u = f(t, x)$, zoals te zien is in onderstaande figuur.



Figuur 0.3: gedrag bij hoge frequentie ($l \approx \lambda$)

7.1.2 De karakteristieke impedantie:

Zolang een lopende golf het einde van de kabel nog niet bereikt heeft, is de verhouding tussen de spanning U en de stroom I niet bepaald door de impedantie van de belasting, doch wel door de lijneigenschappen.

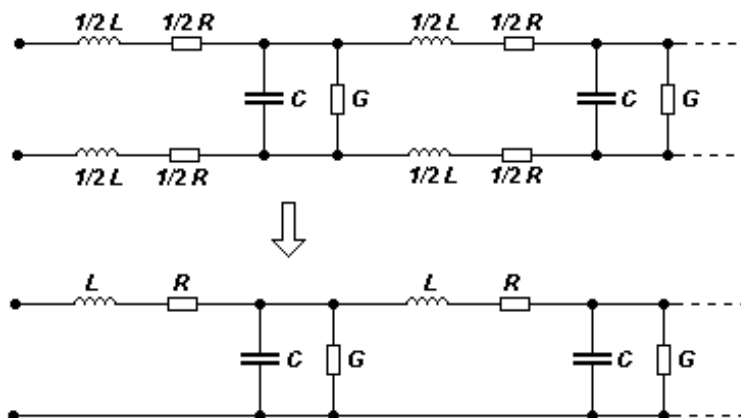
De formule voor de karakteristieke impedantie Z_K is dan als volgt:

$$Z_K = \frac{U_{\text{lopende golf}}}{I_{\text{lopende golf}}}$$

Deze Z_K wordt bepaald door de lijneigenschappen of *lijnconstanten* van de kabel:

- Zelfinductie L van de geleiders
- Ohmse weerstand R van de geleiders
- Capaciteit C tussen de geleiders
- Geleiding G tussen de geleiders

Een kabel kan men dan schematisch voorstellen zoals op volgende afbeelding:



n een kabel.

De lijnconstanten zijn gelijkmatig verdeeld over de lijn.

Indien de lengte van de lijn beperkt blijft tot enkele meters, zijn R en G te verwaarlozen. In dat geval spreekt men van een *verliesvrije lijn*.

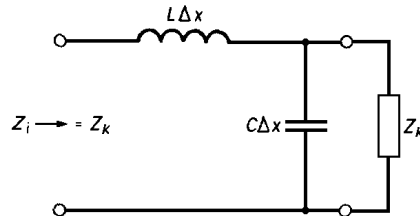
Berekening van Z_K voor een verliesvrije lijn:

Vertrek van een denkbeeldige situatie: We sluiten een HF-sigitaal aan op de ingang van een oneindig lange lijn, zodat die bron in feite belast wordt met de karakteristieke impedantie Z_K van die lijn.

Indien we vóór die lijn nog een klein stukje lijn met lengte Δx plaatsen, is die lijn nog steeds oneindig lang en maakt dit voor de HF-generator niets uit. Hij wordt nog steeds belast met Z_K .

Er ontstaat een lopende golf op de lijn met een voortplantingsnelheid v_{lijn} .

Dit bijgevoegde stukje lijn (verliesvrij verondersteld) heeft een zelfinductie $L\Delta x$ en een capaciteit $C\Delta x$, zoals op onderstaande figuur te zien is.



Figuur 0.2: lijnstukje, afgesloten met ∞ lange lijn.

We berekenen nu de vervangimpedantie van deze keten:

$$Z_i = Z_K = j\omega L\Delta x + \frac{\frac{1}{j\omega C\Delta x} \cdot Z_K}{\frac{1}{j\omega C\Delta x} + Z_K}$$

$$Z_K = \frac{j\omega L\Delta x \cdot \frac{1}{j\omega C\Delta x} + Z_K \cdot j\omega L\Delta x + \frac{1}{j\omega C\Delta x} \cdot Z_K}{\frac{1}{j\omega C\Delta x} + Z_K}$$

$$Z_K = \frac{\frac{j\omega L\Delta x}{j\omega C\Delta x} + Z_K \cdot j\omega L\Delta x + \frac{1}{j\omega C\Delta x} \cdot Z_K}{\frac{1}{j\omega C\Delta x} + Z_K}$$

Vervolgens werken we de noemer weg. Dit geeft dan:

$$\frac{Z_K}{j\omega C\Delta x} + Z_K^2 = \frac{L}{C} + j\omega L\Delta x \cdot Z_K + \frac{Z_K}{j\omega C\Delta x}$$

$$Z_K^2 = \frac{L}{C} + j\omega L\Delta x \cdot Z_K$$

Indien nu $\Delta x \rightarrow 0$, dan valt de laatste term weg en blijft er enkel over:

$$Z_K^2 = \frac{L}{C} \quad \text{of} \quad \boxed{Z_K = \sqrt{\frac{L}{C}}}$$

Dit is een *reële impedantie*, (zuiver ohms) dus I en U zijn in fase !

Berekening van Z_K voor een niet-verliesvrije lijn:

Men kan op gelijkaardige wijze berekenen dat we dan volgende complexe impedantie bekomen:

$$Z_K = \sqrt{\frac{j\omega L + R}{j\omega C + G}}$$

Besluit: een lange lijn met een eindige lengte, doch afgesloten met de karakteristieke impedantie Z_K , gedraagt zich als een oneindig lange lijn. Alle energie van de lopende golf gaat naar de belasting.

Deze belasting kan zijn:

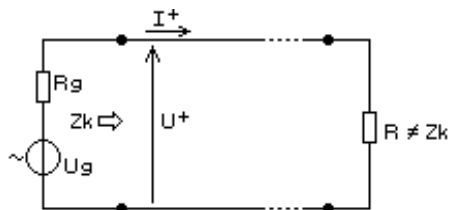
- Een antenne
- De ingangsimpedantie van een versterker (tuner)
- Een discrete weerstand

Veel voorkomende impedanties zijn:

- Bij coax: 50, 60, 75 ohm
- Bij tweedraadslijn: 240, 300 ohm.

7.1.3 De niet - karakteristiek afgesloten lijn:

- Indien de kabel niet afgesloten is met Z_k , ontstaat er een verstoring in de verhouding tussen U en I . Daardoor kan in het uiterste geval (open lijn of kortgesloten lijn) de golfenergie zich niet voortplanten.
- Gevolg: *reflectie* van energie
 - De voortplantingsrichting keert om
 - Er ontstaat een *nieuwe* lopende golf, die teruggaat naar het begin van de lijn
 - De polariteit van spanning U of stroom I verandert
- Afspraken:
 - Heengaande golf $+$, zodat U^+ en I^+ spanning en stroom zijn van de heengaande golf.
 - Teruggaande golf $-$, zodat U^- en I^- spanning en stroom zijn van de teruggaande golf.
- Verklaring:
 - * Veronderstel volgend onderstaand schema:



Figuur 0.1: lijn afgesloten met $R \neq Z_k$.

- * De generator bezit een inwendige weerstand $R_g = Z_k$, zodat deze in de lijn een spanning U^+ stuurt, gelijk aan *de helft* van U_g (R_g en Z_k staan in serie!). Tegelijkertijd ontstaat er een stroom I^+ , bepaald door de wet van Ohm:

$$I^+ = \frac{U^+}{Z_k}$$

- * Men kan dus aannemen dat er een energiegolf op de lijn vertrekt, die voldoet aan de formule: $P^+ = U^+ \cdot I^+$
- * Aan het einde van de lijn verandert de impedantie plots naar $R \neq Z_k$. Veronderstel bijvoorbeeld dat $R < Z_k$, dan zal de verhouding U^+ / I^+ (gelijk aan Z_k) te groot zijn opdat de wet van Ohm hier nog zou gelden. Dus U^+ is te groot, zodat I^+ hier te klein is, want

het vermogen blijft constant. Dus U^+ of I^+ kan nooit alleen veranderen.

- * Gevolg: een plotse spannings- en stroomverandering op het einde van de lijn.

⇒ Er zal dus een spanningsgolf U^- ontstaan en worden weerkaatst in tegenfase met U^+ (vandaar het - teken), zodat de uiteindelijke spanning U over de belasting R *kleiner wordt*, dus $U = U^+ - U^-$ of nog $U + U^- = U^+$

⇒ Tegelijk hiermee zal er een stroomgolf I^- worden weerkaatst in fase met I^+ (vandaar het + teken), zodat de uiteindelijke stroom I door de belasting R *groter wordt*, dus $I = I^+ + I^-$ of nog $I - I^- = I^+$

- Opmerking: de weerkaatste golven gaan terug naar de ingang, maar zullen daar geen nieuwe weerkaatsingen veroorzaken, omdat de inwendige weerstand van de generator R_g gelijk is aan Z_k .

- Vaststellingen:

- * Bij *kortsluiting*: de spanning op het einde van de lijn = 0. Dit kan enkel als de polariteit van de gereflecteerde spanning U^- tegengesteld is aan de polariteit van de heengaande spanning U^+ zodat

$$U^- = -U^+$$

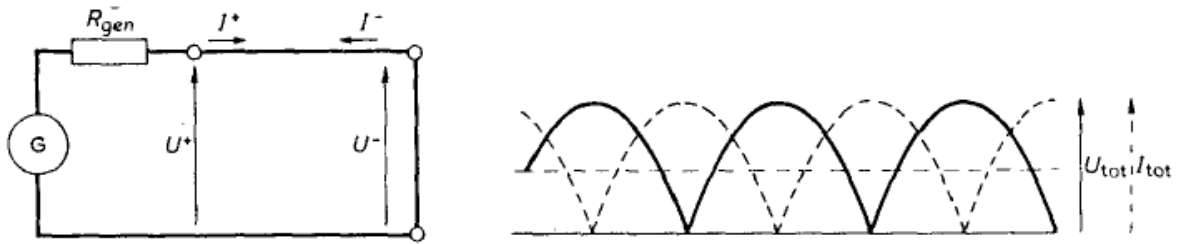
In het kortsluitpunt geldt dan: $I_{tot} = I^+ + I^- = 2I$

- * Bij *open lijn*: de stroom op het einde van de lijn = 0, zodat hier nu

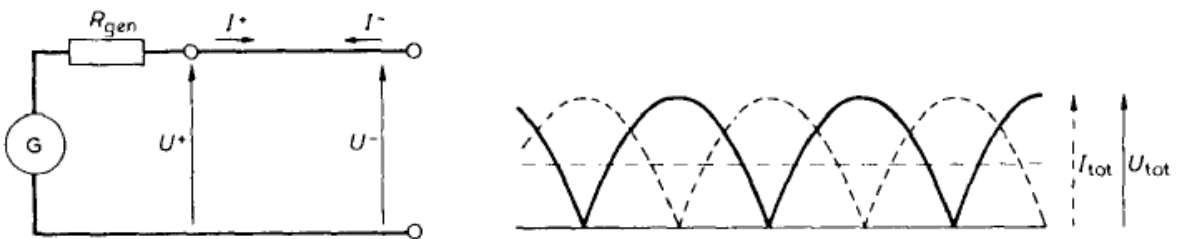
$$I^- = -I^+$$

Aan het open einde geldt dan: $U_{tot} = U^+ + U^-$

- * Men krijgt het ontstaan van *staande golven* voor spanning en stroom

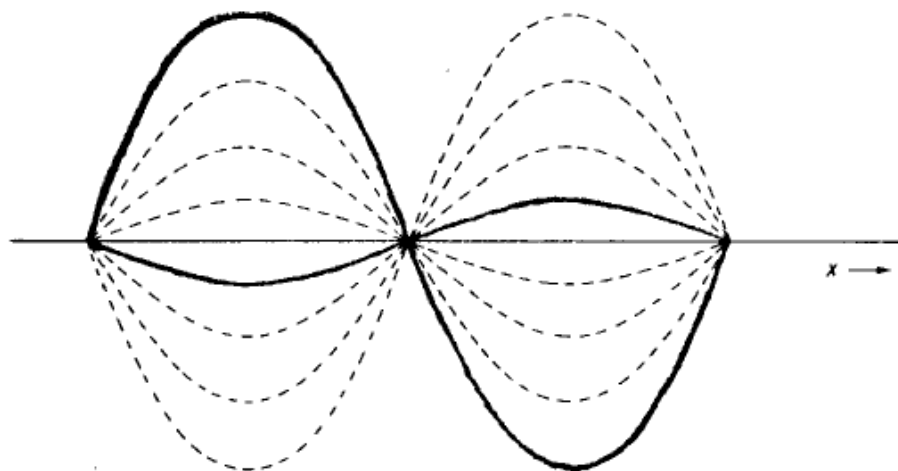


Figuur 0.2: staande golfpatroon bij kortgesloten einde ($U = 0$).



Figuur 0.3: staande golfpatroon bij open einde ($I = 0$).

- Vaststellingen bij bovenstaande figuren:
 - * Het golfpatroon verandert *niet* van plaats.
 - * De plaatsen met maxima noemt men *buiken*.
 - * De plaatsen met nulpunten noemt men *knopen*.
 - * Buiken variëren in amplitude tussen +2.ampl. en -2.ampl. van de lopende golf, zoals het trillen van snaren of een stemvork.



Figuur 0.4: verloop van staande golf als functie van de tijd.

- * De faseverschuiving tussen U en I bedraagt 90°

Opmerking bij bovenstaande verschijnselen:

⇒ Deze verschijnselen treden op bij *totale reflectie* (alle energie wordt teruggekaatst).

⇒ Indien $Z_L \neq Z_K$, dan treedt er *gedeeltelijke reflectie* op. ⇒ Er zijn geen nulpunten meer, maar wel minima.

⇒ De verhouding tussen de maxima en minima noemt men de *staande - golfverhouding* of de *SWR* (Standing Wave Ratio) met als symbool ρ

$$\rho = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{I_{\max}}{I_{\min}}$$

⇒ ρ kan variëren tussen 1 (lopende golf) en ∞ (volledige reflectie).

Bijzondere toepassingen van transmissielijnen:

Ingangsimpedantie van een niet-karakteristiek afgesloten lijn:

Deingangsimpedantie Z_i is afhankelijk van de lengte van de lijn en wordt bepaald door de U en I waarden. Uit de figuren van de staande golven zien we dat U en I een kwart-golflengte verschoven zijn ten opzichte van elkaar. De stroom I is maximaal, als de spanning U minimaal is en omgekeerd.

Bij totale reflectie varieert deingangsimpedantie Z_i tussen $+\infty$ en $-\infty$, afhankelijk van de lengte van de lijn.

Men kan Z_i berekenen met de volgende formule:

$$Z_i = Z_K \frac{Z_L + Z_K j \tan\left(2\pi \frac{l}{\lambda}\right)}{Z_K + Z_L j \tan\left(2\pi \frac{l}{\lambda}\right)}$$

Oefening:

Geg.: $Z_L = 60\Omega$ $Z_K = 50\Omega$ $f = 500\text{MHz}$ $l = 0,2\text{m}$

Gevr.: λ en Z_i en is Z_i capacitief of inductief of resistief?

Opl.:

7.2 Soorten transmissiemedia

Leerplandoelstellingen:

⇒ De samenstelling, impedantie, frequentiebereik en demping van coax, twisted pair en glasvezel toelichten.

Coax

Algemeen

Vanaf zijn ontstaan werd Ethernet geïmplementeerd met coaxiale kabel, ook coax genoemd. Dit is een centrale geleider, beschermd met een isolator, omweven met een tweede cilindrische geleidermantel en afgeschermd met een tweede isolatiemantel.

Coaxkabel

Typisch aan de coax-netwerkverbinding is haar busstructuur. Dit betekent dat de verbinding van het ene werkstation naar het andere gelegd wordt. De coax biedt een aantal voordelen:

- door de elektrisch geleidende ommanteling is hij voldoende ongevoelig voor externe storingen
- goedkoop en eenvoudig te installeren of uit te breiden

De coax busstructuur heeft echter een groot nadeel: wanneer de verbinding ook maar ergens onderbroken wordt, valt onmiddellijk de datatransmissie over het hele netwerk stil. De ervaring toont aan hoe kwetsbaar de connectoren voor de werkstations zijn en hoe tijdrovend het is om de exacte plaats te vinden waar de verbinding verbroken werd. Vele huidige netwerkimplementaties die nog berusten voor een groot deel op coax (ThinNet) busstructuur, worden geleidelijk veranderd naar een andere topologie, de sterstructuur. In een sterstructuur wordt elk werkstation aan een concentrator verbonden met een eigen verbinding. Indien deze verbinding verbroken wordt blijft de rest van het netwerk actief. Natuurlijk heeft dit wel invloed op de kostprijs daar de lengte van de totaal benodigde kabel toeneemt. Het is echter niet de coax verbinding die de strijd gewonnen heeft maar de goedkopere twisted pair. Door gebruik te maken van ingenieuze transmissietechnieken, codeerschema's en de verbetering van de transmissiekarakteristieken, kunnen nu transmissiesnelheden tot 155 Mbps over twisted-pair bekomen worden. De implementatie van een hogesnelheidsnetwerk, zij het nu Fast Ethernet, 100Base VG AnyLAN of ATM, berust op communicatie over twisted-pair of

optische vezel. We gaan in de volgende pagina's dieper in op hun specificaties.

Soorten

10base2

Men noemt deze ook "thin Ethernet". Men gebruikt hier 50ohm coaxkabel, geaard op slechts één plaats, en gewone BNC connectoren op T koppelstukken. De naam komt van:

- de snelheid 10 Mbps
- men gebruikt basisbandsignalering (Manchester)
- de segmenten mogen 200m lang zijn

10base5

Men noemt deze coax ook "thik Ethernet". Zijn karakteristieke impedantie is 50ohm. Hij is slechts op één plaats geaard. De naam komt van:

- de snelheid 10 Mbps
- men gebruikt basisbandsignalering (Manchester)
- de segmenten mogen 500m lang zijn

Twisted pair

Twisted pair kabel werd origineel ontworpen voor spraaktransmissie (telefonie). Een dergelijke kabel bestaat uit twee geïsoleerde geleiders die rond mekaar zijn gewikkeld (minimum één draai per duim).

De geleiders worden rond elkaar gedraaid en door ze als positief en negatief element te gebruiken bekomt men een gebalanceerd transmissiekanaal. Daardoor krijgt de kabel een grotere elektromagnetische performantie ten opzichte van het niet gedraaide en ongebalanceerde circuit.

Gewoonlijk zijn er twee of meer paren gebundeld met een isolerende mantel. Elk paar vormt een afzonderlijk transmissiekanaal, zodat er verscheidene signalen tegelijk verstuurd kunnen worden. Er zijn momenteel drie constructies voor twisted pair:

- Shielded Twisted Pair (STP)
- Unshielded Twisted Pair (UTP)
- Foiled Twisted Pair (FTP)

STP bestaat uit twee afgeschermd (door middel van een elektrisch geleidende mantel) en getwiste paren met een tweede afscherming voor beide paren. UTP en FTP bestaan elk uit vier getwiste paren maar de FTP constructie heeft nog een extra geleidende folie rondom de vier paren. Onderstaande figuur toont respectievelijk de UTP en STP constructies.

De STP-optie heeft het voordeel een lage straling te vertonen en een grotere immuniteit tegen elektrische ruis door zijn dubbele afscherming (EMI of Elektromagnetische Interferentie). De grootste nadelen zijn het volume dat het moeilijk maakt om hem te installeren en de hoge prijs.

STP-kabels hebben meestal volle geleiders van 22 AWG (American Wire Gauge) wat overeenkomt met een diameter van 0.6 millimeter. De karakteristieke impedantie is 150 Ohm en kabeltype "A" werd ontworpen voor 100 Mbps.

De paren zijn geïdentificeerd met een simpele standaard kleurencode:

Paar 1	oranje/zwart
Paar 2	rood/groen

Kleurencode voor STP kabels

FTP heeft een gunstiger EMI dan UTP, maar er moet grote aandacht geschonken worden aan de correcte installatie van de afscherming zelf, anders kan het meer EMI problemen geven dan het zou moeten oplossen.

UTP en FTP hebben gewoonlijk volle geleiders van 24 AWG (American Wire Gauge) wat overeenkomt met een diameter van 0.5 millimeter. De karakteristieke impedantie is 100 Ohm en er wordt onderscheid gemaakt tussen zes types:

Kabeltype	Gebruik
Categorie 1	telefoon en lagesnelheidsdata
Categorie 2	ISDN en T1/E1 tot 4 Mhz
Categorie 3	Data tot 16 MHz
Categorie 4	Data tot 20 MHz
Categorie 5	Data tot 100 MHz
Categorie 6	Data tot 550 MHz

UTP en FTP kabeltypes

De paren zijn geïdentificeerd met een simpele standaard kleurencode:

Paar 1	wit/blauw en blauw
Paar 2	wit/oranje en oranje
Paar 3	wit/groen en groen
Paar 4	wit/bruin en bruin

Kleurencode voor UTP en FTP kabels

Twee specificaties geven de kwaliteit van een kabel aan. Enerzijds spreekt men van overspraak aangeduid door NEXT (Near End Crosstalk) en uitgedrukt in decibel. Overspraak wordt veroorzaakt doordat de geleiders met de isolatie een capaciteit vormen. Anderzijds spreekt men ook van signaalverzwakking of attenuation, eveneens uitgedrukt in decibel. Naarmate de afstanden en de gebruikte frequenties toenemen, stijgen de verliezen, waardoor de attenuation/NEXT toeneemt.

Enkele Types

100Base-T4

De 100Base-T4 signaal techniek maakt gebruik van vier draadparen twisted pair: één draadpaar voor het ontvangen, één draadpaar voor het versturen, en twee draadparen zijn bidirectioneel. Essentieel komt het erop neer dat het data signaal verdeeld wordt over drie draadparen, waardoor de kabelfrequentie veel lager wordt. Het vierde draadpaar is voorbehouden voor het collision-detectie systeem. Het zenden of ontvangen moet elk afzonderlijk gebeuren (simplex mode) waardoor dit minder geschikt is voor servers. De maximale lengte van een segment is beperkt tot 100 meter over UTP categorie 3. Door de normale kwaliteit van de kabel zal de kostprijs lager uitvallen dan met een hoogwaardige categorie 5 kabel. Elk draadpaar is gebalanceerd. Dit wil zeggen dat één draad van het signaalpaar een positief en de andere draad een negatief signaal heeft.

100Base-TX

De 100Base-TX standaard gebruikt twee draadparen hoogwaardige twisted pair, één draadpaar voor het ontvangen en één draadpaar voor het versturen van data. Het kabeltype kan zowel UTP categorie 5 (twee draadparen worden dan niet gebruikt) als STP type A zijn. Alle connectoren moeten eveneens aan categorie 5 voldoen. Het zenden en ontvangen kan echter terzelfder tijd gebeuren (full-duplex), waardoor de totale throughput (bandbreedte) in servers tot 200 Mbps kan gaan. De maximale lengte is eveneens beperkt tot 100 meter. Elk draadpaar is eveneens gebalanceerd.

1000Base-T

Dit is de nieuwste generatie Twisted Pair kabel. Deze kabel heeft zijn diensten al bewezen voor 155 Mbps ATM, 100 Mbps Fast Ethernet, 100 Mbps TP-PMD, 100 VG-AnyLAN, 550 MHz Broadband Video en andere standaarden die nog in hun ontwikkelingsfase zitten zoals Gigabit Ethernet en ATM bij snelheden van 622 Mbps, 1,2 and 2,4 Gbps.

Technische gegevens

	Categorie 3	Categorie 5	STP
1-16MHz	100 ± 15ohm	-	150 ± 15ohm
1-20MHz	-	100 ± 12ohm	150 ± 15ohm
20-100MHz	-	100 ± 15ohm	150 ± 15ohm
100-200MHz	-	100 ± 18ohm	150 ± 15ohm
200-310MHz	-	100 ± 20ohm	150 ± 15ohm
310-350MHz	-	100 ± 22ohm	-

Impedantie van UTP/STP kabels

	Categorie 3	Categorie 5	STP
4MHz	5,6dB/100m	4,0dB/100m	2,2dB/100m
10MHz	9,7dB/100m	6,4dB/100m	3,1dB/100m
16MHz	13,1dB/100m	8,1dB/100m	3,6dB/100m
31,25MHz		11,6dB/100m	4,4dB/100m
62,5MHz		16,8dB/100m	9,8dB/100m
100MHz	-	21,7dB/100m	12,3dB/100m
155MHz	-	28,1dB/100m	
200MHz	-	32,0dB/100m	
310MHz	-	41,3dB/100m	21,4dB/100m
350MHz	-	44,3dB/100m	-

Verzwakking bij UTP/STP kabels

	Categorie 3	Categorie 5	STP
4MHz	-32dB	-53dB	-58,0dB
10MHz	-26dB	-47dB	-54,9dB
16MHz	-23dB	-44dB	-53,5dB
31,25MHz	-	-39dB	-50,4dB
62,5MHz	-	-35dB	-41,5dB
100MHz	-	-32dB	-38,5dB
155MHz	-	-30dB	
200MHz	-	-28dB	
310MHz	-	-25dB	-31,3dB
350MHz	-	-24dB	

Crosstalk (overspraak) tussen twee kanalen

De Glasvezelkabel

Geschiedenis van glasvezel

In 1870 demonstreerde John Tyndall een van de eerste lichtsystemen. Er werd water voor zijn experiment gebruikt als medium om te bewijzen dat lichtstralen afbuigen. Hij vulde een reservoir met water en liet het water ontsnappen langs een horizontale opening op de bodem van het reservoir in een ander reservoir. Tijdens het verplaatsen van het water, stuurde hij een lichtstraal in de opening. Hij stelde vast dat de straal een zigzag weg aflegde. Dit experiment bevestigde een van de fundamentele regels van licht. Later werden nog experimentele onderzoeken gedaan met flexibel glas. Toen in 1960 de eerste laser werd gemaakt en deze werd verbeterd gedurende de jaren '60 en '70 mede door de opkomst van de halfgeleider, werden in de late jaren '70 en de vroege jaren '80 bij de hoofdfonecentrales op grote schaal glasvezelsystemen geïnstalleerd.

Eigenschappen

Een optische vezel is een dunne buigzame draad van glas of transparant plastic, waarin een lichtbundel zich kan voortplanten. De optische vezel bestaat uit een kern (core) met een bepaalde brekingsindex en daarrond een bekleding (cladding) met een andere brekingsindex. Dit verschil in brekingsindex zorgt ervoor dat de lichtstraal binnen deze kern gereflecteerd wordt. Er bestaan twee verschillende types van optische vezel, namelijk de multimode en de singlemode. De multimodevezel heeft een relatief grote kerndiameter tussen de 50 en 100 micrometer en een claddingdiameter tussen de 120 en 200 micrometer. Door de brekingsindex tussen de kern en de cladding gradueel te laten overvloeien (graded index multimodevezel), kan men de voortplantingssnelheid van verschillende golflengten gelijk maken, zodat de bandbreedte tot 500 MHz kan oplopen over afstanden tot enkele kilometer. De singlemodevezel heeft een zeer kleine diameter van 6 tot 9 micrometer en een cladding van 125 micrometer.

Singlemodevezel

Vergelijking multimode, singlemode en graded multimode

De bandbreedte bij een singlemodevezel kan oplopen tot verschillende tientallen GHz over tientallen kilometer. De singlemodevezel is goedkoper dan de multimodevezel. De singlemodevezel moet echter gebruik maken van een dure laser om het monochromatisch licht te genereren in tegenstelling tot een gewoon LED voor de multimodevezel. Daardoor wordt een singlemodevezel enkel gebruikt om afgelegen plaatsen te verbinden, en wordt de multimodevezel gebruikt binnen een gebouw.

De optische vezel heeft superieure kwaliteiten ten opzichte van netwerken met koperkabels. Een enorme bandbreedte, een totale ongevoeligheid voor EMI en een zeer geringe signaalverzwakking. Bij een noodzaak aan volledige databeveiliging en storingsvrije communicatie is dit de enige oplossing maar het is duur. Je krijgt er wel een zéér grote bandbreedte voor in de plaats. Niet alle glasvezel komt overeen met elkaar. Glasvezel van IBM bijvoorbeeld is 100 micron dik, terwijl die van AT&T slechts 62.5 micron dik is. De snelheid van andere bekabelingen is bijna hetzelfde

maar de weerstand van het licht over de kabel is praktisch nul. Dit betekent dat de afstand die de signalen kunnen afleggen zonder bijkomende repeaters tot 3.5 kilometer kunnen gaan. Glasvezel heeft ook de eigenschap dat het geen elektrische signalen absorbeert en ook geen signalen uitzendt. Coax en UTP-kabels doen dit wel. Men kan dus gegevens aftappen zonder de kabels te moeten doorsnijden. Bij fiber-optics is dit onmogelijk. Daarom worden ze vooral gebruikt in het bankwezen en bij medische toepassingen. Hieronder worden nog eens de belangrijkste eigenschappen van glasvezel opgesomd.

- hoge overdrachtscapaciteit
- ongevoelig voor elektromagnetische storingen
- grote versterkerafstanden
- geen overspraak, geen signaaluitstraling
- grote veiligheid tegen afluisteren
- kortsluitvrij (geen vonkvorming)
- laag gewicht, grote flexibiliteit
- geringe afmetingen
- geen corrosie van de vezel
- onbegrensde materiaalbeschikbaarheid

type	*diameter	*impedantie	*demping bij *verkortingsfactor	*demping bij
Aircom plus	* 10.8	* 50 Ohm	* 2.5 (50MHz)	* 7.6 (500MHz)
*0,80				
Aircell 7	* 7.3	* 50 Ohm	* 4.8 (50MHz)	* 15.5 (500MHz)
*0,83				
CX-5 s	* 6.8	* 75 Ohm	* 5.1 (50MHz)	* 24.0(1300MHz)
*				
CF1/4	* 8.0	* 50 Ohm	* 2.5 (30MHz)	* 9.4 (500MHz)
*				
CF3/8	* 15.0	* 50 Ohm	* 1.6 (30MHz)	* 6.8 (500MHz)
*				
CF1/2	* 15.9	* 50 Ohm	* 1.2 (30MHz)	* 5.8 (500MHz)
*				
CF5/8	* 23.0	* 50 Ohm	* 1.0 (30MHz)	* 4.2 (500MHz)
*				
H-43	* 9.8	* 75 Ohm	* 2.5 (50MHz)	* 8.1 (500MHz)
*				
H-100	* 9.8	* 50 Ohm	* 2.3 (30MHz)	* 9.0 (500MHz)
*0,84				
H-155	* 5.4	* 50 Ohm	* 5.0 (30MHz)	* 20.0 (500MHz)
*				
H-500	* 9.8	* 50 Ohm	* 2.9 (50MHz)	* 9.5 (500MHz)
*				
H-2000 flex	* 10.3	* 50 Ohm	* 2.1 (30MHz)	* 8.8 (500MHz)
*				
RG-6	* 8.4	* 75 Ohm	* 4.9 (30MHz)	* 23.0 (500MHz)
*0,66				
RG-8	* 10.2	* 50 Ohm	* 3.0 (30MHz)	* 11.5 (500MHz)
*0,80				

Kwart golflengte lange verbindingenkabels moeten gemaakt worden van kabel van bekende kwaliteit. De totale elektrische lengte van de 1/4 lambda secties moet bepaald worden tot aan de koppellinks in de cavities, met inbegrip van alle verbindingen.

Fig.3d

De totale theoretische lengte wordt berekend met de formule:

$$l = (7500/f) \cdot V \quad [\text{cm}]$$

waarin V de verkortingsfactor van de gebruikte kabel+plug, en f de frequentie in MHz is.

Het bepalen van de fysieke lengte van 1/4 golf secties

Fig.4

De kabel wordt met kleine stukjes ingekort, totdat de "RF Power meter" een minimum aanwijst.

Als na het bepalen van de juiste lengte aan het open einde van de kabel een plug moet worden gemonteerd, moet de kabel met een extra stukje worden ingekort zodat de totale (elektrische) kabellengte, tot aan het puntje van de centrale pen gemeten, weer klopt. Dit is tamelijk kritisch op de 70cm band.

De 6dB verzwakker dient ter bescherming van de zender. Hiervoor kan ook een lang stuk RG58 of andere verliesgevende coax worden gebruikt.