

4. TOEPASSINGEN

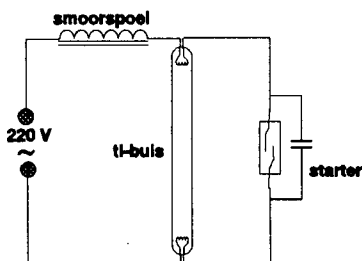
4.1 Toepassingen van de gas- en vacuümbuizen

De gasbuislamp

De eenvoudigste gasbuislamp is een neongasbuisje, veelal gebruikt voor lichtreclames. Het buisje is in serie geschakeld met een weerstand, zodat de werkspanning net boven de doorslagwaarde ligt. Een gas is altijd weinig elektrisch actief, maar bij doorslag neemt de weerstand af, waardoor de spanning over de buis daalt. Het gas licht dan roodachtig op. Bij een heliumgasmengsel is dit geel.

De TL-buis

De TL-buis is gevuld met een zogenaamd startgas onder lage druk en kwikdamp, alsmede enige kwikdruppeltjes. Deze lamp geeft vooral ultraviolet licht, maar door de fluorescerende poederlaag kunnen verschillende kleurtinten verkregen worden.



De gasbuis laat het elektrische doorslagproces pas toe bij tamelijk hoge spanning (ca 700 V), maar daarna is er geen verzet meer. Deze hoge startspanning wordt verkregen door middel van een met ijzer verzwaarde inductiespoel. Schakelt men de kring met spoel, starter en gloeidraden in, dan zal de starter de kring na enige seconden onderbreken, waardoor de spoel een hoge inductiespanning geeft die de weerstandsbarrière doorbreekt. Dat dit reeds bij een spanning van 700 V gebeurt hangt samen met de vrije elektriciteit (edison-effect) die door de gloeidraden in de buis ontstaat. Is de weerstandsbarrière doorbroken, dan zorgt de smoorspoel middels zijn wisselspanningsweerstand (zelfinductie) voor een acceptabel kringproces. De starter bestaat uit een gasbuisje met twee bimetaal elektroden, die iets van elkaar staan, maar bij een spanning van 220 V vlamboogcontact maken. Wordt de afstand tussen de strookjes bimetaal door de warmte te groot, dan wordt de kring onder invloed van het kromtrekkende bimetaal onderbroken en koelt het bimetaal weer af.

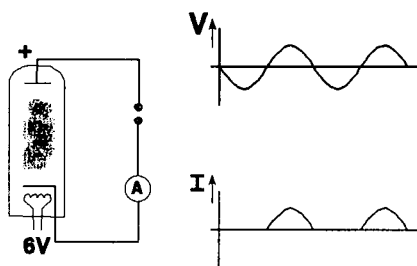
De spaarlamp

Een spaarlamp is een gaslamp met een bijzonder gasmengsel dat voor een aangamere kleur zorgt. De start- en smoorspoelshakeling is gedeeltelijk elektronisch en is ingebouwd in de voet van de lamp, maar is

tegenwoordig ook separaat te verkrijgen. Een spaarlamp geeft bij een gelijk vermogen vijf maal zoveel licht als een gewone gloeilamp. Voor straatverlichting worden twee soorten lampen gebruikt: de hoge druk kwiklampen (TL) en de natriumlampen (oranjekleurig).

De gasbuisdiode

Het edison-effect in een vacuümbuis maakt het mogelijk zo'n buis als gelijkrichter te gebruiken, omdat de drempelweerstand slechts bij één polariteit doorbroken kan worden, namelijk als de minpool op de gloeidraad aangesloten wordt.

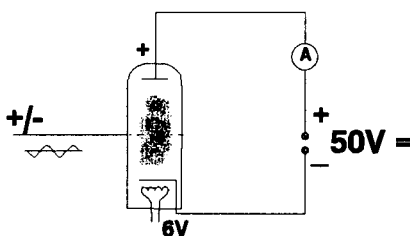


in de kring heerst een wisselende gelijkstroom

de wisselspanning van de spanningsbron

De triodebuis

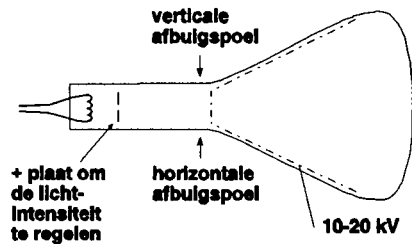
Tussen de anode en de door een gloeidraad verwarmde kathode van een triode zit een gaasvormig rooster, waarop een positieve of een negatieve spanning gezet kan worden. Dit rooster krijgt dan een positief respectievelijk negatief veld om zich heen, waardoor het vrije negatieve elektrische veld rond de kathode wordt aangetrokken of teruggedrongen. Dit fenomeen maakt het mogelijk de triode te gebruiken als versterker of schakelaar. De te versterken wisselspanning wordt zoals bekend op het rooster gezet. (Een aantal leermiddelenfirma's hebben grote demonstratiebuisen in hun leveringspakket, maar deze zijn heel gevoelig en hun levensduur is soms kort).



De televisiebuis

Een beeldbuis bestaat uit een hals waar de kathodestraaling gevormd wordt, een beeldscherm en de conus, het deel dat een kegelvormige

verbinding maakt tussen hals en beeldscherm. De beeldbuis is een gloeidraad-vacuümbuis, waarbij het negatieve veld, de kathodestraling, versneld, gebundeld en gestuurd wordt en op de aan de binnenkant van het beeldscherm aangebrachte fluorescerende laag een lichtend puntje geeft. Dit



puntje beschrijft 625 lijnen met een frequentie van 50 Hz. Eerst lichten de oneven lijnen op, daarna de even, zodat er 25 beelden per seconde getoond worden. Dit geeft ondanks de snelheid van de afwisseling een flinterend beeld. De nieuwste en duurere tv-toestellen werken met een frequentie van 100 Hz, waardoor het beeld stiller staat. Een kleuren-tv werkt meestal met drie gloeidraden en heeft een beeldscherm dat is opgebouwd uit 35.700 kleurentriplets, van in de primaire kleuren groen, rood en blauw oplichtende fluorescerende pigmenten. De kathodebundel moet om deze triplets goed af te tasten zeer exact worden scherp gesteld. Dit gebeurt door vlak voor het beeldscherm een gatenscherm te plaatsen met 35.700 gaatjes van 0,35 mm, zodat de fluorescerende poedervlekjes van 0,43 mm op het scherm in de juiste mate oplichten. De intensiteit waarmee elk beeldpuntje oplicht wordt geregeld met de wehneltcilinder; dit is een plaat met een negatieve spanning (0-100 V) die dicht bij de gloeidraad is opgesteld. Hoe groter deze spanning is, hoe zwakker de kathodebundel, die vervolgens met een zeer grote versnelspanning (10-20 kV) naar het beeldscherm gezogen wordt.

Er zitten nog meer regel-anodeplaten in een beeldbuis, onder andere om de spoelen en de bundel negatieve elektriciteit te synchroniseren en voor de beeldscherpte. De beeldbuis is echt een staaltje van techniek. Zo is op de fluorescerende poederpuntjes nog een laagje aluminium van $0,2 \mu\text{m}$ gedampt, die voor de geleiding van de negatieve elektriciteit zorgt en het fluorescerende licht ook nog naar voren spiegelt. De hals en conus van de buis zijn met een geleidend grafietlaagje bedekt, zodat de buis altijd veldvrij is. Het glas is loodhoudend om de röntgenstraling te minimaliseren.

Bij de oscilloscoop, die een sterke overeenkomst met de televisie vertoont, wordt de kathodebundel meestal elektrisch afgebogen. De tijdbasis wordt dan geregeld met een zaagtandspanning.

De röntgenbuis

Bij een hoog vacuüm en een hoge spanning kleurt, zoals we hebben gezien, het glas aan de binnenkant door toedoen van de kathodestraling

groen. Versterkt men dit effect door de kathodestraling op een metalen anode te laten komen, dan ontstaat een nieuw verschijnsel. Op het oppervlak waar de negatieve elektriciteit verdwijnt ontstaat namelijk een naar alle richtingen uitstralend veld, dat dwars door stoffen heen op het oneindige is georiënteerd. Dit veld kan nauwelijks gestuurd of gebundeld worden, maar door de naar voren uitstralende werking scherend langs een oppervlak te laten gaan kan de uitstraling iets gefocusseerd worden. De halveringsdikte van een stof (de dikte die de intensiteit van de röntgenstraling doet halveren) is kleiner naarmate de stof een hoger rangnummer in het periodiek systeem heeft.

Röntgenstraling wordt toegepast bij materiaalonderzoek (lasnaden, pijp aantasting en haarscheurtjes), controle van bagage, onderzoek van schilderijen, het menselijk lichaam (botbreuken, tanden, orgaanfoto's met behulp van contrastvloei-stof), enzovoort. Er zijn tegenwoordig heel gevoelige fotomaterialen in de handel, waardoor de belichtingstijd kort en de intensiteit laag kan worden gehouden. Ook worden meestal beeldversterkers toegepast, waarbij het contrast wel vermindert, maar intensiteit en belichtingsduur veel geringer. Een beeldversterker is bijvoorbeeld gewoon een metalen plaat of een fluorescerend scherm. Door de röntgenstraling ontstaat in zulke stoffen namelijk weer vrije elektriciteit, die veel effectiever op een fotoplaat inwerkt, maar wel minder contrast geeft, echter nog wel voldoende om bijvoorbeeld een ruggewervelfoto te kunnen maken. Voor materiaalonderzoek naar kleine haarscheurtjes (enkele μm) wordt zonder beeldversterker gewerkt en wordt soms wel een belichtingstijd van een kwartier aangehouden, omdat de straling nauwelijks inwerkt op het fotografische materiaal.

De massaspectrometer

In de massaspectrometer wordt het effect aan de anode van een gasbuis, de anodestraling, gebruikt voor onderzoek van het gas dat in de buis zit. Anodestraling kan versneld en van richting veranderd worden door een elektrisch veld. Het kan ook van richting veranderd worden door een krachtige elektromagneet. Doet men alle elementen na elkaar in een gasbuis, dan blijkt anodestraling met dezelfde veldsnelheid in een magnetisch veld een grotere afbuigstraal te hebben naarmate het rangnummer van de stof in het periodiek systeem hoger is. Op deze wijze wist men aan het begin van de eeuw met zekerheid de volgorde van de elementen te rangschikken en niet alleen meer op basis van natuurkundige en scheikundige eigenschappen. De straal van de boog van koolstof is op 12 gesteld en alle andere waarden zijn hieraan gerelateerd. Een stof kan dus worden getypeerd door zijn stofnummer en zijn afbuigstraal. Bijvoorbeeld chloor, stofnummer 17 en straal 35,45. Bij nauwkeuriger onderzoek bleken zo

goed als alle stoffen meerdere cirkelbogen te hebben. Men spreekt hier van isotopen. Zo heeft chloor twee stralen: 35 en 37. De stralen van zulke bogen staan in een vaste verhouding tot elkaar.

4.2 Digitale techniek

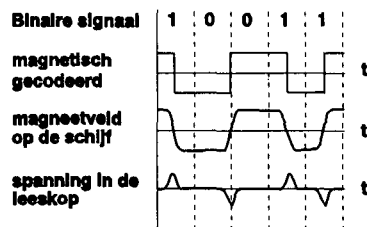
Diskettes

Op een diskette worden gegevens vastgelegd door middel van het richten van magnetisch materiaal. Alle soorten gegevens, zowel getallen, teksten, programma's, tekeningen als geluid, worden door de computer omgezet in een reeks nullen en enen (bits). Voor een regel tekst van ca 80 letters en spaties zijn ongeveer 600 bits nodig. Voor een figuur zoals hieronder afgedrukt is zijn ongeveer 381.000 bits nodig.

Op een computerdiskette zijn smalle cirkels aanwezig waarop de informatie staat. Er worden dan steeds stukjes van het diskettemateriaal in de looprichting van de diskette gemagnetiseerd of juist in de andere richting. Een "schrijfkop" loopt (vlak) over de diskette. Deze "schrijfkop" is een elektromagneet in de vorm van een hoefijzer, waarvan de polen erg dicht bij elkaar zitten. De "luchtspleet" tussen de polen is vaak slechts een paar μm , zodat het magneetveld niet erg uitgebreid is en de sporen erg smal kunnen worden.

De bits kunnen op vele manieren op de schijf als een reeks van magneetveldjes gecodeerd worden. Een van deze manieren (modified frequency modulation, MFM) gebruikt de zogenaamde klokpulsen van de computer. De richting van het magneetveld op de schijf verandert tussen twee klokpulsen als een '1' geschreven moet worden en het veld verandert niet tussen twee klokpulsen als er een '0' geschreven moet worden.

In de figuur staan onder het 0-1 patroon drie diagrammen. Het bovenste geeft aan hoe de stroomsterkte door de schrijfkop verandert bij de gegeven reeks van nullen en enen. Het tweede diagram geeft aan hoe de richting van het magneetveld op de diskette is. Het onderste diagram geeft de spanning in de leeskop weer. Deze is volgens de wet van Lenz maximaal als de verandering van het magneetveld op de diskette het sterkst is. Bij het lezen van het signaal moet de elektronica van de diskdrive deze spanning natuurlijk weer terugcoderen naar nullen en enen. Heel belangrijk is dan onder

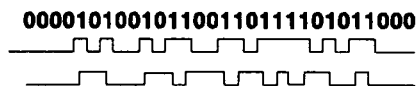


andere dat de draaisnelheid van de diskette goed vast ligt en goed overeenkomt met de klokpulsen van de computer.

Compact disk

De wisselende spanning die door een microfoon opgewekt wordt en steeds evenredig is met de luchttrilling die gepaard gaat met het geluid, moet voordat deze weggeschreven kan worden op een compact disk omgezet worden in een digitaal signaal. Daartoe wordt de spanning elektronisch gemeten en omgezet in een getalwaarde. Dat noemt men bemonsteren. De spanning wordt 44100 keer per seconde vergeleken met maar liefst 16384 ($= 2^{14}$) niveaus. Elke $22,6 \mu\text{s}$ wordt dus de waarde van de spanning omgezet in een 14 bits binair getal. Om foutencontrole mogelijk te maken worden op slimme wijze aan dit getal nog eens 2 bits toegevoegd. Alle gemeten spanningswaarden worden omgezet in een reeks van putjes die in de cd-schijf geëtst worden.

Dat zou kunnen op de manier zoals de bovenste lijn in de figuur hiernaast aangeeft, maar ook hier is het verstandiger om de



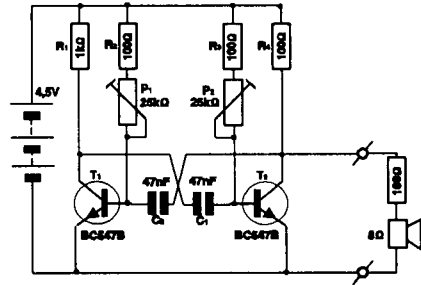
putjes in de cdschijf zo te maken dat een 1 overeenkomt met een niveauverandering en een 0 weergegeven wordt doordat het niveau niet verandert (zie de onderste lijn in de figuur). De putjes worden geëtst in een lang spiraalvormig spoor op $1,6 \mu\text{m}$ van elkaar. Ter vergelijking zij even vermeld dat de afstand op een grammofoonplaat $100 \mu\text{m}$ is. De putjes zijn maar $0,5 \mu\text{m}$ breed en $0,1 \mu\text{m}$ diep. Ze worden afgetast door een $0,8 \mu\text{m}$ brede laserbundel die op ingenieuze wijze steeds op goede afstand van de plaat gehouden wordt en ook steeds goed boven het spoor. Het licht wordt in de putjes verstrooid en op het oppervlak waar geen putjes zijn scherp gereflecteerd. De gereflecteerde bundel wordt dan weer precies opgevangen op een lichtdiode.

Op deze manier worden bij een omwentelingssnelheid van 500 toeren per minuut als de laser aan de binnenkant is en 200 toeren per minuut aan de buitenkant $4,3218 \text{ Mbits}$ per seconde gelezen. Voor een tweekanaals 16 bits geluidssignaal is $1,4112 \text{ Mbits}$ per seconde reeds genoeg. De geluidsinformatie wordt dan ook niet op de hierboven beschreven wijze gewoon achter elkaar op de disk gezet. Elk stukje informatie wordt eerst rekenkundig vermengd met de informatie ervoor en de informatie erna. Dat heeft tot gevolg dat het ontbreken of verkeerd uitlezen van informatie in de meeste gevallen geen kwaad kan omdat het ontbrekende signaal met behoud van voldoende kwaliteit uit het omgevende signaal berekend kan worden.

4.3 Halfgeleider techniek

Toongenerator

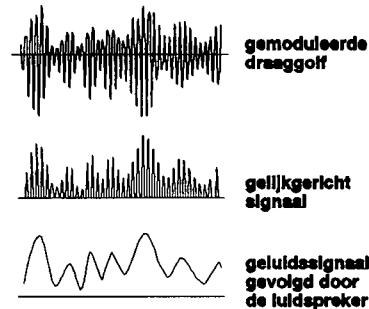
Een toongenerator is een elektrische schakeling die een wisselspanning maakt waarvan de frequentie en de amplitude aangepast kunnen worden. Als op de wisselende uitgangsspanning een luidspreker aangesloten wordt, kan je een geluid horen met een toonhoogte die overeenkomt met de ingestelde frequentie. Dit verklaart de naam.



Een eenvoudige schakeling om een toongenerator te maken is hiernaast afgebeeld. De condensatoren worden beurtelings opgeladen. Als de condensator C1 opgeladen is dan zorgt hij ervoor dat de transistor T2 kan gaan geleiden en dat condensator C2 zich kan opladen. Dit proces blijft zich afwisselen en dat resulteert in een wisselende spanning die op het luidsprekertje aangesloten kan worden. Door de waarden van P1 en P2 te veranderen kan men de frequentie van de wisselspanning instellen.

Kristalontvanger

De meest eenvoudige radio-ontvanger is de zogenaamde kristalontvanger. De naam hangt samen met het germaniumkristal in de diode. De ontvanger gebruikt geen batterij, maar heeft voldoende aan de energie uit de antenne. Met de instelbare condensator in combinatie met de spoel wordt een trillingskring gevormd, waarvan de frequentie ingesteld wordt door de capaciteit van de condensator te veranderen. De frequentie van deze trillingskring moet overeenkomen met de frequentie van de draaggolf van het signaal waarop het radiostation uitzendt.

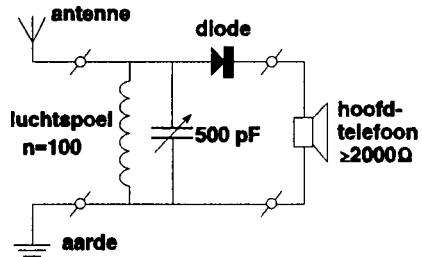


De germaniumdiode (type AA112, AA113, AA119 of AA144) zal de gemoduleerde draaggolf gelijkrichten. De hoofdtelefoon kan door zijn traagheid alleen de amplitude volgen. De hoofdtelefoon kan niet een moderne laagohmige zijn, want dan zal de schakeling te veel belast worden. Het beste kan men een hoogohmige kristaloortelefoon nemen.

De germaniumdiode (type AA112, AA113, AA119 of AA144) zal de gemoduleerde draaggolf gelijkrichten. De hoofdtelefoon kan door zijn traagheid alleen de amplitude volgen. De hoofdtelefoon kan niet een moderne laagohmige zijn, want dan zal de schakeling te veel belast worden. Het beste kan men een hoogohmige kristaloortelefoon nemen.

Desnoods kan men een telefoonluidspreker nemen met een voorschakelweerstand van enige honderden Ohms.

Als antenne kan je gewoon een lange draad (hoe langer hoe beter) buiten ophangen. De schakeling moet aan de waterleiding (niet aan de randaarde van het lichtnet) geaard worden. De spoel van 100 windingen kan je met gelakt wikkeldraad gewoon om een closetrol wikkelen, met aftakkingen na 30 en 80 windingen. Daar kan je later dan een beetje mee experimenteren. De aansluitdraden moeten kort en dik zijn.

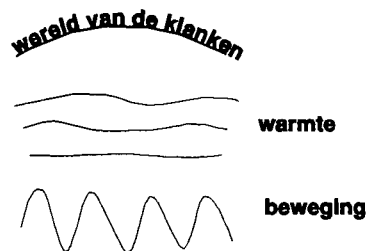


4.4 Telecommunicatie

De wijze waarop naar een verschijnsel als telecommunicatie gekeken wordt hangt af van het mensbeeld dat men hanteert. Daarom willen we nog eens kort beschrijven waarop het mensbeeld dat ons voor ogen staat neerkomt.

De mens is steeds een eenheid van lichaam, ziel en geest. Een lichaam zonder ziel en geest kan zich niet ontwikkelen en kan zelfs niet voortleven. In de slaap of in een toestand van coma zijn ziel en geest nog altijd in geringe mate met het lichaam verbonden. Het ziele/geestwezen van de mens heeft geregeld slaap nodig, het lichaam voor zich zou met minder rust kunnen volstaan. Alle gebeurtenissen van de dag moeten in de slaap verwerkt worden. Op deze wijze hangen lichaam, ziel en geest ten nauwste met elkaar samen.

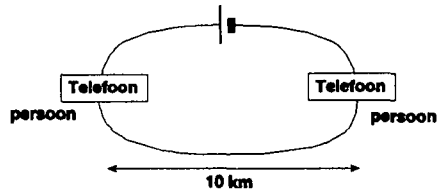
Beschouwt men vanuit deze zienswijze de toon van een stemvork, dan wordt vanzelfsprekend niet alleen de trillende beweging van de stemvork, maar ook de toon of klank als een zelfstandig verschijnsel gezien. Toon en trilling hangen wel met elkaar samen, maar de één komt niet voort uit de ander. In deze zienswijze is het zeker niet zo dat er helemaal geen toon in de natuur bestaat. Toon is geen subjectief naar buiten geprojecteerde innerlijke beleving, maar het innerlijk van de uiterlijke natuur. Toon en



beweging vormen in die zin een eenheid, twee werelden gaan samen en het is weer de warmte die deze samenhang verzorgt.

Zijn twee mensen met elkaar in gesprek, dan zijn niet alleen hun onruimtelijke zielen actief, al sprekend is de ruimte ook doortrokken met klanken die de innerlijkheid van mens en natuur uitdrukken. Men ziet en hoort elkaar, meerdere zintuigen zijn actief en men bouwt relatief gemakkelijk een beeld van de ander op. Soms té gemakkelijk, dan komen we op vooroordelen terecht, waar we ons tegen kunnen wapenen door o.a. de aandacht te richten op nieuwe indrukken en het oordeel terug te houden. Hoe ziet deze situatie er uit wanneer twee mensen via de telefoon met elkaar in gesprek zijn op een afstand van 10 km?

De telefoon werkt zó alsof de ruimte ertussen niet bestaat. Men ziet elkaar niet, alleen het gehoor is actief. Het tijdsproces van spreken en luisteren is nauwelijks veranderd vergeleken met het gesprek in de huiskamer. Zou men naar de



ander toe moeten gaan, dan beleeft men de uiterlijke afstand weer wel en vraagt dat ook beduidend meer tijd. Het aspect van de ruimtelijke afstand verdwijnt dus bij telecommunicatie. Het opbouwen van het beeld van de gesprekspartner kan bemoeilijkt worden doordat maar één zintuig actief is. Het verleden en ook de mate van innerlijke verbinding met de ander en de ervaring spelen een belangrijke rol bij het tot stand komen van contact.

De gehele elektromagnetische kring is in dezelfde fluctuerende toestand als de klinkende, bewegende lucht. De 2×10 km koperen verbindingdraad is de uiterlijke verbinding. De magnetische en warmtevibraties creëren een tijds- en ruimteloze afspiegeling van de klinkende lucht. In plaats van de innerlijke, beleefbare klank zijn nu magnetische vibraties ontstaan in een elektrisch kringproces. Reeds eerder werd beschreven dat het elektrische kringproces de ruimte uiteenscheurt in een proces- en vormtendens, in de tegenstelling oneindigheid en punt. Terwijl het ruimteaspect dus door telecommunicatie wordt opgeheven, wordt er in plaats van de eenheid van de klanknatuur een uiteenscheurende polariteit werkzaam.

In de telecommunicatie speelt nog het volgende technische probleem. Men gebruikt de techniek van het 'multiplexen', dat is een techniek om zeer veel gesprekken tegelijkertijd door een verbinding te laten plaatsvinden, zonder dat deze elkaar storen.

In de eerste plaats begrenst men het frequentiegebied waarin een menselijk gesprek plaatsvindt tot het gebied van 300 tot 3400 Hz. Bij iedere volgende telefoonverbinding telt men 4000 Hz op. Alle signalen worden tegelijk op de draadverbinding gezet, zodat de gesprekken als het ware worden gestapeld zonder elkaar te storen. Bij een gewone kabel kan men maar 120 gesprekken ($120 \times 4 \text{ kHz} = 480 \text{ kHz}$) stapelen. Want bij een laagfrequente wisselspanning wordt het elektrische verschijnsel aan de draad gebonden, maar bij hogere frequenties komt het los en gaat de draad als een antenne werken. Met een coaxkabel kan men 1000 tot 10.000 gesprekken (van 4 tot 60 MHz) stapelen.

Via een straalverbinding met een radardraaggolf ($> 1000 \text{ MHz}$) kunnen 2700 gesprekken tegelijkertijd plaatsvinden. Paraboolantennes geven richting aan zo'n draaggolf. Deze staan circa 50 km uit elkaar en zijn zo'n 60 m hoog. De verbinding kan met een klein zendvermogen in stand gehouden worden. Het streven naar het oneindige van de radarstraling is door de paraboolvorm tot één richting beperkt. De draaggolf heeft van zichzelf uit de eigenschap om radiaal uit te breiden en wordt niet gestoord door aarde of atmosfeer.

Een volgende stap is het digitaliseren van gesprekken. Dat gebeurt door elk signaal per seconde een flink aantal keren te bemonsteren. De bemonsterfrequentie moet minstens 2 keer zo hoog zijn als de maximumfrequentie, 8000 keer per seconde is dus genoeg. Elke bemonsteringswaarde wordt vastgelegd met een 8 bits code, er zijn dus $2^8 = 256$ intensiteitsniveaus. Eén gesprek vraagt dus om $8000 \times 8 = 64.000$ bits/sec. In de meeste verbindingen, en zeker in de glasvezelverbinding, is een veel hogere snelheid mogelijk zodat in de tijd die voor het ene gesprek eigenlijk niet gebruikt wordt ruimte is voor het verzenden van de bits voor een ander gesprek. Gaat men dit weer multiplexen en omzetten in lichtvariaties, dan kan men met een glasvezel kabel van 0,009 mm dikte ongeveer 8000 gesprekken tegelijkertijd laten verlopen. Tegenwoordig zijn er glaskabels (monomodus) waar het licht geconcentreerd in het centrum blijft en waarmee men zonder versterker ruim 70 km kan overbruggen.

Zoals bij de gesloten kring de draad het elektrisch proces aan de aarde verankert, zo doet de glaskabel dat ten opzichte van het lichtproces. Licht wil zich nog sterker uitbreiden dan een elektrisch veld en laat zich alleen onder extreme omstandigheden binden aan de stof. De ragfijne glasvezel met een op het centrum georiënteerde structuur is hiertoe in staat. Het licht wordt daarmee in één richting gedwongen. Ook hier kan men de tegenstelling proces en vormfixatie onderscheiden:

	<i>statisch</i>	<i>dynamisch</i>	<i>zender</i>	<i>glasvezel</i>
proces:	elektrisch veld	elektrische tendens tot verdwijnen	amplitude of frequentieva- riaties	gefragmen- teerd versplin- terd licht
fixatie:	magnetisch veld	magnetische binding aan de draad	radardraaggolf met parabo- lische antenne	zeer dunne, gestructureer- de glasvezel

Bij al deze communicatietechnieken is een polariserend proces werkzaam, terwijl de bedoeling van communicatie synthese is. In die zin staat het maken van contact en het realiseren van een verbinding haaks op de techniek die gebruikt wordt. Toch is dit een principe dat we in de wereld vaker ontmoeten: dat tegenstellingen samenwerken in min of meer labiele evenwichtssituaties. En zo mogen we concluderen dat de snelste, minst storingsgevoelige communicatieverbindingen, waar ruimte en tijd nauwelijks een rol spelen, gerealiseerd kunnen worden met sterk gepolariseerde fenomenen.