

DE CD SPELER

Geschiedenis van de cd speler

De compactdisk verenigt veel technieken in zich, waarmee veel individuen en bedrijven baanbrekend werk hebben verricht. Aan Sony en Philips komt echter de eer toe van de primaire ontwikkeling. De combinatie van optische registratie technieken van Philips en de foutcorrectietechnieken van Sony resulteerden in het succesvolle compactdisk-systeem. In 1974 onderzocht Philips als eerste de mogelijkheid om audio-informatie op een optische disk op te slaan. De analoge methoden voor videoregistratie op een beeldplaat bleken ongeschikt. Daarom werd de mogelijkheid onderzocht om audiosignalen digitaal te coderen. Voor Philips was het verder een vereiste dat er gebruik zou worden gemaakt van een disk met een kleine diameter. Sony was ondertussen bezig met een optische audiodisk van grote diameter en verrichtte diepgaand onderzoek naar de foutcorrectiemethode om het systeem te realiseren. Ook andere producenten waren bezig met de ontwikkeling van een digitale audiodisk. Toen Sony en Philips in 1979 besloten te gaan samenwerken resulteerde hun gezamenlijk product in een wereldstandaard. In oktober 1982 werd het compact disk-systeem in Japan en Europa geïntroduceerd. Sony kwam toen met de CDP-101 op de markt, Philips met de CD100.

De CD-speler globaal bekeken

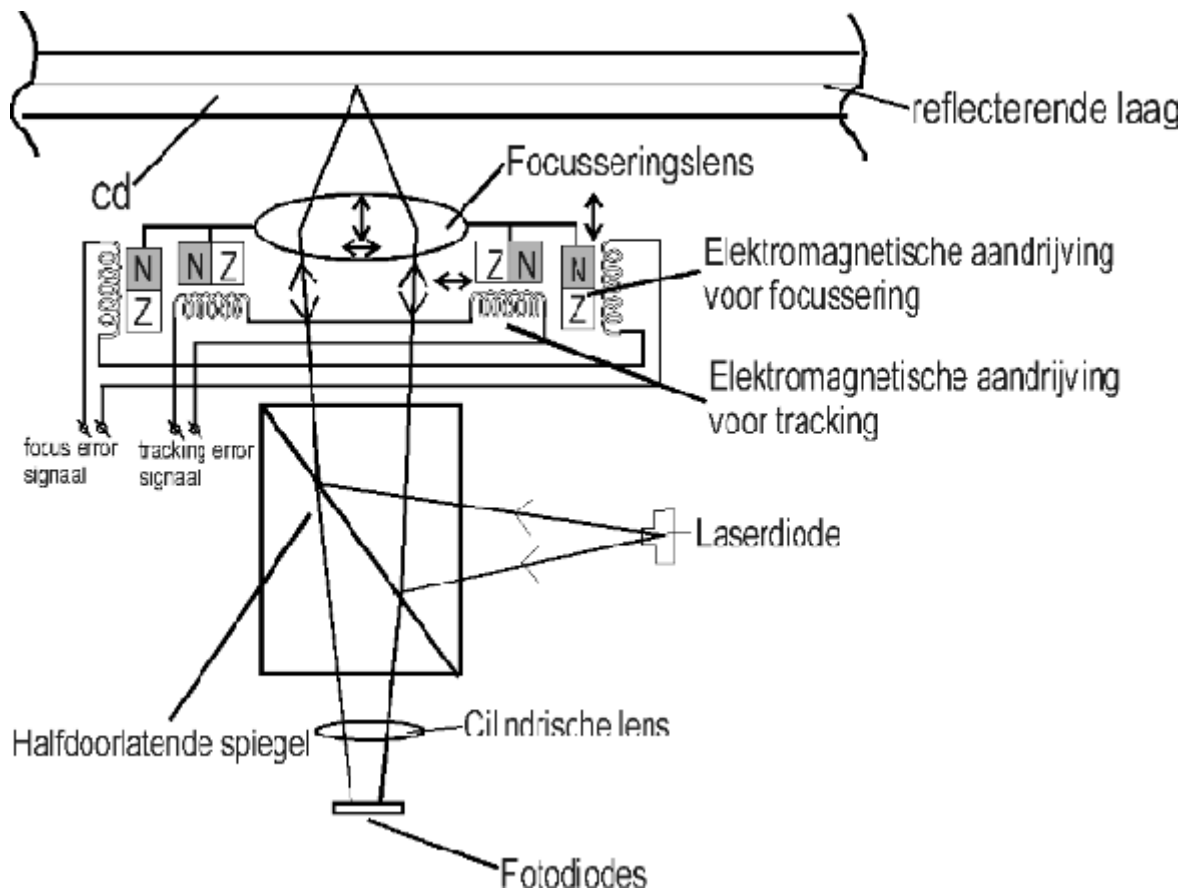
De compact disc-speler heeft tot taak de gecodeerde informatie van een compact disc te lezen en te reproduceren. Dit karwei omvat meer dan de reproductie van het analoge audiosignaal. Behalve D/A conversie moeten ook nog demodulatie, foutdetectie en -correctie plaatsvinden. Tevens wordt de geavanceerdheid van de speler verhoogd door de laserleeskop die de data kan lezen dank zij de optische volg- en focuseringssystemen. Een compact disc-speler gebruikt een servomotor om de cd te laten draaien en laseroptica om de data te lezen. De bedienings- en display functies zijn de schakel tussen de speler en de gebruiker. Om deze subsystemen te besturen, zijn de spelers voorzien van microprocessors.

Het optisch blok

De laser

De data wordt van de compact disc teruggelezen door het optisch blok (opnemer) die over het oppervlak van de draaiende disc beweegt. Een disc kan twee miljard putjes bevatten die nauwkeurig volgens een spiraalvormig spoor zijn gerangschikt. De opnemer moet op het dataspoor worden gefocuseerd, dit volgen en de gegevens lezen. Het lenzenstelsel, de laser en de opnemer moeten klein genoeg zijn om parallel aan de disc te kunnen bewegen. In afbeelding is de werking van het optisch blok weergegeven. Een conventionele gaslaser is te groot voor een opnemer. Een cd leeskop werkt met een halfgeleiderlaser met een optisch uitgangsvermogen van ongeveer 5 mW en die een coherente bundel uitstraalt met een golflengte van 790 nm. Het vermogen van halfgeleiders om licht uit te zenden, wordt reeds jaren toegepast; denk hierbij aan LED's (Light Emitting Diodes). Laserlicht wijkt echter aanzienlijk af van gewoon licht, omdat het licht van één golflengte met gelijke fase is (coherent). De laserbundel is afkomstig van de laserdiode. Naast de laserdiode wordt een fotodiode (de monitordiode) geplaatst waarvan de uitgangsstroom wordt gebruikt om het

laservermogen te regelen. Indien de uitgangsstroom van de monitordiode laag is ten opzichte van een referentiestroom wordt de stroom naar de stuurtransistoren van de laser versterkt, zodat het laservermogen wordt verhoogd. Zo geldt ook dat bij een te hoge monitor-diode uitgangsstroom de stroomtoevoer naar de laser wordt verkleind.

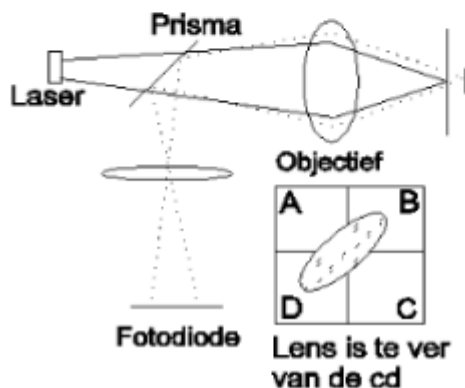
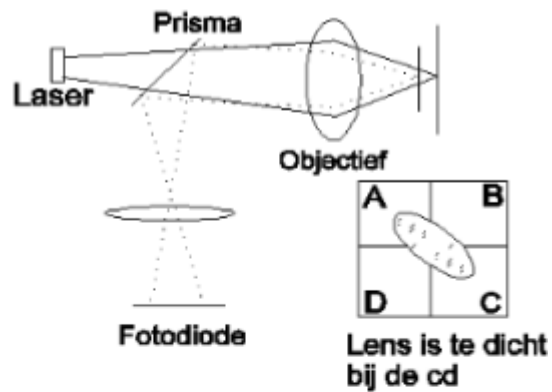
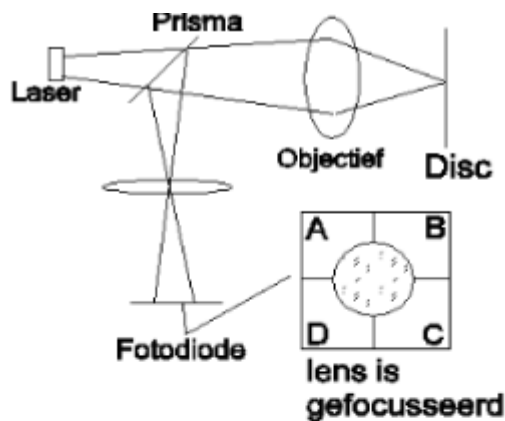


De halfdoorlatende spiegel

De halfdoorlatende spiegel is een speciale spiegel, en de werking wordt in de figuur duidelijk. Als het laserlicht rechts op de spiegel valt, dan wordt het omhoog gekaatst. Als het licht wordt gereflecteerd door de cd, dan valt het licht recht door de spiegel, op de fotodiodes.

Autofocus

Om een duidelijk onderscheid te kunnen maken tussen het reflecterende licht van vlakjes en putjes moet het systeem afgaan op de interferentie die wordt veroorzaakt door de diepte van de putjes (110 nm). De focussering van de bundel op het disc-oppervlak is dus erg kritisch. Een onjuiste focussering leidt ertoe dat de data onnauwkeurig wordt gelezen. De laser moet binnen een tolerantie van ongeveer $0,5 \mu\text{m}$ worden gefocusseerd. Natuurlijk vertoont zelfs de vlakste disc afwijkingen. Nauwkeuriger uitgedrukt, disc specificaties vermelden een tolerantie van $\pm 0,5 \mu\text{m}$. Daarom moet het objectief de focussering kunnen aanpassen wanneer de disc ronddraait. Dit komt tot stand door een servo gestuurd autofocusstelsel dat gebruikt maakt van de vierkwadranten-fotodiode, besturingselektronica en een servomotor om het objectief te kunnen verplaatsen.



In bepaalde cd-spelers wordt astigmatisme, het creëren van vervormde beelden, benut om de autofocus te realiseren. De cilindrische lens die voor de fotodiode is geplaatst, vervult de essentiële functie die nodig is om een out-of-focus-conditie te detecteren. Wanneer de afstand tussen het objectief en het reflecterende oppervlak van de disc verandert, verandert ook de brandpuntinstelling van het systeem en het beeld dat door de cilindrische lens wordt geprojecteerd verandert van vorm. De beeldverandering op de fotodiode genereert het focuscorrectiesignaal. Wanneer het discoppervlak zich in het brandpunt van het objectief bevindt, wordt er op de fotodiodes een cirkelvormige vlek geprojecteerd. De spanningen die van de diodes A t/m D afkomen zijn dus alle gelijk. Wanneer de disc zich naar de lens beweegt, komt het brandpunt van het objectief achter de disc te liggen. Op de fotodiodes ontstaat nu een elliptische lichtvlek. De spanningen van de diodes A en C zijn nu groter dan die van B en D, zodat het objectief zich van de disc af beweegt, en het brandpunt zich weer op de disc bevindt. Dit geldt ook wanneer de afstand tussen de disc en het objectief groter wordt en het brandpunt voor de disc komt te liggen. Alleen dan ontstaat er een lichtvlek die 90 graden verdraaid is ten opzichte van eerstgenoemde.

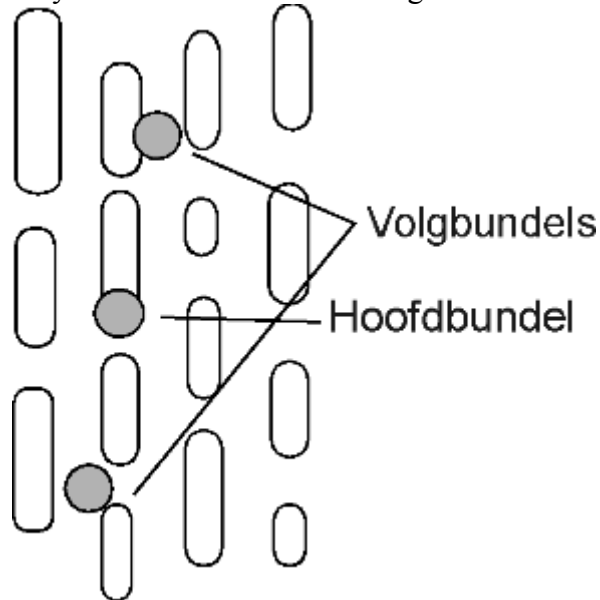
Auto-tracking (Automatische spoorvolgning)

Bij het aftasten van een compact disc rijst een interessant technisch probleem: hoe moet het spiraalvormige spoor worden gevolgd? De opnemer wordt immers niet op mechanische wijze (zoals bij een grammofoonplaat) bestuurd. Het antwoord op de vraag is: met behulp van het auto-tracking-systeem. De sporen op een cd hebben een onderlinge afstand van $1,6 \mu\text{m}$; een niet juist gecentreerde disc kan een spoorexcentriciteit van wel 300 nm vertonen, trillingen stellen de trackingnauwkeurigheid van $\pm 0,1 \mu\text{m}$ erg op de proef. Allemaal redenen om de spoorvolgning (tracking) met behulp van de laserstraal te verzorgen, het is onmogelijk om dit

op mechanische wijze te doen. In cd-spelers worden twee soorten autotracking systemen toegepast:

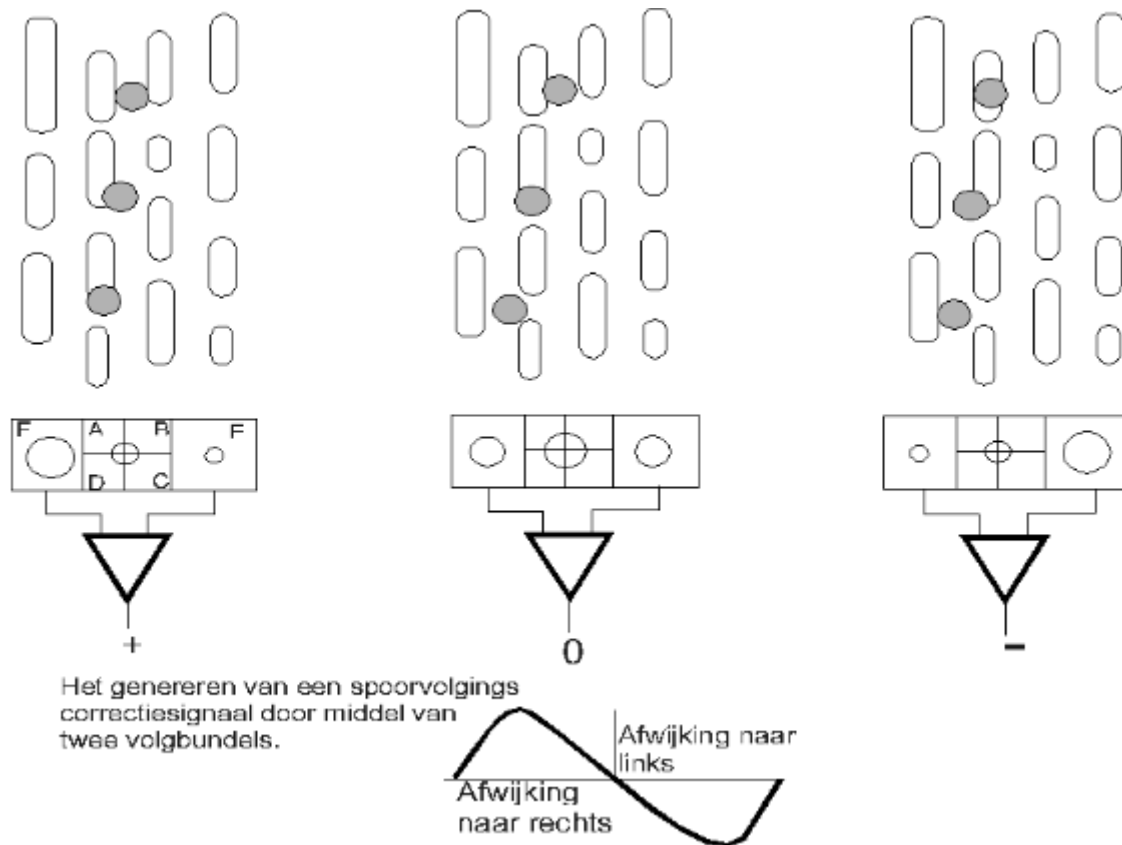
Het één-bundelsysteem dat voor de tracking gebruik maakt van de bundel die ook voor het aftasten van de data en voor de autofocus wordt gebruikt. Dit systeem wordt onder andere gebruikt door Philips.

Het drie-bundelsysteem dat gebruik maakt van secundaire bundels die uitsluitend voor de tracking zijn bestemd. Dit systeem wordt onder andere gebruikt door Sony en Pioneer.



Beide systemen bereiken hetzelfde doel met gelijksoortige schakelingen. In een opnamer met drie bundels wordt de hoofdbundel door een diffractierooster gesplitst, zodat een serie secundaire bundels met afnemende intensiteit wordt gecreëerd. De twee eerste-ordebundels worden samen met de hoofdbundel op het disc-oppervlak gericht. De hoofdbundel valt op het putjesspoor, terwijl de twee eerste-ordebundels boven en onder aan weerszijde van de hoofdbundel worden gericht.

Bij het spoorvolgen wordt een gedeelte van iedere volgbundel op een putje gefocusseerd; het andere gedeelte bedekt het weerspiegelde vlak tussen de putjes. De hoofdbundel raakt de vierkwadranten-fotodiode en de twee volgbundels raken fotodiodes die daarnaast zijn opgesteld. Terwijl de drie bundels zich over het putjesspoor bewegen, varieert de hoeveelheid licht die door de volgbundels wordt gereflecteerd. Wanneer één van de bundels een groter gedeelte van een putje raakt, leidt dit tot een lagere gereflecteerde lichtintensiteit en wanneer de andere bundel een kleiner gedeelte van een putje raakt, resulteert dit in een hogere gereflecteerde intensiteit. Met behulp van de spanningen die door de twee fotodiodes worden gegenereerd, wordt in een elektronische schakeling het tracking-correctiesignaal samengesteld.



Een auto-tracking-systeem met één bundel volgt een gelijksoortige gesloten lus om de opnamer in het spoor te houden. In plaats van de twee secundaire bundels en de ondersteunende fotodioden worden de hoofdbundel en de vierkwadranten-fotodiode gebruikt. Wanneer de bundel van het spoor afwijkt en dus meer vlakjes belicht, neemt de gemiddelde intensiteit van het licht dat de fotodiode ontvangt toe. De auto-tracking-schakeling detecteert de volgfout, maar kan in eerste instantie de richting van de afwijking niet bepalen. Daarom wordt het objectief bij wijze van proef een bepaalde richting uit bewogen. Afhankelijk van het resultaat wordt de beweging beëindigd of de richting ervan omgedraaid. Een verdere verlaging van de gemiddelde intensiteit betekent dat de beweging in de verkeerde richting plaatsvond, zodat het objectief naar de andere kant moet worden bewogen. Het spoorvolgen vindt op deze wijze dus met voortdurend vallen en opstaan plaats.

Bemonstering

De principes van opnemen en weergeven van geluid zijn bij digitale geluidsregistratie heel anders dan bij analoge registratie. Er wordt signaalbemonstering (sampling) en kwantificering (quantization) toegepast. Dit zijn de steunpilaren bij digitalisering van geluid.

Het principe van bemonstering

Bij analoge audio-opnamen wordt een magneetband continu gemoduleerd of wordt een groef in een plaat gesneden. Bij digitale opnamen moeten we voor het vastleggen van geluid getallen gebruiken. Het eerste probleem waarvoor we worden gesteld is: hoe stellen we de analoge golfvorm voor door middel van getallen. Met andere woorden, wat meten we van de

golfvorm en hoe doen we dat. Bij digitalisering maken we gebruik van bemonstering en amplitudekwantificering.

Laten we eerst het principe van bemonstering bekijken. We nemen een klok als voorbeeld om het verschil te laten zien tussen een analoog en een digitaal signaal. Tijd lijkt een continu proces. De wijzers van een (analoge) klok draaien rond, waarbij de tijd continu wordt aangegeven. Een digitale klok geeft ook de tijd weer, maar met een momentele weergave van de waarde. Deze bepaalt bijvoorbeeld iedere seconde de tijd en laat die gedurende een seconde zien: de tijd wordt bemonsterd. Met muziek is het niet anders. Muziek wijzigt continu. Muziek kan worden opgenomen of weergegeven in zowel analogen als digitale vorm. De vraag is natuurlijk of er geen informatie verloren gaat tussen die bemonsteringstijdstippen. Het antwoord is ja en nee. Er gaat natuurlijk altijd wat informatie verloren, maar mits de juiste omstandigheden zijn gewaarborgd, is dat niet, of nauwelijks hoorbaar. Dit betekent dat het signaal door een laagdoorlaatfilter moet worden geleid. De signalen die een te hoge frequentie hebben (die dus niet op de juiste wijze kunnen worden bemonsterd) worden eruit gehaald. Dus indien het ingangssignaal door een laagdoorlaatfilter wordt geleid, kunnen we in theorie het signaal op een dusdanige wijze bemonsteren dat er verder geen verlies aan informatie optreedt. Vanuit het bemonsteringsstandpunt gezien, gaat het hierbij niet om een benadering. Dit is vastgelegd in het Nyquist-bemonsteringstheorema. Bij bemonsteren worden momentele waarden vastgelegd. Het kan wiskundig worden bewezen dat een bemonsterd en gefilterd signaal dezelfde hoeveelheid informatie bevat als het originele signaal. Als het afgevlakte signaal wordt bemonsterd, kunnen we alle tussenliggende waarden zonder fout berekenen. Daarom kunnen we de oorspronkelijke golfvorm terugkrijgen.

Maar hoeveel keer moeten we een monster nemen om een muzikale golfvorm zo nauwkeurig mogelijk te kunnen reproduceren? De bemonsteringstheorie beantwoordt de vraag over het aantal monsters per tijdseenheid. Nyquist heeft aangetoond dat n monsters per seconde nodig zijn om een golfvorm met een bandbreedte van $n/2$ Hz compleet weer te geven. Met andere woorden, we moeten monsters nemen in een tempo van minimaal tweemaal de hoogst doorgelaten frequentie om een verliesvrije bemonstering te krijgen. Een audiosignaal met een bereik van 0 tot 20 kHz zal theoretisch dus een bemonsteringsfrequentie van 40 kHz nodig hebben voor een juiste digitale verwerking.

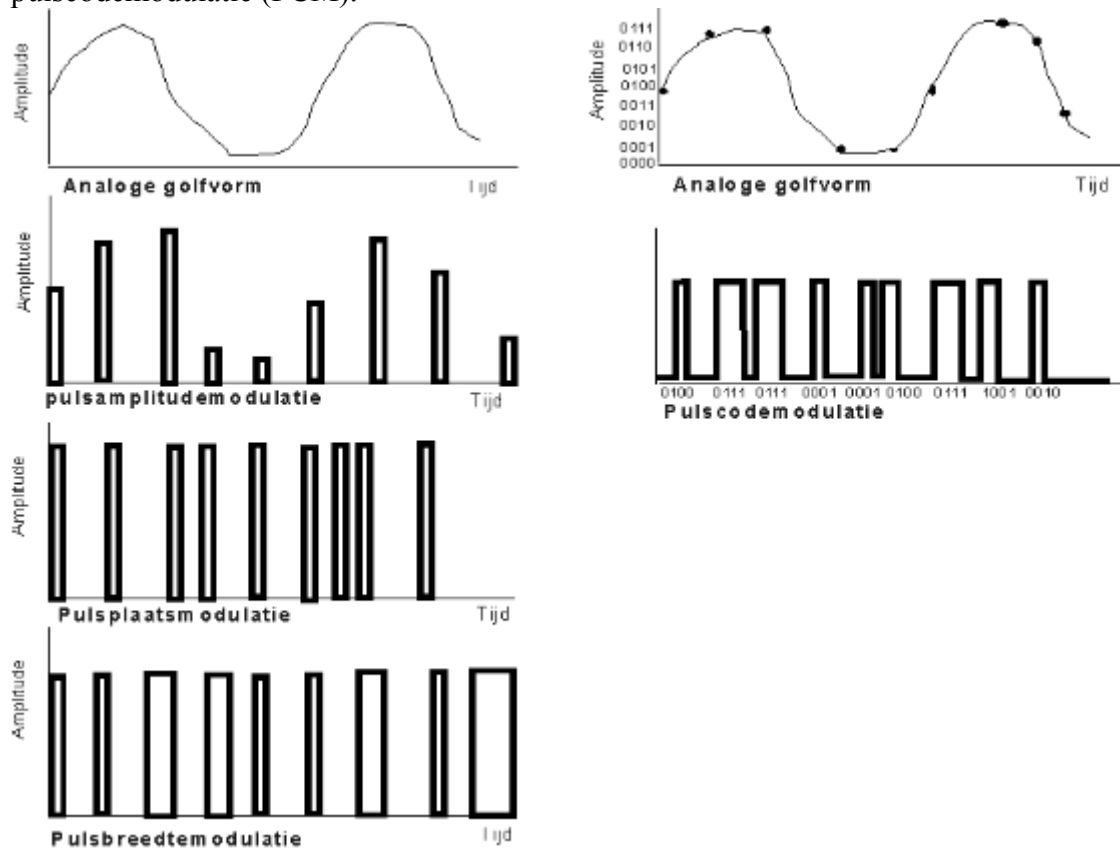
Pulscodemodulatie

In theorie zijn er een bijna onbeperkt aantal technieken beschikbaar om audio-signalen digitaal te coderen. De technieken zijn in wezen allemaal gelijk: ze zetten analoge signalen om in digitale data. In de praktijk hebben de technieken verschillende resultaten als het gaat om bandbreedte, signaal/ruisverhouding en nauwkeurigheid. Er is slechts één digitaliserings-techniek die op brede schaal ingang heeft gevonden: Pulscodemodulatie. En ofschoon er tegenwoordig andere technieken bestaan en nieuwe zullen worden ontwikkeld, zullen ze het tegen deze methode op moeten nemen.

Modulatiesystemen

Modulatie is een middel om informatie te coderen met als doel het daarna te versturen of vast te leggen. Technieken zoals amplitudemodulatie (AM) en frequentiemodulatie (FM) zijn reeds lange tijd in gebruik om draaggolffrequenties met analoge audio- of video-informatie te moduleren (radio en tv). Omdat deze modulatievormen continu zijn, worden ze aangeduid als golfparametermodulatie. Voor digitale informatie zijn er andere modulatievormen:

pulsparametermodulatie. Voorbeelden hiervan zijn: pulsamplitudemodulatie (PAM), pulsgetalmodulatie (PNM), pulsbreedtemodulatie (PWM), pulsplaatsmodulatie (PPM) en pulscodemodulatie (PCM).



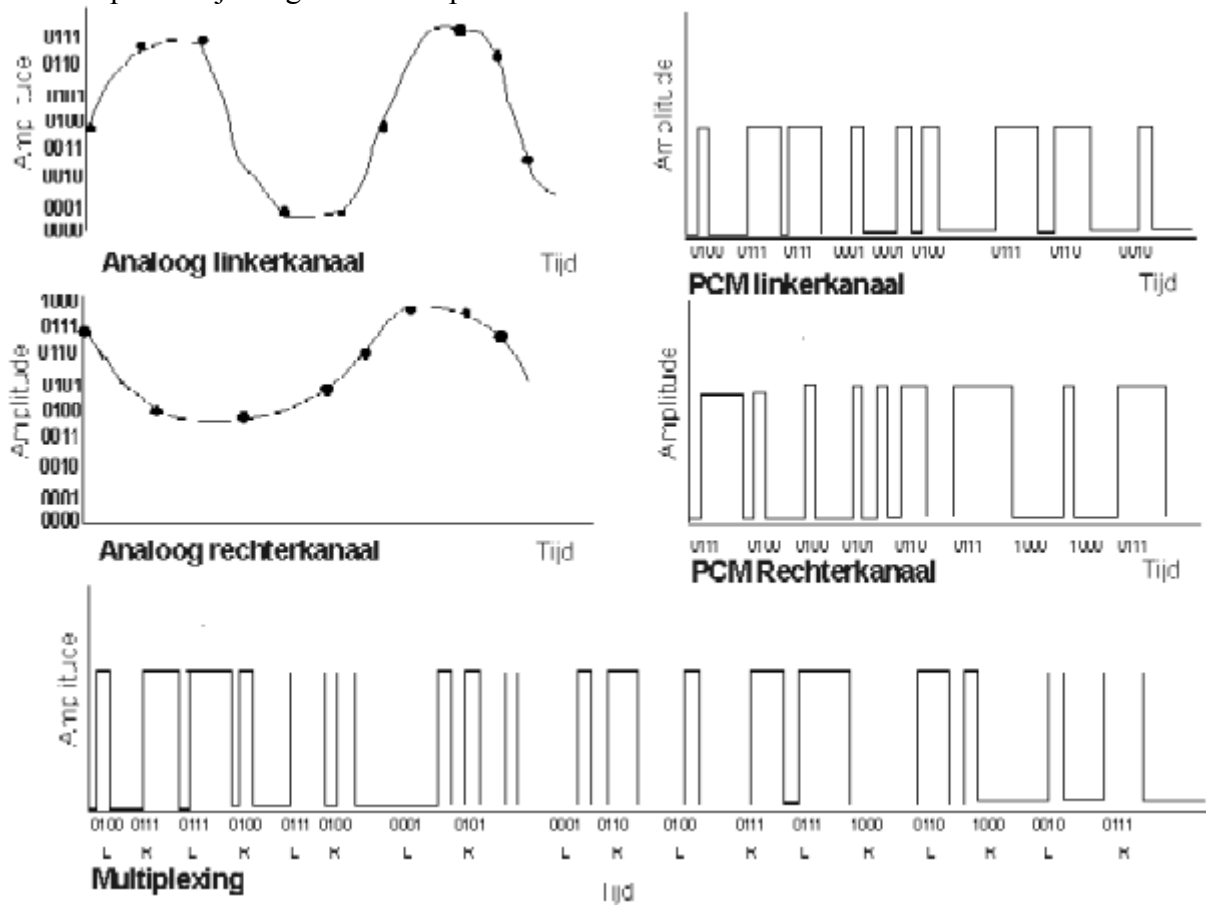
Dit zijn allemaal verschillende manieren waarop digitale informatie kan worden gecodeerd, verstuurd en vastgelegd. Met PAM, PWM en PPM worden de veranderingen in amplitude, tijd, plaats of breedte gebruikt om de waarde van het analoge signaal op het bemonsterings-tijdstip vast te leggen. Hiervoor worden technieken gebruikt waarbij de amplitude, de plaats, of de breedte van de puls wordt gebruikt om de informatie direct te coderen. Bij PNM en PCM wordt een puls of een code direct afgeleid van het ingangssignaal. Voor het coderen van audiosignalen zijn dat de meest efficiënte technieken. PCM is het meest geschikt voor het registreren van HiFi-audiosignalen.

PCM

Een PCM-systeem volgt nauwgezet het digitaliseringsprincipe. Het ingangssignaal wordt bemonsterd en de waarde van het bijbehorende kwantificeringsniveau wordt omgezet naar een binaire code. Er wordt een reeks databits gevormd waarbij eventueel twee of meer kanalen worden gemultiplexed. Dit wil zeggen dat de datastromen worden samengevoegd tot één reeks data die kan worden opgeslagen.

Het PCM-procédé staat in de afbeelding weergegeven. Hierin is te zien hoe een analoog audiosignaal wordt omgezet in PCM-data. De originele analoge golfvorm wordt bemonsterd en de amplitude gekwantificeerd door de analoog/digitaal (A/D) converter. De pulsen die signaalwaarden vertegenwoordigen, worden in de vorm van binaire getallen opgeslagen. De binaire code wordt door de systeem-processor gebruikt voor het uitvoeren van signaalbewerking en foutcorrecties. Bij weergave wordt de reeks bits gedecodeerd om de

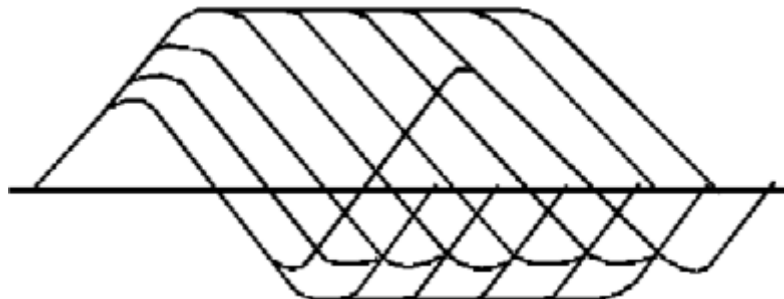
originele analoge audiodata terug te krijgen. Daarbij is het belangrijk dat de monsters op de juiste bemonsteringstijdstippen worden omgezet. De digitaal/analoog (D/A) converter bouwt het oorspronkelijke signaal weer op.



Verwerking van het digitale signaal

EFM-demodulator

Van de uitgangsspanning van de vierkwadranten-fotodiode wordt het analoge uitgangssignaal van de CD-speler afgeleid. Voordat de data in een analoge signaal kan worden omgezet, moet het een ingrijpende bewerking ondergaan. De gegevens op de disc zijn EFM-gecodeerd (EFM = Eight to Fourteen Modulation). Dit betekent dat in het signaal niet minder dan twee en niet meer dan tien achtereenvolgende nullen voorkomen. De putjes variëren in lengte van 3 kanaalbits (0,833 μm) tot en met 11 kanaalbits (3,054 μm).



Dit bepaalt het frequentiebereik van het EFM signaal.

De fotodiode en de verwerkingsschakelingen produceren een signaal dat op een serie hoogfrequente sinusgolven lijkt: het EFM-, RF- of oogpatroonsignaal. Wanneer het dataspoor wordt gelezen, is het EFM-signaal aanwezig; de kwaliteit ervan kan aan de hand van het oogpatroon worden beoordeeld. Hoewel het signaal uit sinusgolven is opgebouwd, is het volstrekt digitaal. Nu wordt het digitale EFM-signaal gedemoduleerd, zodat ieder zeventienbits-EFM-woord weer een achtbits-woord wordt. De demodulatie komt tot stand met behulp van logische schakelingen of een opzoektabel. Dit laatste is een in het geheugen opgeslagen woordenboek waarmee de gelezen data wordt omgezet in de originele achtbits patronen.

Foutdetectie en -correctie

De correctie van fouten geschiedt door het berekenen en toevoegen van hulpinformatie, zogenaamde pariteitsbits, en door het toepassen van interleaving. Als bijvoorbeeld informatie van een cd ontbreekt of verminkt is, dan wordt deze met behulp van aanvullende informatie berekend. Daartoe wordt de oorspronkelijke data (A) in groepen onderverdeeld (B), telkens de som (pariteit) binnen een telgroep bepaald (C), en deze pariteit aanvullend aan die groep toegevoegd (D). Als nu data ontbreekt, dan moet slechts de wel beschikbare getallen bij elkaar worden opgeteld en van de pariteitswaarde worden afgetrokken (E). Het principe van de foutcorrectie is in wezen even simpel als geniaal, maar geenzins nieuw. Het komt overeen met de algebraïsche opgave om uit een aantal bekenden een onbekende te berekenen, zoals dat gebeurt bij het oplossen van een vergelijking. Hierbij is een redundantie (overbodigheid) van ca. 40% noodzakelijk.

A	1	4	5	7	9	10	11	13	12	5	3	1	0	2	6	9					
B	1	4	5	7	9	10	11	13	?	5	3	1	0	2	6	9					
C	1+4+5+7=17				9+ 10+ 11 + 13=43				?+ 5+ 3 + 1=21				0+ 2+ 6 +9=17								
D	1	4	5	7	17	9	10	11	13	43	?	5	3	1	21	0	2	6	9	17	
E	1 4 5 7 17				9 10 11 13 43				12 5 3 1 21				0 2 6 9 17								
											Berekende waarde										
Pariteit					Ontbrekende waarde																

Dit voorbeeld laat sterk vereenvoudigd zien hoe foutcorrectie werkt. De foutcorrectie in cd spelers is echter veel ingewikkelder. Die schakeling wordt CIRC genoemd. CIRC staat voor Cross Interleave Reed solomon Code.

Dank zij de CIRC-methode kunnen fouten van maximaal 4000 opeenvolgende bits worden gecorrigeerd (een putjesspoor van maximaal 2,5 mm) en is door interpolatie reconstructie mogelijk van maximaal 12.300 opeenvolgende bits (een spoorlengte van 7,7 mm). Zonder foutcorrectie zou de cd nooit levensvatbaar zijn geweest, want dan zou werkelijk geen enkel bit verloren mogen gaan.

Het uitgangssignaal

Na de foutcorrectie wordt de digitale informatie verwerkt, om de besturingsinformatie te reconstrueren, en gedemultiplexed. Tijdens het coderen is per frame een achtbits-besturingssubcode in de bitsreeks geplaatst. Bij het decoderen worden de besturingscodes van 98 frames gelezen en in één blok geplaatst. Aan dit blok worden acht kanalen toegewezen die de besturingsinformatie verschaffen. Het P-kanaal geeft de inloop-, uitloop- en audiosporen aan. Geeft het P-kanaal alleen maar binaire enen dan wordt het inloopspoor afgetast; binaire nullen geven aan dat het audiospoor wordt afgetast en afwisselend enen en nullen geven aan dat het uitloopspoor wordt afgetast. Het Q-kanaal geeft informatie over de inhoud van de disc (dus over waar op de disc wat staat), de verstreken tijd van een muziekpassage (in minuten, seconden en frames) en de tijd die sinds het begin van de eerste muziekpassage is verstreken. De zestienbits-audiodata wordt gedemultiplexed, zodat de data voor het linker- en rechteraudiokanaal gelijktijdig, in dezelfde volgorde en met dezelfde snelheid waarmee ze oorspronkelijk zijn opgenomen aan de D/A-converters en de uitgangsfilters kunnen worden aangeboden. Na deze bewerking wordt de data omgezet naar een twee-complementair getal of in een binaire offset, afhankelijk van soort D/A-converter. In sommige spelers wordt slechts één D/A-converter toegepast, de data voor het linker- en rechterkanaal worden beurtelings geconverteerd, waarna het analoge signaal wordt gedemultiplexed.