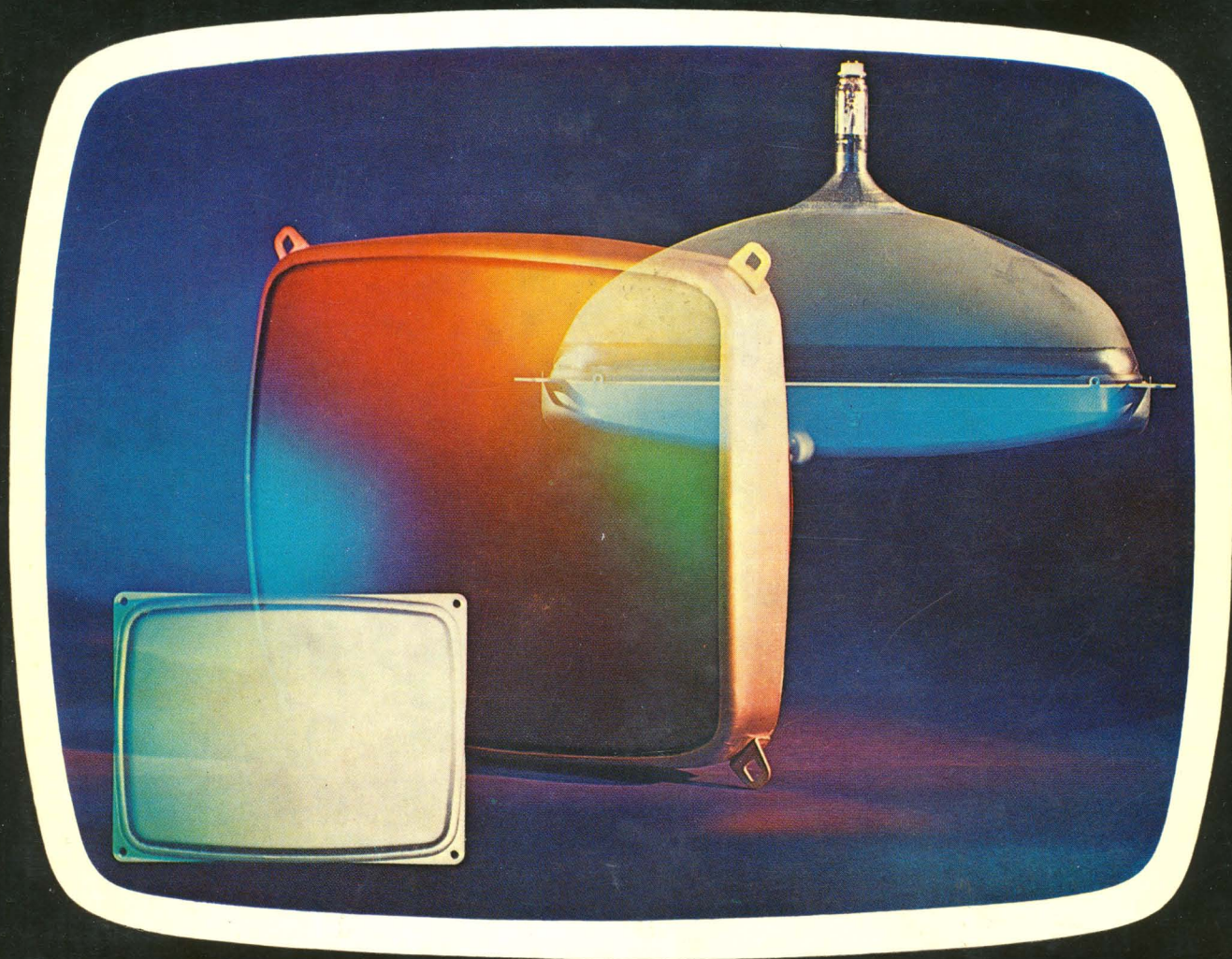


aisberg

zo...werkt de kleurentelevisie



kluwer - deventer

Zo . . . werkt de kleurentelevisie

E. AISBERG

*Hoofdredacteur van het
tijdschrift „Télévision”*

J.-P. DOURY

Ingenieur E.S.E.

Zo . . . werkt de kleurentelevisie

Fysische en fysiologische kleurverschijnselen

Colorimetrie

*Transmissie en ontvangst volgens
het NTSC-, PAL- en SECAM-systeem*

Vertaling: W. De Boeck,

onder redactionele verantwoordelijkheid van P. Vijzelaar

Scannen en grafische bewerkingen: PEIABR

Kantlijntekeningen van Christine Øhmichen

ELECTRONICA v. d. SANDE
Hengelosestraat 176 - Enschede
Tel. 0 5420 - 18676
Postrek. nr. 1173707



KLUWER - DEVENTER

Dit boek is in het Frans verschenen bij Société des Éditions Radio, Parijs, onder de titel:
La Télévision en Couleurs? . . . C'est presque simple!

Van dezelfde auteur verschenen:

- Zo . . . werkt de radio
- Zo . . . werkt de televisie
- Zo . . . werkt de transistor
- Zo . . . werken elektronische schakelingen
- Zo . . . gaat het TV-storingzoeken

© 1969 N.V. Uitgeversmaatschappij Æ. E. Kluwer, Deventer.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgeefster.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

INHOUD

Veertig jaar later	7
<i>Hoofdstuk I. De geboorte van de kleurentelevisie</i>	9
<i>Hoofdstuk II. Een kijkje in het oog</i>	13
Definitie van de kleurentelevisie – Grenzen van het zichtbare licht – Spectrumanalyse van wit licht – Chromatische aberratie – Oplossend vermogen – Het gemiddelde oog en de kleurenblindheid – Anatomie en fysiologie van het oog.	
<i>Hoofdstuk III. In het uitvindingsmuseum</i>	22
Kleursynthese met de schijf van Newton – De kleur van voorwerpen – Additieve en subtractieve methoden – Tint, helderheid en verzadiging – Primaire kleuren – Driekleuren principe – Cilinder van Munsell – Gezichtsbedrog.	
<i>Hoofdstuk IV. Een en ander over colorimetrie</i>	33
Spectrogram – Bichromie en trichromie – Functie van de negatieve componenten – Ruimtelijke voorstelling – De driehoek van Maxwell – Definitie van de chrominantie – Het chrominantievlak – Complementaire kleuren – Chrominantie wordt nul – Voorstellingen van verzadiging en tint.	
<i>Hoofdstuk V. Transmissiesystemen</i>	47
Systeem met drie overdrachtskanalen – Het gebruik van één enkel objectief – Dichroïtische spiegels en filters – Inrichting voor de beeldopname – Trapeziumvormige vertekening – Trinescoop – Het systeem met rasterwisseling (rastersequentieel) – Het probleem van de overbezetting van het frequentiespectrum – De dubbele compatibiliteit – Scheiding van de luminantie- en chrominantiesignalen – De functie van de kleurenhulpdraaggolf – De toegewezen frequentiebanden – Codering en decodering.	

<i>Hoofdstuk VI. In het museum van de elektronenbuis</i>	58
De projector met drie buizen – Het probleem van de convergentie – Het gamma – De eidofoor – De schaduwmaskerbuis – Het probleem van de kleurzuiverheid – Demagnetisatie – De beeldbuis van de toekomst.	
<i>Hoofdstuk VII. Nationaal televisie-omroepcentrum</i>	70
Camera's met drie of vier buizen – Filmaftasters – Beeldmonitoren en -mengers – Transmissie-apparaatuur.	
<i>Hoofdstuk VIII. Wat men over vectoren dient te weten</i>	74
Diagrammen van Fresnel – Het verkrijgen van een sinusgolf – De optelling van sinusgolven – De optelling van vectoren – De methode van het parallellogram – Amplitude-modulatie – Onderdrukking van de draaggolf – Modulatie door chrominantiesignalen.	
<i>Hoofdstuk IX. De verschillende compatibele systemen</i>	82
Kwadratuurmodulatie bij NTSC – Keuze van de kleurenhulpdraaggolffrequentie – Decodering – Differentiële versterking – Differentiële fase – Magnetische registratie – Kleuroverspraak – Het PAL-principe – Decodering bij PAL-DL en PAL-S – Eigenschappen van PAL – Het SECAM-principe – Codering en decodering – Eigenschappen van SECAM.	
<i>Hoofdstuk X. Details van een PAL-ontvanger</i>	107
Middenfrequentversterker – Vertraginglijnen – Regeneratie van de hulpdraaggolf – Synchronodemodulatoren – Videoversterkers – Onderdrukking van de kleur – Transistorisering – Automatische versterkingsregeling voor de verzadiging.	
<i>Hoofdstuk XI. Installatie en afregeling van KTV-ontvangers; speciale meet- en controle-apparaatuur</i>	120
Instelling van de kleurzuiverheid – Statische convergentie – Dynamische convergentie – Instelling van de grondtint – Kleurbalkentoetsbeeld.	
<i>Conclusie. Het wonder van de kleurentelevisie</i>	129
<i>Appendix I. De officiële kleurentelevisienorm (PAL-systeem)</i>	130
<i>Appendix II. De officiële kleurentelevisienorm (Systeem SECAM III-opt.)</i>	133

Veertig jaar later

Veertig jaar geleden, bij de dageraad van de radio-omroep, heeft mijn eerste boek „J'ai compris la T.S.F.” de kennismaking met de radiotechniek vergemakkelijkt voor honderdduizenden lezers, zowel in Frankrijk als in talrijke andere landen.

Bij de opkomst van de indirect verhitte buizen, diende een nieuw boek te worden geschreven, dat de samenstelling en de werking uiteenzette van ontvangers die uit het net werden gevoed. Aldus werd „Zo . . . werkt de radio” geboren. Het werd, naarmate de moderne techniek voortschreed, geregeld aangevuld, zodat het nog steeds een basis vormt voor het verkrijgen van een uitgebreider kennis van de elektronica.

Met de uitvinding van de transistor in 1948 begon het halfgeleidertijdperk. Om de noodzakelijke overgang te vergemakkelijken, werd de dialoog tussen de twee hoofdpersonen uit het vorige werk, WEETAL en VRAAGAL, voortgezet in „Zo . . . werkt de transistor”. In „Zo . . . werkt de televisie” bestuderen deze twee eeuwig jonge jongemannen de techniek van de zwart-witbeeldoverdracht, terwijl die van de kleurenbeelden slechts even werd aangeroerd.

En nu is de kleurentelevisie er. De introductie ervan in Europa werd voorafgegaan door ontelbare discussies. De keuze uit de voorgestelde systemen werd nog delicateser gemaakt, doordat aan de zuiver technische factoren (die alleen hadden mogen tellen), politieke en financiële overwegingen werden gekoppeld. Het trieste resultaat is, dat Europa nu eens te meer verdeeld is. De basisprincipes van de diverse systemen verschillen onderling slechts voor ongeveer één tiende; voor de overblijvende negentig procent zijn ze gelijk. WEETAL en VRAAGAL konden tegenover de kleurentelevisie natuurlijk niet onverschillig staan. Van alle kanten werd me gevraagd, wanneer „Zo . . . werkt de kleurentelevisie” zou verschijnen.

Voor het schrijven van dit boek heb ik een beroep gedaan op mijn vriend Jean-Pierre Doury, ingenieur E.S.E., die bij de technische hoofdorganisatie, waar het Franse SECAM-systeem werd ontworpen, bijdraagt tot de vervolmaking van de kleurentelevisie. Zijn bijdrage is voor mij heel waardevol geweest, want niets overtreft de ervaring die wordt verworven door aan de ene kant met differentiaalvergelijkingen om te springen en aan de andere kant met de soldeerbout en de oscilloscoop te werken. Bovendien verstaat Jean-Pierre Doury de kunst op een duidelijke manier de principes van deze nieuwe techniek uiteen te zetten,

getuige een reeks conferenties en demonstraties die hij in verschillende Europese landen en in het Nabije Oosten heeft gehouden.

Dit boek werd niet helemaal geschreven in de vorm van dialogen, zoals dit het geval was in mijn vorige werken. Hopelijk apprecieert de lezer de uiteenlopende methoden van uiteenzetting. Deze opzet zal het aanleren van deze uiterst ingewikkelde techniek vergemakkelijken. Mocht Uw inspanning worden beloond door het begrip van deze techniek, beste lezer, dan zal de voldoening van de schrijvers bij de Uwe mogen worden gevoegd.

E. Aisberg

HOOFDSTUK I

WEETAL en VRAAGAL zijn twee jongelui die goed bekend zijn bij allen, die „Zo . . . werkt de radio” hebben gelezen of een van de eropvolgende boeken met gelijksoortige titels over de transistor en de televisie.

Weetal heeft daarin aan zijn vriend Vraagal de fundamentele principes bijgebracht van de verschillende takken van de elektronica. Vraagal is echt niet dom, zoals de hieronder afgedrukte brief zal bewijzen. Hij vraagt slechts één ding: te bedenken, dat zijn naam uitsluitend te maken heeft met zijn weetgierigheid! Voor wat hij nu reeds weet (over radio, TV, transistoren) is hij geen „Vraagal” meer, voor kleurentelevisie echter (nog) wel. U, waarde lezer, zal Vraagals dorst naar wetenschap slechts kunnen delen.

DE GEBOORTE VAN DE KLEURENTELEVISIE

VRAAGALS BRIEF AAN WEETAL

Waarde vriend,

De moeilijkheden blijven op me afstormen. De gebeurtenissen gaan veel te vlug naar mijn zin en de vooruitgang van de techniek gaat sneller en sneller.

Nauwelijks had ik de radiotechniek begrepen door onze gesprekken over de elektronenbuizen en daar vielen reeds de halfgeleiders uit de lucht, zodat alles op dit gebied ondersteboven werd geworpen. Je hebt me geholpen, de gewoonten en de zeden van de transistoren te begrijpen, waarvoor ik je uiterst dankbaar ben. Ik vraag me evenwel af, of er binnenkort geen nieuw tijdperk zal aanbreken na dat van het vacuüm en van de vaste stoffen, zodat de zo moeilijk verworven kennis reeds verouderd zal blijken . . .

Op het huidige ogenblik sta ik voor een nieuwe revolutie en ik meen dat het woord niet overdreven is. Je hebt me de geheimen van de televisie bijgebracht. Ik dacht dat deze tak van de elektronica voorgoed geconsolideerd was . . ., maar voor zover ik er over kan oordelen, lijkt alles weer te veranderen met de komst van de kleurentelevisie.

Ik heb de stellige indruk, dat deze nieuwe techniek oneindig ingewikkelder is dan die van de overdracht van achrome beelden (en die was al moeilijk genoeg!).

Wat moet ik doen? Hoe zal ik deze nieuwe situatie aanpakken? En waarom, voor de drommel, is het nou nodig, die vermaledijde kleur in te voeren, terwijl het met zwart en wit toch immers heel goed gaat?

Ik vraag me soms af, of ik er niet beter aan zou doen de elektronica op te geven en me aan de landbouw te gaan wijden.

Je trouwe vriend

VRAAGAL



HET ANTWOORD VAN WEETAL AAN VRAAGAL

Je brief is een ware hulpkreet en hij heeft me diep geroerd. Daarom antwoord ik je per omgaande, opdat het onherstelbare niet geschiede.



Het is een feit, dat er in de landbouw bij tijden een arbeiderstekort heerst, maar de elektronica heeft hersenen nodig en de jouwe zijn voor zover ik het heb kunnen beoordelen, toch wel waardevol.

Het onvermijdelijke besluit is dus, dat je weer „up-to-date” moet worden en je bijgevolg de nieuwe techniek van de kleurentelevisie zult moeten bestuderen.

Wees echter niet onrechtvaardig: bedelf de researchwerkers niet onder je verwijten, want ze hebben door hun eigen hersenen te pijnigen een wonderlijk middel uitgedacht om onze televisieschermen levendiger te maken.

Ik weet niet meer wie het gezegd heeft (misschien is deze gedachte wel in mijn eigen brein ontstaan), maar kleuren zijn het leven zelf.

Bekijk maar eens een landschap door heel erg donkere zonnebrilglazen: het ziet er vlak uit, triest, grijs, monotoon en zonder reliëf. Zet de bril af en alles wordt levendig en vol sprankelende kleuren. Hetzelfde verschil wordt ondervonden tussen een fluitsolo met zijn beperkte klankrijkheid en een symfonie die wordt uitgevoerd door een groot orkest met de oneindig gevarieerde klankmogelijkheden . . .

Denk even na over de verrijking die de kleur in de fotografie, de bioscoop en de pers heeft gebracht. Waarom zou men dan niet gepoogd hebben, ook de televisiekijker ervan te laten genieten?

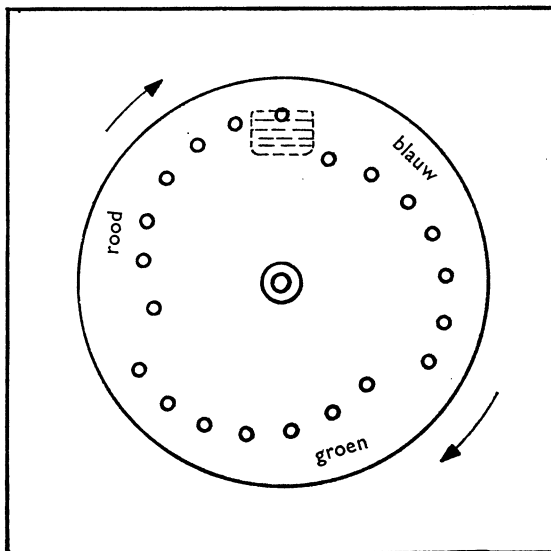


Fig. I.1. De schijf van Nipkov, door J.L. Baird aangepast voor de overdracht van kleurenbeelden.

Het is een feit, dat men reeds vanaf het begin geprobeerd heeft kleurenbeelden over te brengen. De pionier van de mechanische televisie, John Lodgie Baird, de man die er omstreeks 1925 in geslaagd is beelden op te nemen en weer te geven met behulp van de schijf van Nipkov, piekerde reeds over de kleurenproblemen. Hoewel hij niet tot experimenten is overgegaan, heeft deze geniale Schot toch een schijf ontworpen, die drie reeksen gaten bevatte, elk voorzien van filters, op een zodanige manier dat het beeld achtereenvolgens in drie

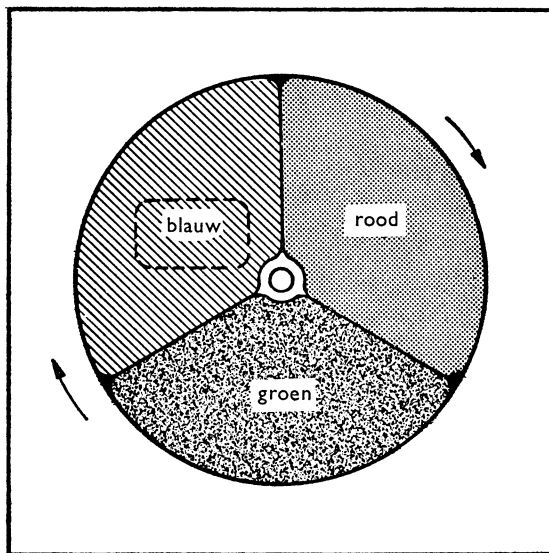
verschillende kleuren, rood, groen en blauw, werd afgetast en vervolgens weergegeven. Het driekleurenprincipe werd aldus reeds toegepast in de nauwelijks geboren televisie.

Men diende te wachten tot na de Tweede Wereldoorlog om de eerste praktische verwezenlijkingen te zien verschijnen.

De Engelse firma Pye en aan de andere kant van de Atlantische Oceaan het Amerikaanse televisienetwerk Columbia Broadcasting System, gaven toen heel geslaagde demonstraties van kleurentelevisietransmissies. Vóór het scherm van de beeldbuis (vrij klein op dat ogenblik) draaide een schijf, samengesteld uit drie filters: rood, groen en blauw. Op deze manier verscheen het beeld achtereenvolgens in deze drie kleuren. Aan de zenderzijde bevond zich een gelijksoortige schijf, die synchroon draaide met de ontvangerschijf, en die ervoor zorgde, dat de scène in de juiste volgorde werd afgetast in de genoemde drie kleuren. Deze aftastingen volgden elkaar op in een voldoende snel ritme, waardoor de beelden werden gesuperponeerd in het oog van de televisiekijker. Aldus werden de originele kleuren verkregen.

Maar het is fout je de principes van dit systeem uiteen te zetten zonder je allereerst de onontbeerlijke kennis bij te brengen van de grondbeginselen van kleuren en het zien van kleuren.

Fig. 1.2. Driekleurig filter, draaiend opgesteld voor het scherm (zie stippellijn) van een katodestraalbuis, waardoor de beelden achtereenvolgens in blauw, groen en rood worden weergegeven.



Ik zal me dus eveneens ervan onthouden, je nu al het NTSC-systeem, dat in de Verenigde Staten en Japan wordt gebruikt, uit te leggen. In deze landen zijn trouwens reeds miljoenen huisgezinnen in het bezit van een kleurentelevisie-ontvanger. Ik zal je ook nog niet over het Franse SECAM-systeem of over het Duitse PAL-systeem onderhouden, twee systemen die in Europa werden aangenomen. Het is voldoende te weten, dat deze drie systemen voor 90% op dezelfde principes zijn gebaseerd, zodat ze slechts onderling verschillen voor de overige 10%. Dit feit zou je reeds min of meer moeten geruststellen bij de aanvang van je nieuwe studie. En geloof me, deze studie is onontbeerlijk. Je zult dus, of je wilt of niet, de kleuren-



TELEVISIE-
STUDIO



televisie moeten bestuderen, want hij zal snel de belangrijkste landen van het Oude Werelddeel veroveren. Hij zal niet alleen ongekende mogelijkheden openen voor de realisatie van programma's, maar zal ook een echte vreugde voor het oog zijn en aan het beeldscherm een nieuwe dimensie geven. Bovendien zal hij de schooltelevisie veel vergemakkelijken door een doeltreffende weergave. Ik kan niet voldoende de aandacht vestigen op het belang van de televisie voor het verspreiden van kennis en cultuur, in het bijzonder in de ontwikkelingslanden, waar de kijkers verspreid zijn over grote oppervlakten en waar het aan leraren ontbreekt.

Ik hoop dat ik je het onbetwistbaar belang, ja zelfs de dwingende noodzaak heb kunnen aantonen van het binnendringen van kleuren in het gebied van de televisie. Ik sta klaar, als je dit wenst, je te helpen bij de studie die wordt vereist door deze nieuwe evolutie van de techniek.

Als je wilt leren wat de kleurentelevisie is, kom je maar met me praten.

Je vriend
WEETAL

HOOFDSTUK II

Alvorens de overdracht van kleurentelevisiebeelden te bespreken, dienen de verschillende eigenschappen van de beschouwde kleur als natuurkundig verschijnsel en als gewaarwording nader te worden bepaald. De hieronderstaande tekst is daaraan gewijd en betreft hoofdzakelijk de volgende onderwerpen:

Definitie van de kleurentelevisie – Grenzen van het zichtbare licht – Spectrumanalyse van wit licht – Chromatische aberratie – Oplossend vermogen – Het gemiddelde oog en de kleurenblindheid – Anatomie en fysiologie van het oog.

EEN KIJKJE IN HET OOG

Een woordspeling

WEETAL – Ik ben blij je weer te zien, Vraagal. Maar je ziet er niet erg opgewekt uit.
VRAAGAL – Ik ben echt woedend. Hoe is het toch mogelijk op een dergelijke wijze de goedgegelovigheid van de mensen uit te buiten. Het is een schande!

W. – Kom, kom, wind je niet zo op en leg me de reden van je verontwaardiging even uit.
Vr. – Dat is heel eenvoudig. Mijn burens, een charmant jongehuwd paar, hadden me uitgenodigd naar de kleurentelevisie te komen kijken. Ze vertelden me dat ze voor een schappelijke prijs een prachtig apparaat hadden gekocht, dat hun zwartwit-ontvanger tot een kleurentelevisie-ontvanger had omgevormd.

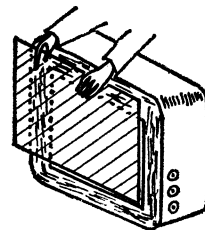
W. – Dat lijkt me totaal onmogelijk. Wat heb je gezien?

Vr. – Doodgewoon een gekleurd filter, dat vóór het beeldscherm was geplaatst. Het onderste deel ervan, ongeveer een vierde, was geelgroen getint, het bovenste kwart was blauw en het midden oranje. De overgangen tussen de kleuren verliepen geleidelijk. Zolang je landschappen zag kon het er nog mee door: de plantengroei was groen en de lucht blauw, hetgeen eigenlijk toch niet onaangenaam was. Maar als het gezicht van de omroepster in close-up verscheen, was het effect afgrijselijk.

W. – Dit heeft natuurlijk helemaal niets te maken met de echte kleurentelevisie. De vernuftige fabrikant van de gekleurde filters heeft met de woorden gespeeld. We dienen aan de hand van je verhaal dus precies vast te stellen, wat er wordt bedoeld met de termen die we zullen gebruiken.

Vr. – Het komt me nochtans voor, dat de termen „zwartwit-televisie” en „kleurentelevisie” op zichzelf voldoende duidelijk zijn om geen extra definitie meer te vragen.

W. – Een grove vergissing, beste vriend. Kun je nog van zwart-wit spreken als het gehele gamma van grijswaarden tot je beschikking staat? En weet je misschien niet, dat de fluorescerende stoffen aan de binnenkant van het beeldscherm licht afgeven, waarvan de tint blauw kan zijn of sepia? Daarom is het naar mijn mening beter te spreken van *monochrome* televisie, aangezien het hier om beelden gaat die slechts één tint hebben (van het Griekse *monos* = alleen en *khrōma* = kleur). Ook de term *achrome* televisie kan worden gebruikt (het Griekse *a* = zonder), waarbij dan de nadruk wordt gelegd dat het beelden betreft waarin de verschillende tinten van de scène niet worden weergegeven, dit in tegenstelling met wat in de kleurentelevisie plaatsvindt.





Vr. – Als ik het goed begrijp, meen ik hieruit te mogen besluiten, dat de echte kleurentelevisie, waarbij de beelden in verschillende kleuren worden weergegeven, eigenlijk polychrome televisie zou moeten worden genoemd (van het Griekse *polus* = talrijk).

Het fysische verschijnsel en de waarneming

W. – En dan heb je gelijk! In het vervolg is het echter, nu we de betekenissen duidelijk hebben omschreven, onbelangrijk welke uitdrukking we gebruiken; aan de ene kant „zwart-wit”, „monochroom” of „achroom” en aan de andere kant „kleurentelevisie” of „polychrome” televisie. Wat echter veel belangrijker is, is het verschil tussen de subjectieve en de objectieve kleur.

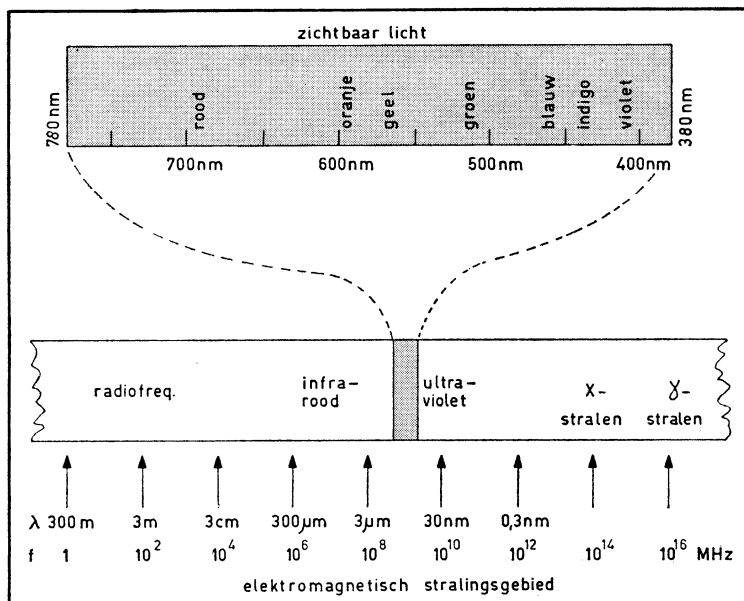


Fig. II.1. In het totale frequentiespectrum (onder) van de elektro-magnetische golven, vertegenwoordigt het zichtbare licht slechts een smalle band, die boven vergroot is weergegeven (zie ook de kleurenfiguur op blz. I.).



Vr. – Wat bedoel je daar nu weer mee?

W. – Dat er veel verwarring ontstaat bij het bestuderen van een wetenschap, omdat er geen duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen het natuurkundige verschijnsel zelf en de waarneming ervan.

Vr. – Is dat filosofie of zoiets? Met een concreet voorbeeld zou ik je wel beter snappen.

W. – Goed. Ik zal er een ontlenen aan een gebied waarmee je vertrouwd bent: dat van de akoestiek. Welke eigenschappen kun je onderkennen in een geluid dat je oren treft?

Vr. – Allereerst de toonhoogte, die laag, gemiddeld of hoog kan zijn. Vervolgens de klankkleur. Een fluit en een viool brengen niet hetzelfde geluid voort, zelfs al spelen ze op dezelfde toonhoogte. En tenslotte de geluidsterkte, die verloopt van het nauwelijks hoorbare „pianissimo” tot het „fortissimo” dat je trommelvliezen bijna doet barsten.

W. – Geweldig! Je hebt nu je eigen geluidswaarneming beschreven, maar waarmee komt dat allemaal overeen in het natuurkundige vlak?

Vr. – De toonhoogte hangt af van de frequentie: het getal van de longitudinale trillingen van de luchtmoleculen. De klankkleur wordt bepaald door de harmonische-trillingen, die tegelijk met de grondtoon optreden. De geluidsterkte is een functie van de amplitude van de trillingen.

W. – Alweer een 10, Vraag! Je hebt op een knappe manier het verschil weten te bepalen tussen de fysische verschijnselen en de waarneming. De laatste behoort in feite tot de fysiologie. We zullen, wat het licht betreft, trachten op dezelfde manier te werk te gaan.

Vr. – . . . en op die manier zal alles duidelijk worden, dat hoop ik tenminste, want het lijkt me, zonder grappig te willen zijn, dat er een heleboel duistere punten bestaan.

W. – Zullen we maar bij het begin beginnen? Wat is licht?



Nauwelijks één octaaf . . .

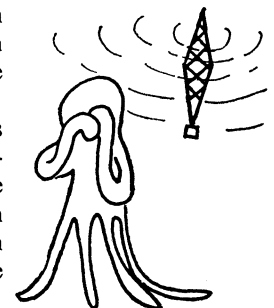
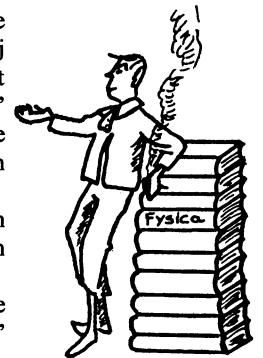
Vr. – Je denkt toch niet dat ik mijn cursus fysica vergeten ben? Het licht maakt deel uit van een uitgebreid gamma van elektromagnetische golven, precies zoals de radiogolven. Ze verschillen onderling slechts in golflengte. Ik heb trouwens ergens gelezen, dat men erin geslaagd is, met bijna klassieke middelen, radiofrequente golven op te wekken, waarvan de golflengten die van infrarode stralen benaderden. Dit onzichtbare licht bevindt zich vlak bij de langste lichtgolven. Ook aan de andere zijde van het spectrum van het zichtbare licht bevinden zich onzichtbare golven, de ultraviolette straling, die ook wel „licht van Wood” wordt genoemd. En als we verdergaan, in de richting van nog kortere golven, betreden we het gebied van de röntgenstralen en vervolgens dat van de gammastraling. Tenslotte komen we in de kosmische straling terecht.

W. – Je zegt het alsof je het uit een boek voorleest! Zou je de waarden van de lichtgolflengten en de plaats van het licht in het spectrum van de elektromagnetische golven nader kunnen bepalen?

Vr. – Ik heb geen geheugen voor cijfers, maar ik herinner me nog wel, dat het, wat de frequentie betreft, nauwelijks één octaaf beslaat; ik bedoel dat de frequentie van de „violette” golven twee maal zo groot is als die van de rode.

W. – Juist. Het zichtbare licht bevindt zich tussen 790 THz en 385 THz. Ik zal er nog bij vertellen, om je geheugen op te frissen, dat één terahertz (THz) gelijk is aan 1 000 000 000 000 hertz. In golflengten uitgedrukt ligt het frequentiegebied van het zichtbare licht tussen 380 nm en 780 nm. Je weet wel dat één nanometer (nm) of millimicron (m μ) gelijk is aan 0,000 000 001 meter, zoals je waarschijnlijk ook weet dat men praktisch gesproken de „ångström” (Å), die gelijk is aan 0,1 nm, niet meer gebruikt.

Vr. – De grens van de golflengten die je aangeeft als die van het zichtbare licht, wordt dus in feite bepaald door onze zintuigen. Het is dus ook mogelijk dat in een andere wereld, bewoond door wezens, waarvan de anatomie en de fysiologische kenmerken verschillen van de onze, de elektromagnetische golven die door hen als licht worden waargenomen, in een andere band van het frequentiespectrum liggen. Stel je voor dat één van die lui met een vliegende schotel bij ons terecht zou komen, dan zou hij verblind kunnen worden door de radiogolven uit een zendantenne . . .



W. – Ik hoor al dat je veel „science-fiction” leest. Ik kan het je trouwens niet kwalijk nemen, want wat vandaag fictie is, kan morgen werkelijkheid worden. We kunnen inderdaad zeggen dat het licht en de kleuren slechts bestaan voor zover we ze zien. Een zekere richting in de wijsbegeerte gaat zelfs zover, te beweren, dat de wereld slechts bestaat in zoverre we er ons bewust van zijn. Maar we dwalen van ons onderwerp af; dat is op dit ogenblik de studie van het licht; het licht dat van de zon komt . . .

Wit licht

Vr. – De schitterende Phoebus overstroomt ons met wit licht, dat, zoals Newton heeft aangetoond, in werkelijkheid is samengesteld uit stralen van allerlei kleuren. De klassieke proef met een prisma maakt het inderdaad mogelijk, het witte licht te ontbinden in een continu of doorlopend kleurspectrum. De brekingsindex hangt af van de frequentie. Daarom zullen de violette stralen bij het doorlopen van het prisma meer worden afgebogen van het oorspronkelijke rechtlijnige traject dan de rode, langegolf-stralen. Tussen deze beide uitersten vinden we dan blauw, groen, geel en oranje.



W. – Ik ben blij dat je het begrip „continu kleurspectrum” hebt aangehaald. In de lichtstreep die door het prisma wordt geprojecteerd, gaan de tinten geleidelijk in elkaar over. Men is overeengekomen, bepaalde zones van deze lichtstreep aan te geven met violet, indigo, blauw, groen, geel, oranje en rood. Tussen deze conventionele namen had „indigo” geen werkelijke reden van bestaan, behalve dan het verlangen van onze voorvaders om beslist *zeven* kleuren te hebben. Het cijfer 7 speelde een grote rol in verschillende mystieke systemen. In feite is het veel rationeler, een afzonderlijke naam te geven aan de tint die tussen blauw en groen ligt, namelijk: turkoois. Men heeft daarvoor echter de naam *cyaan* aangenomen. Hoe je het ook beschouwt, het spectrum omvat het geheel van de stralen met hun frequenties tussen de aangegeven grenzen.

Vr. – Hebben we op die manier alle bestaande kleuren onder ogen gehad?

W. – Niet alle, want het door het prisma ontstane spectrum of de regenboog (die wordt opgewekt door brekingsverschijnselen in waterdruppeltjes) bevat geen *purperkleuren* (of magenta). Deze laatste worden verkregen door een menging van rood en violet, de twee uiterste kleuren van het zichtbare licht. Maar deze tinten bestaan slechts als waarneming: ze zijn het resultaat van de gelijktijdige prikkeling van het netvlies door rode en violette stralen, waarvan de onderlinge verhouding binnen ruime grenzen kan variëren.

Vr. – Maar kan men, zoals in de radiotechniek, ook lichtstralingen opwekken met één enkele frequentie in plaats van een hele frequentieband, zoals het spectrum van het zonlicht?

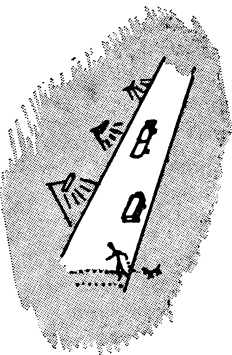
W. – Dat kan inderdaad, door sommige gassen tot gloeien te brengen. Ze zenden dan een discontinu of „discreet” spectrum uit. Als voorbeeld kan ik je de krachtige natriumlampen noemen, die voor de openbare verlichting worden gebruikt. Ze stralen geel licht uit met golflengten van 589 tot 589,6 nm, dus bijna monochromatisch licht, dat wil zeggen, licht van één enkele kleur, wat een beter zicht verzekert.

Vr. – Waarom? Wordt geel dan beter door het menselijk oog waargenomen?

Chromatische aberratie

W. – Nee, helemaal niet. De maximumgevoeligheid van het menselijk oog ligt bij groen met een golflengte van 555 nm. Alleen schakelt men door het gebruik van monochromatisch licht de chromatische aberratie uit.

Vr. – Ik heb nog nooit van die gekke aberratie gehoord!



W. – Je weet, Vraagal, dat het oog kan worden vergeleken met een foto toestel, waarbij de kristallens van het oog de functie van het objectief vervult en het netvlies die van het lichtgevoelige oppervlak. En wat hebben we daarnet gezegd toen we over het prisma spraken? Dat de breking varieert als functie van de frequentie. Een lens of een objectief dat uit verschillende lenzen bestaat, vormt ook een prisma. De stralen worden erin afgebogen en geconcentreerd in punten die „brandpunten” worden genoemd. Je zult wel begrijpen, dat de

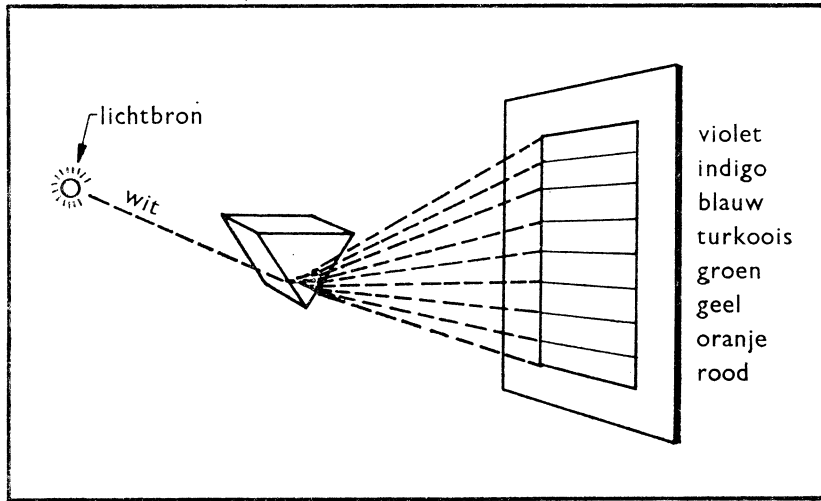
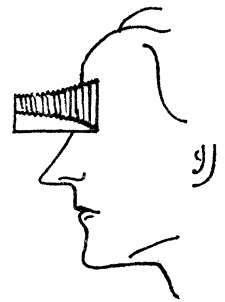
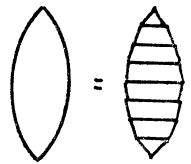


Fig. II.2. Het witte licht levert, na het prisma te hebben doorlopen, een continu kleurenspectrum op (zie ook de kleurfiguur op blz. I).



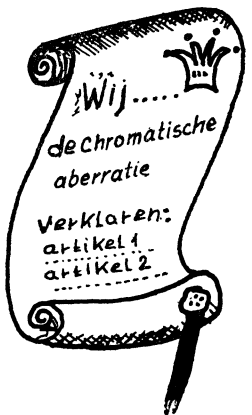
blauwe stralen een brandpunt hebben, dat dichtbij het objectief ligt, terwijl het brandpunt van de rode stralen zich verderaf zal bevinden. Als we een veelkleurig voorwerp bekijken, stelt de oog lens zich zó in (d.w.z. hij kromt zich) dat het brandpunt van de groene stralen juist in het vlak van het netvlies ligt.

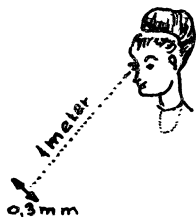
Vr. – Maar dan zal het brandpunt van de blauwe stralen vóór het netvlies liggen en dat van de rode erachter!

W. – Inderdaad. Ik hoor dat je het verschijnsel van de chromatische aberratie goed hebt begrepen. Dit verschijnsel is er dus de oorzaak van, dat we niet gelijktijdig alle details van een veelkleurig beeld met dezelfde scherpte kunnen zien. Als we bijgevolg over een monochromatische verlichting beschikken, zoals in het geval van de natriumlampen, dan regelt de scherpstelling zich precies naar de golflengte van het monochromatische licht. In dit geval dus naar die van geel, zodat het beeld in het vlak van het netvlies wordt gevormd.

Vr. – Als ik het goed begrijp, kunnen we dus veelkleurige beelden niet zo scherp zien als monochrome beelden.

W. – Nee, inderdaad niet, en toch is het oplossend vermogen van het gemiddelde oog, in de as van de waarneming, voor kleurenbeelden even goed als voor zwart-witbeelden. Het





onderscheidingsvermogen bedraagt ongeveer 1 hoekminuut, dit is $\frac{1}{60}$ van een graad. Op één meter afstand kan het gemiddelde oog nog twee punten onderscheiden, die slechts 0,3 mm van elkaar liggen. Maar de beelden die vóór en achter het netvlies worden gevormd, bezitten dit oplossend vermogen niet in die mate.

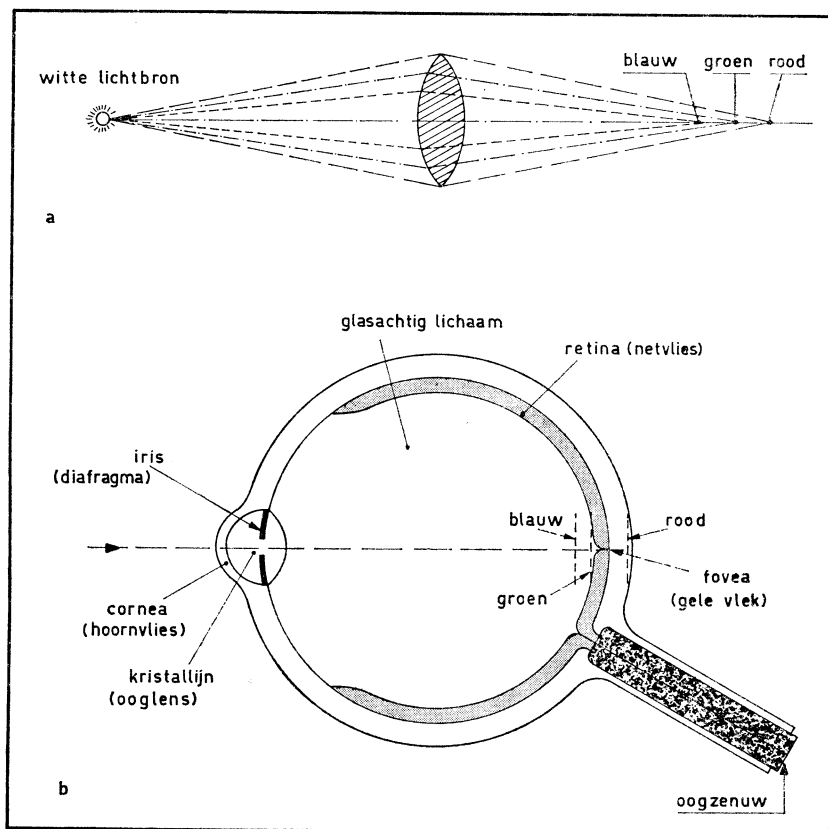


Fig. II.3. a. De stralen van de verschillende kleuren, die uit een gegeven punt komen, worden door een lens geconcentreerd in brandpunten, die op bepaalde afstanden van elkaar liggen als gevolg van de verschillende frequenties van de lichtcomponenten.
 b. Schematische doorsnede van het oog. De ooglens fungeert als optiek. Het beeld van een veelkleurig voorwerp wordt gevormd in onderling verschillende vlakken: als de scherpstelling (die wordt verkregen door de kromming van de ooglens te variëren) voor de groene stralen plaatsvindt (waarvoor het oog het gevoeligst is) zal het groene beeld zich in het vlak van het netvlies bevinden; het blauwe beeld ervóór, het rode erachter. Dit betekent dat deze twee laatste beelden niet scherp waargenomen zullen worden. (Zie ook de kleurfiguur op blz. I.).

Statistische fictie

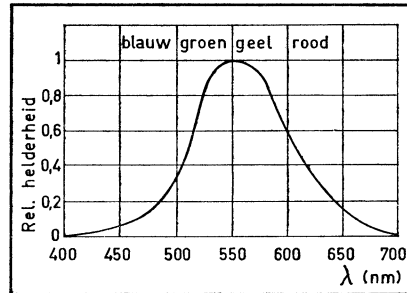
Vr. – Wat bedoel je met „het gemiddelde oog”?

W. – Dat is een statistische fictie, net zoals „de gemiddelde Nederlander”, van wie men

weet dat hij per jaar zoveel kg brood eet en zoveel liter bier drinkt. In werkelijkheid bestaat een dergelijke Nederlander niet, evenmin als het „doorsnee“-oog. De eigenschappen van dit zintuig werden bepaald volgens metingen, verricht op duizenden personen. Om hieruit geldige gemiddelden te kunnen trekken, moet het aantal voldoende groot zijn. Op deze manier is men erin geslaagd, de kleurgevoeligheidskromme van het gemiddelde oog te bepalen. Deze kromme toont aan, dat de gewaarwording voor *stralingen met hetzelfde vermogen* afneemt naarmate wordt afgeweken van het maximum, dat, zoals ik zei, bij groen ligt. Als de gevoeligheid nul is geworden, staan we op de grens van het zichtbare licht. Deze kromme speelt een belangrijke rol in de kleurentelevisietechniek. Ik moet echter nog eens benadrukken dat het hier gaat om het vermaarde „gemiddelde oog“. Er kunnen dus wel degelijk aanzienlijke individuele verschillen bestaan.



Fig. II.4. Relatieve ooggevoeligheidskromme van het gemiddelde oog voor de verschillende kleuren van het spectrum.



Vr. – Ik weet dat er mensen zijn, die helemaal geen kleuren kunnen waarnemen. Men noemt ze kleurenblind. Eén van mijn vrienden wordt door deze kwaal geplaagd. Hij heeft het me verteld, toen ik hem op een keer zag lopen met één groene en één rode sok aan.

W. – Circa één op de tweehonderd mensen is niet in staat, deze twee kleuren uit elkaar te houden. Het eigenaardige is, dat dit gebrek veelvuldiger bij mannen voorkomt dan bij vrouwen. Er zijn ook mensen, wier ogen *totaal ongevoelig* zijn voor kleuren, die in de omgeving liggen van het rode uiterste van het spectrum.

Vr. – Alles bijeengenomen zijn onze ogen lang niet die volmaakte instrumenten, waarin we alle vertrouwen mogen stellen, zoals de uitdrukking „Ik heb het met mijn eigen ogen gezien“ zou doen vermoeden. Ik vind het wel erg. Wie of wat kan men nog vertrouwen?



Rationeel gebruik van de gebreken

W. – Klaag maar niet. Ik heb je reeds vaak gezegd dat de kunst van het leven hieruit bestaat, profijt te trekken uit de gebreken van dingen en mensen. De film- en televisietechniek zijn ontstaan, omdat ons gezichtsvermogen een zekere traagheid (persistentie) bezit, die er oorzaak van is, dat de gewaarwording gedurende iets meer dan $\frac{1}{10}$ seconde blijft bestaan. Je zult zien dat de kleurentelevisietechniek ook van bepaalde gezichtsonvolmaaktheden gebruik maakt, bijvoorbeeld van het gebrek aan kleurscherpte als gevolg van de chromatische aberratie, en ook van een zeker gebrek aan „selectiviteit“, dat er oorzaak van is, dat twee tinten met dicht bij elkaar liggende golflengten niet scherp kunnen worden onderscheiden.



Je hebt zeker wel eens gemerkt, dat men de kleuren van te kleine of te fijne voorwerpen of details niet meer kan zien?

Vr. – Ja, dat weet ik. Daarom legt moeder, als ze wil zien of stof en draad bij elkaar passen, het hele klosje naaigaren op de te bewerken stof, in plaats van alleen maar één draad.

W. – Juist. Om dezelfde reden gebruikt een zetter die zijn vak kent, vette letters voor kleurendruk, omdat van te kleine of te dunne letters de kleur niet bepaald kan worden. Dat betekent, Vraagal, dat we nog niet klaar zijn met ons gesprek over de weergave van fijne kleurdetails.

Vr. – Ik raad het al. We zullen voor de overdracht van de kleuren kunnen volstaan met een vrij smalle videodoorlaatband.

W. – Ook juist. Maar voor we zover zijn, dienen we eerst dieper in te gaan op de fysiologische aspecten van de kleur en de samenhang met de fysische eigenschappen. Hiervoor zouden we er goed aan doen, het orgaan dat de lichtstralen opvangt, het „oog”, nader te onderzoeken.

Anatomie en fysiologie van het oog

Vr. – Ik denk dat ik hiervan heel wat weet. We hebben al gezegd dat het oog kan worden vergeleken met een fototoestel. De ooglens neemt de functie van het objectief waar, maar dan met automatische scherpstelling: de spiertjes rondom de lens wijzigen de kromming ervan, zodat de scherpstelling wordt gewijzigd als functie van de afstand tot het waargenomen voorwerp, waardoor het op de retina (netvlies) geprojecteerde beeld de maximale scherpte zal krijgen.

W. – Heel goed, beste vriend. Ga verder met je uiteenzetting en leg de structuur en de functie van het netvlies uit.

Vr. – Het netvlies bedekt de binnenachterkant van het oog. Het fungeert als lichtgevoelig oppervlak. Ik weet dat het licht er chemische en elektrische reacties veroorzaakt, die dan door de gezichtszenew naar de hersenen worden overgebracht, waar ze de gewaarwording van licht realiseren. Een verdere gedetailleerde analyse kan ik echter niet geven.

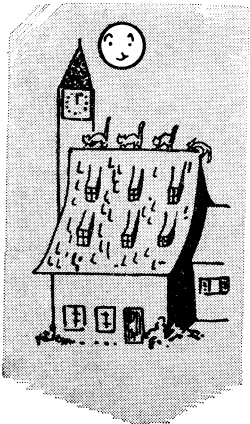
W. – Ik ook niet, er zijn trouwens een heleboel dingen die nog niet wetenschappelijk zijn verklaard. Wat men wel kent, is de samenstelling van de lichtgevoelige elementen van de retina. Afhankelijk van de vorm worden ze „kegeltjes” of „staafjes” genoemd. Elk oog bevat circa 120 miljoen staafjes en 6 miljoen kegeltjes. Je begrijpt dat deze elementen uiterst klein moeten zijn.

Vr. – En waartoe dienen deze beide soorten?

W. – De kegeltjes dienen voor het zien van de kleurtinten, terwijl de staafjes alleen op de lichthelderheid reageren, dus onafhankelijk van de kleur. Ze zijn veel gevoeliger voor licht (verscheidene duizenden malen) dan de kegeltjes. Dat betekent dus, dat bij geringe helderheid alleen de staafjes de waarneming bepalen; de kleuren worden dan dus niet meer waargenomen.

Vr. – Nu begrijp ik beter waar het spreekwoord: „Bij avond zijn alle katjes grauw”, vandaan komt. Maar overdag . . .

W. – . . . kan je een gestreepte, Siamese of Perzische kat goed onderscheiden, evenals de kleur van hun mooie ogen, want dan treden de kegeltjes van het netvlies in werking. Het mechanisme hiervan ken ik niet. Aan het einde van de vorige eeuw heeft de Engelse natuurkundige Thomas Young de hypothese geponoerd, dat er drie soorten kegeltjes zouden bestaan: de eerste gevoelig voor rood licht, de tweede voor groen en de derde voor blauw. In 1964 hebben de biofysici van de Amerikaanse Johns Hopkins-universiteit experimenteel aangetoond, dat Young gelijk had. De kegeltjes voeren een echte analyse van de spectrum-



inhoud van het licht uit. Elke categorie kegeltjes brengt de informatie betreffende de lichtsterkte binnen het gebied van de bepaalde kleur naar de hersenen over.

Individuele of collectieve berichten

Vr. – Ik stel me de hersenen voor als een ontvangstation, dat bijvoorbeeld via antennes het volgende bericht zou binnenkrijgen: hier kegeltje zoveel op die breedtegraad en die lengtegraad van het netvlies: ik ontvang een lichtstroom van zoveel lumen in de oranjezone, gelegen tussen de golflengten 590 en 640 nm.

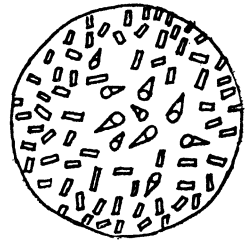
W. – In werkelijkheid ontvangen de hersenen geen individuele berichten van elk kegeltje of staafje, omdat het aantal transmissielijnen (in dit geval dus de vezels van de gezichtszenuw) in de orde van grootte van één miljoen ligt. Dat betekent, dat elke vezel een aantal „collectieve berichten” moet vervoeren, die waarschijnlijk van een groep elementjes van dezelfde soort afkomstig zijn.

Om volledig te zijn moet ik er nog aan toevoegen, dat zich in het centrum van de retina een kleine uitsparing bevindt die, „fovea” („netvlieskuiltje”), of „gele vlek” wordt genoemd. Hij is uitsluitend met kegeltjes bezet en wel met een maximale dichtheid. We onderscheiden daarom de gekleurde beelddetails het best in het gedeelte dat overeenkomt met de as van waarneming. De staafjes, die in de fovea ontbreken worden in de richting van de rand van het netvlies hoe langer hoe talrijker. Dat is de reden waarom men met een zijdelingse blik beter details met verschillende helderheden waarneemt.

Daartegenover staat, dat de gezichtsscherpte voor kleuren buiten de as van waarneming sterk afneemt wegens het zeldzaam worden van de kegeltjes.

Vr. – Dat lijkt me glashelder, maar het zou nog duidelijker worden, denk ik, als je me een paar concrete experimenten kon tonen, zoals er vroeger in de Parijse salons plaatsvonden.

W. – Dat is geen gek idee, Vraagal. De volgende maal breng je je koffers mee, dan rijden we naar Parijs voor een bezoek aan de Opticaal van het „uitvindermuseum”.*



* Het „Palais de la Découverte” is een groot museum aan de Champs Elysées te Parijs, waarin een enorm aantal ontdekkingen en uitvindingen verzameld werd. Dit „paleis” is een bezoek meer dan waard.

HOOFDSTUK III

Een aantal experimenten zal Weetal in de gelegenheid stellen, zijn vriend de verschillende wetten van de kleurige wereld beter te laten begrijpen. Hierbij zal hij de volgende onderwerpen behandelen:

Kleursynthese met behulp van de schijf van Newton – De kleur van voorwerpen – Additieve en subtractieve methoden – Tint, helderheid en verzadiging – Primaire kleuren – Driekleuren-principe – Cilinder van Munsell – Gezichtsbedrog.

IN HET UITVINDERSMUSEUM

Kleursynthese met de schijf van Newton

Vr. – Zeg, wat is het hier donker! En ik dacht nog wel dat deze zaal, die voor de studie van het licht is bestemd, feestelijk verlicht zou zijn.

W. – Daarover hoef je je toch niet zo te verwonderen. Immers, als je ziek in bed ligt, waardeer je je gezondheid pas. Zo kun je ook in het donker het gemakkelijkst het gedrag van het licht aantonen. Trouwens, hier heb je al het bewijs van wat ik beweert.

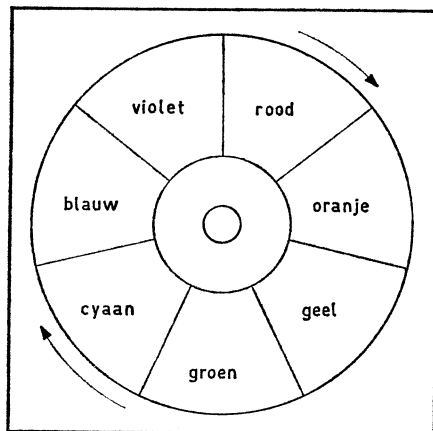
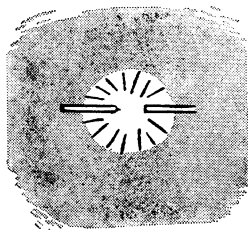


Fig. III.1. Als men deze schijf van Newton vrij snel laat draaien, zullen de kleuren worden gesuperponeerd, waardoor de impressie van wit licht ontstaat.



Hier zie je het fundamentele experiment van de ontbinding van licht met behulp van een prisma. Over dit experiment hebben we reeds gesproken. De zon is hier echter vervangen door een elektrische vlamboog, die ook wit licht afgeeft. Men kan de voorwaarden van het experiment omkeren. Kom eens even hier, en kijk eens door dit prisma naar de kleurspectrumstreek.

Vr. – Ik verwachtte al dat ik wit licht te zien zou krijgen. Door de verschillende spectrumkleuren opnieuw samen te stellen, verkrijgt men weer wit licht. Dit is dan voor de zoveelste keer een geval van omkeerbaarheid in de natuurkunde. Laat een dynamo draaien en hij zal stroom afleveren. Voer stroom aan hem toe en hij zal gaan draaien.

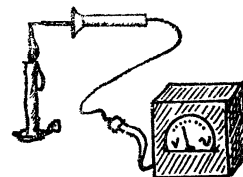
W. – Jawel, en sluit een soldeerbout aan op het net en hij zal warm worden. Maak de punt van dezelfde soldeerbout warm en je vindt een wisselspanning van 50 Hz aan de stekker!?

Vr. – Je hoeft niet te spotten, Weetal. Ik weet heel goed dat niet alle natuurverschijnselen op dezelfde wijze omkeerbaar zijn . . . wat is dat voor een schijf, waarop alle kleuren van de regenboog zijn aangebracht?

W. – Dat is de schijf van Newton. Als je op deze knop drukt, begint hij te draaien.

Vr. – Daar gaat hij dan! Nee maar, hij is helemaal wit geworden! Oh ja, ik snap het al, dat is ook weer een verschijnsel van opnieuw samenstellen van de kleuren.

W. – Er bestaat nochtans een verschil tussen het opnieuw samenstellen met een prisma, waarin een ruimtelijke superpositie wordt opgewekt en deze samenvoeging *in de tijd* door middel van de schijf van Newton. In het laatste geval is het verschijnsel te danken aan het voortduren van de visuele gewaarwordingen. Aangezien we het nu toch over gewaarwordingen hebben, laten we even gaan kijken naar een nogal grappig experiment. Wat zie je hier?



De kleur van de voorwerpen

Vr. – Vierkante stukjes papier met verschillende kleuren: een wit, een rood, een groen en een blauw papiertje.

W. – Ze worden door wit licht beschenen. Druk nu op de knop die met „R” is aangegeven. Je zult bemerken dat het licht rood is geworden. Daartoe werd een filter van rood glas vóór de lichtbron geplaatst. Dat houdt alle golflengten tegen, met uitzondering van een smalle band die zich bij ongeveer 700 nm bevindt.

Vr. – In de radiotechniek noemt men dat een banddoorlaatfilter. Nou, met deze verlichting is het witte papiertje rood geworden, het rode is rood gebleven, maar waarom zijn het groene en blauwe papier zwart geworden?

W. – Dat is vrij eenvoudig verklaarbaar. Een voorwerp lijkt groen als het alle lichtstralen absorbeert, behalve de groene. Zeg me nu eens, Vraagal, als een voorwerp geen groene stralen absorbeert, wat gebeurt er dan mee?

Vr. – Ik veronderstel, dat er maar één mogelijkheid bestaat. Ze worden teruggekaatst (gereflecteerd).

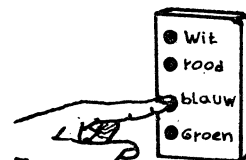
W. – Juist! In dit geval bevat het rode licht geen groene lichtstralen. Het papier weerkaatst dan helemaal geen licht. En een totale afwezigheid van licht wordt in het Nederlands nu eenmaal „zwart” genoemd.

Vr. – Hetzelfde geldt voor het blauwe papiertje, dat alle lichtstralen absorbeert, behalve de blauwe, die worden gereflecteerd. Aangezien deze rode verlichting geen blauw bevat, zien we het blauwe vierkantje als was het zwart. Mag ik daaruit afleiden dat de kleur van voorwerpen niet alleen afhangt van de absorptie- en reflectie-eigenschappen van zijn oppervlak, maar ook van de samenstelling van het licht dat erop valt?

W. – Dat is de logische conclusie van het hier voorgestelde experiment.

De subtractie van kleuren

Vr. – Nu druk ik op de B-knop. Dat blauwe licht is wel mooi, niet? Zoals ik me kan indenken is het rood evenals het groen zwart geworden, terwijl het blauw opnieuw blauw is



en het wit eveneens . . . ; als ik het goed begrijp, is een wit voorwerp iets, dat geen licht absorbeert en alle golflengten weerkaatst.

W. – Natuurlijk, en een zwart voorwerp absorbeert alle golflengten en weerkaatst geen licht.

Vr. – Nu snap ik meteen waarom één kant van bemande ruimtevaartuigen zwart is en de andere kant wit.

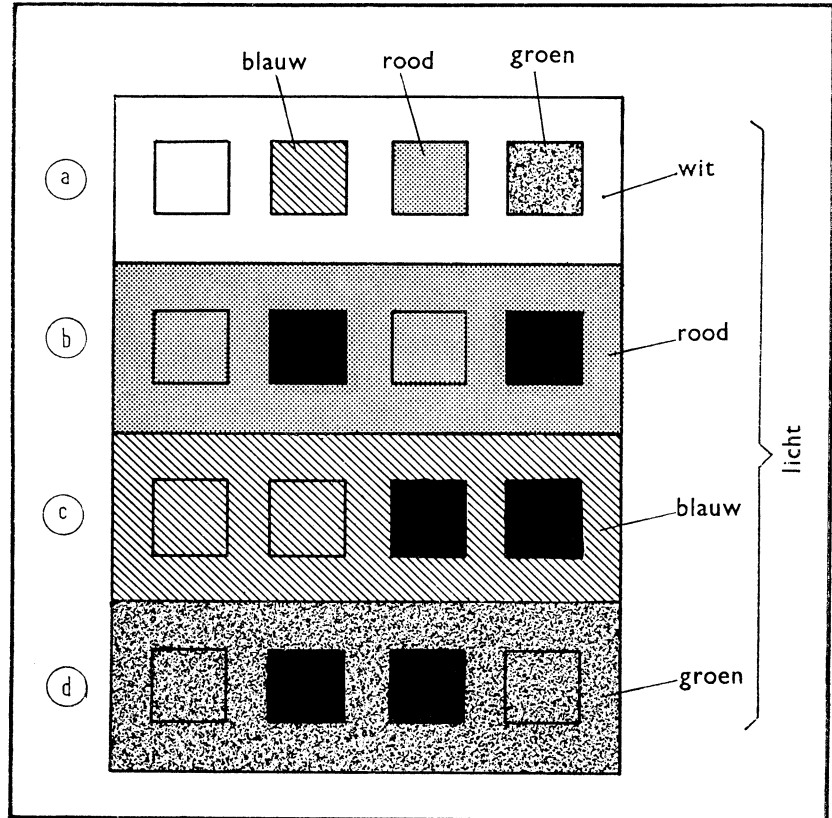


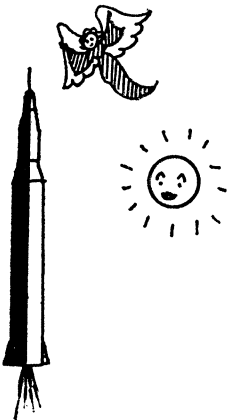
Fig. III.2. a. Worden de vierkantjes door wit licht beschienen, dan zijn hun kleuren resp. wit, blauw, rood en groen.

Met rood (b), blauw (c) en groen licht (d) behouden alleen die vierkantjes, waarvan de kleur met die van het licht overeenkomt, hun oorspronkelijke kleur. (Zie dezelfde figuur in kleuren op blz. II.)

Als ruimtevaarders zich willen verwarmen, draaien ze hun vaartuig zodanig, dat de zwarte zijde naar de zon is gericht, waardoor alle stralen worden geabsorbeerd. Hebben ze het te warm, dan keren ze de witte zijde naar de zon toe, zodat er niets meer wordt geabsorbeerd.

W. – Ik hoor wel dat het onderricht van de science-fiction-boeken goed aan jou is besteed.

Vr. – Nu ik nog even nadenk over wat ik heb gezien, lijkt het me alsof de kleur die we zien,



bepaald wordt door een soort van „subtractie”. De gekleurde filters zowel als het gekleurde oppervlak van de voorwerpen reageren als volgt: ze nemen een gedeelte van het continue lichtspectrum weg.

Het filter belet de doorgang van bepaalde golflengten, het gekleurde oppervlak absorbeert ze.

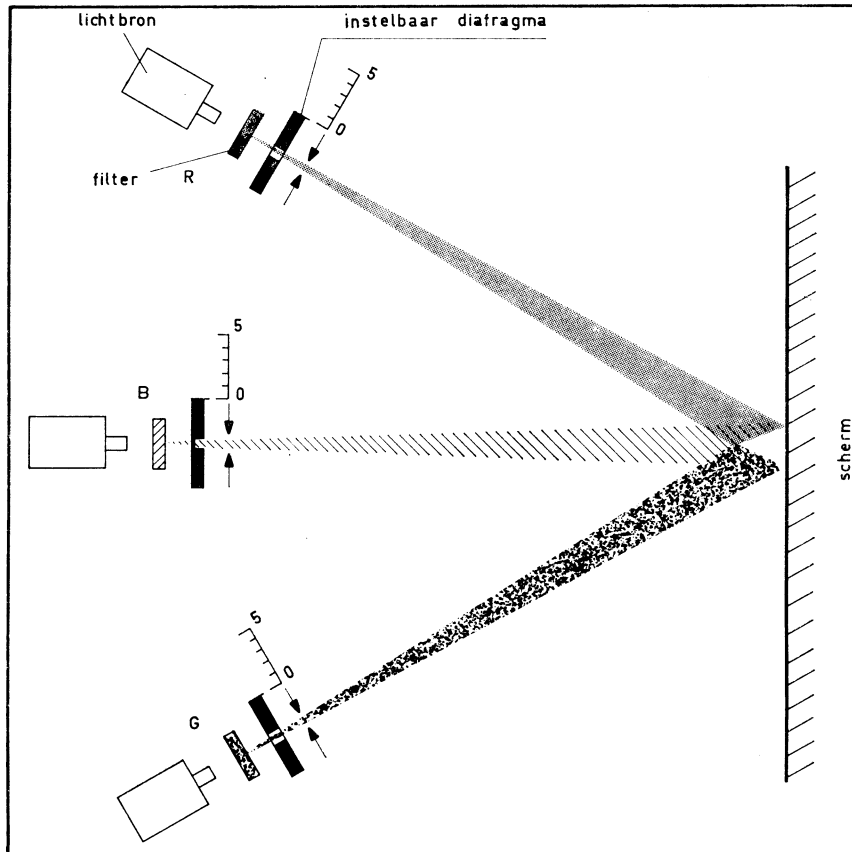


Fig. III.3. Drie witte lichtbronnen, voorzien van rode, blauwe en groene filters en van regelbare diafragma's, waarmee de sterkte van het licht op het witte scherm kan worden geregeld. Met de *additieve* menging die aldus wordt verkregen kan het merendeel van de kleuren worden opgewekt.

W. – Jawel, in die twee gevallen werden de kleuren verkregen via de *subtractieve methode*. Dit is ook het geval bij kleurendiaposities, waarin elk beeldelement op zichzelf een miniatuurfilter vormt. Op het gebied van de natuurkundige verschijnselen vindt men alleen de subtractieve methode. Maar de kleuren kunnen ook worden opgewekt door de *additieve methode*. In dat geval gaat het echter om psycho-fysiologische verschijnselen; verschillende



gelijktijdig waargenomen golflengten worden in de hersenen geïntegreerd. Kom eens even hier en probeer zelf alle soorten van licht samen te stellen door menging van het licht van deze drie projectoren. Ze zijn alledrie op een wit scherm gericht. Eén van de projectoren werd van een rood filter voorzien, de andere van een blauw en de derde van een groen filter. Elke projector is uitgerust met een regelbaar diafragma om de sterkte van het geprojecteerde licht te regelen. Dat betekent, dat je een oneindig aantal verschillende kleurmengingen kunt verkrijgen. Ga je gang maar! Het staat je vrij, deze inrichting naar believen te bedienen.

De ontdekking van de luminantie

Vr. – Laat eens even kijken welk resultaat we met één projector verkrijgen. Ik draai het rode en het blauwe diafragma volledig dicht en ik open geleidelijk het groene . . . ik blijf dezelfde groene kleur zien, die almaar helderder wordt.

W. – Je hebt daar een vrijwel zuivere kleur, dat is dus een kleur die wordt opgewekt door stralen, die vrijwel dezelfde golflengte hebben. Door het diafragma in te stellen, wijzig je alleen de hoeveelheid geprojecteerde lichtenergie. Grafisch zou dit lightspectrum door een verticale lijn worden voorgesteld, waarvan de amplitude zou variëren als functie van de opening van het diafragma. De kleur wordt steeds met dezelfde schakering waargenomen en alleen de helderheid of *luminantie* varieert. Onthoud goed de betekenis van deze twee termen, Vraagal, en begin nu maar te mengen.



Het wit in het driekleurensysteem

Vr. – Ik zal eerst de opening van de drie diafragma's regelen, laten we zeggen op de helft van de maximale opening . . . maar zeg, Weetal, zie jij nu ook wit. . . of heb je misschien de filters weggenomen?

W. – Helemaal niet beste vriend, alleen is de sterkte van de lichtbronnen hier zodanig ingesteld dat, voor dezelfde diafragma-opening, de additieve menging juist de indruk geeft van wit licht. Daar is niets verwonderlijks aan, daar je toch weet dat hetgeen we zien als wit licht in werkelijkheid een menging is van stralen met verschillende kleuren. Het is zelfs helemaal niet nodig dat het gehele continue kleurspectrum wordt bestreken: *drie kleuren zijn reeds voldoende*. De natuur zelf lijkt ons dit driekleurensysteem op te leggen, aangezien het netvlies is samengesteld uit drie soorten van lichtgevoelige elementen, die ieder voor zich worden beïnvloed door één van de drie grondkleuren, namelijk rood, groen en blauw. We noemen deze: *primaire kleuren*.

Vr. – Accoord, wat het wit aangaat. Maar de andere kleuren dan? Kan ik die ook opwekken door gewoon de drie primaire kleuren te mengen?

W. – Probeer het eens, je zult het wel zien.

De ontdekking van de verzadiging

Vr. – Goed, even kijken wat verhoging van rood zal geven. Ik open het rode diafragma een beetje meer. Kijk, het wit verdwijnt en in de plaats ervan verschijnt lichtroze. Ik open het diafragma nog meer . . . het roze verliest meer en meer de pastelkleurige indruk en nu het diafragma helemaal open is, is het scherm rood geworden, hoewel dit rood vrij bleek is, wat denk je ervan, Weetal?

W. – Dat is heel normaal. Het rood kan worden beschouwd alsof het met wit is gemengd,

door de menging van blauw en groen uit de twee andere projectoren met een gedeelte van het rood.

Vr. – Als ik nu gelijktijdig het blauw en het groen verminder, dan zal een kleinere hoeveelheid rood worden gebruikt om wit op te wekken en dan zou het vrij bleke rood sterker moeten door komen. Wat denk je?

W. – Proberen, Vraagal, proberen . . .

Vr. – Kijk es aan, hoe fel het rood wordt! Nu er geen blauw of groen meer is, ziet het rood er bijzonder mooi uit, niet?

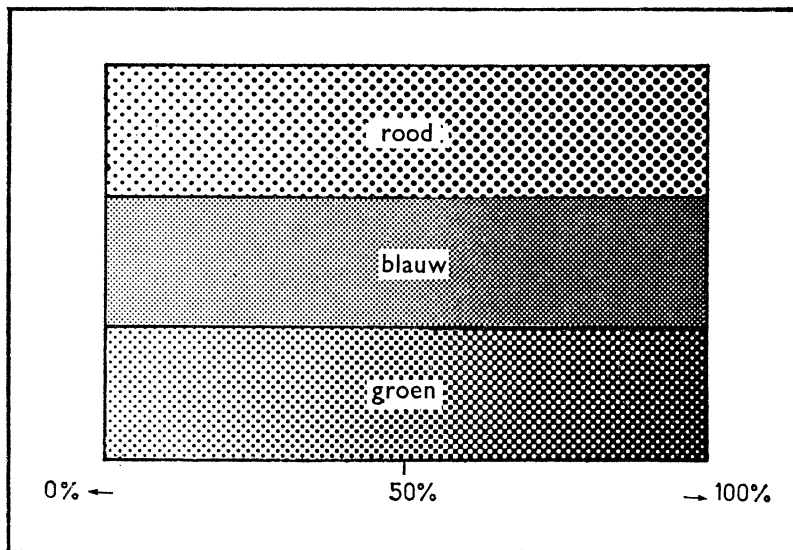


Fig. III.4. Door de verhouding van het witte en het gekleurde oppervlak juist te doseren, verkrijgt men een verzadigingsverloop tussen 0 en 100% (zie ook de figuur in kleuren-druk op blz. II).

W. – Jazeker. De kleur is nu „verzadigd”. Met de term „verzadiging” bedoelt men de zuiverheidsgraad of puurheid van een kleur. In jouw experiment veranderde de kleurschakering niet, het was steeds rood, maar de dosis wit werd almaar kleiner. Je had dezelfde stijging van de verzadiging ook kunnen waarnemen, als je een glas water druppel voor druppel met rode inkt had gemengd. Het water zou langzaam roze worden, vervolgens lichtrood en tenslotte, wanneer de hoeveelheid inkt veel groter dan die van het water zou zijn geworden, zou je een werkelijk rode vloeistof hebben verkregen.

Vr. – Ik zou natuurlijk hetzelfde hebben kunnen doen met blauwe of groene inkt, of met inkt van onverschillig welke kleur. Als ik het goed begrijp is de verzadiging onafhankelijk van de tint.

W. – Je kunt voor elke tint het gehele gamma van verzadiging opwekken, van 0 tot 100%.

Vr. – Ik vind dat de term „verzadiging” slecht is gekozen. Naar mijn mening geeft het woord



„verzadiging” een bovenste grens aan. Men spreekt van de verzadigingsstroom van een elektronenbuis, als zijn karakteristiek horizontaal gaat verlopen en ik voel me verzadigd na een overvloedige maaltijd . . . en nochtans kan men in het geval van kleuren spreken over een verzadiging, gelijk aan nul, of 10, 20, 50% . . .

W. – Ik geef toe dat het woord enigszins ongelukkig is gekozen. Men leest ook wel eens „puurheidsfactor”, maar dat gebeurt dan toch zeer zelden.

De drie primaire eigenschappen

Vr. – Ik veronderstel, dat de verzadiging afhangt van de helderheid. Hoe sterker het licht, hoe pastelachtiger de kleur.

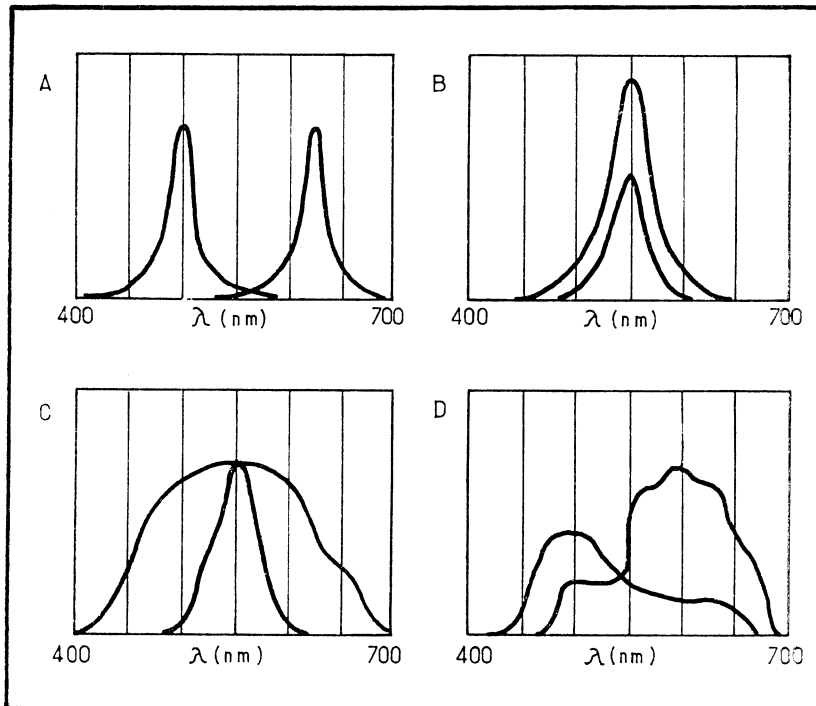


Fig. III.5. *Krommen die niet-monochromatisch licht voorstellen.*

- A. De kleuren hebben verschillende tinten.
- B. De luminantie van de kleuren is verschillend.
- C. De kleuren tonen verschil in verzadigingsgraad.
- D. De kleuren verschillen onderling in tint, luminantie en verzadiging.

W. – Dat is dan fout! Houd in gedachten eens een met inkt gevuld glas omhoog. Of je nu door deze vloeistof naar een lamp van 40 watt kijkt of naar een van 150 watt, *de verzadiging* blijft dezelfde. Hetzelfde geldt als je op een strook papier heel kleine kleurstippen aanbrengt, dun verspreid aan de ene kant, met toenemende dichtheid naar de andere kant, tot de stippen

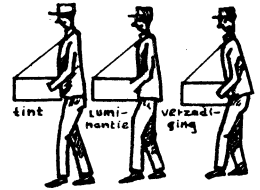
in elkaar vloeien en je geen wit meer kunt zien. Vanaf een bepaalde afstand gezien vormt dit een uitstekende verzadigingswig. Of je die nu bekijkt onder kaarslicht of onder zonlicht, de verzadigingswaarden veranderen niet, terwijl *de luminantie* in hoge mate varieert.

Vr. – Gesnapt. Ik zal nu proberen, een samenvatting te geven van wat je me over het zien van kleuren hebt verteld, om na te gaan of het allemaal goed in mijn hoofd zit. Drie factoren kenmerken een kleur voor het oog: *de tint, de helderheid en de verzadiging*.

De tint hangt af van de overheersende (dominerende) golflengte in het lichtspectrum, dat het netvlies prikkelt.

De luminantie of helderheid wordt bepaald door het vermogen van dit licht.

De verzadiging is een functie van de spectrumverdeling van het geheel van het prikkelende licht.



W. – Ik heb bewondering voor de duidelijke wijze, waarop je deze definities hebt weten te formuleren. Zou je me bovendien nog kunnen zeggen, waarmee deze factoren overeenkomen in een grafische voorstelling van het lichtspectrum?

Vr. – De tint wordt bepaald door de plaats van de top van de kromme en de helderheid door de hoogte ervan. Wat de verzadiging betreft, zou ik misschien kunnen zeggen, dat die wordt gekenmerkt door de min of meer absolute „selectiviteit” van deze kromme.

W. – Je manier van uitdrukken is misschien niet erg elegant, maar bewijst toch dat je alles hebt begrepen. We kunnen inderdaad zeggen, dat de krommen voor verzadigde kleuren smal en puntig zijn, zoals de krommen van zeer selectieve kringen. Een kleine verzadiging wordt gekenmerkt door een platte, uitgestrekte kromme, net zoals de doorlaatkromme van sterk gedempte kringen.

Klank- en lichtspel

Vr. – Weetal, ik heb een prachtimee!

W. – Over het algemeen sta ik vrij wantrouwig tegenover die prachtimeeën van jou. Maar vandaag blijkt je vlug van geest te zijn, dus laat dat geniale idee eens horen.

Vr. – Spot maar niet, het is mij ernst. Ik denk aan de analogie tussen de geluids- en de licht-gewarwordingen. Voor het geluid hebben we eveneens drie eigenschappen: *de toonhoogte* die van de grondfrequentie afhangt, *de geluidsstrekte* die een functie is van het vermogen of de amplitude van de trillingen en tenslotte *de klankkleur* (of het timbre) die wordt bepaald door het aantal en het relatieve vermogen van de harmonischen. Ik zal deze overeenkomst in een tabelletje samenvatten:

Geluid		Licht	
Impressie	Natuurkundig verschijnsel	Impressie	Natuurkundig verschijnsel
toonhoogte	grondfrequentie	tint	dominerende frequentie
geluidsstrekte klankkleur	vermogen harmonischen	helderheid verzadiging	vermogen spectruminhoud



Diverse mengkleuren

W. – Gefeliciteerd Vraagal! Jouw geluids- en lichtspel bevalt me. Ik hoop dat je tabel hier

eens zal worden opgehangen in de gang tussen de acustica- en opticaal. Laten we in afwachting daarvan toch maar verdergaan met onze proeven. Wil je het diafragma van de blauwe projector volledig sluiten en rood en groen mengen?

Vr. – Ik krijg nu geel! Hoe is dat mogelijk?

W. – Dat is helemaal niet zo verbazingwekkend. Als je oog geel licht binnenkrijgt, prikkelt dit voornamelijk de kegeltjes van de retina die gevoelig zijn voor rood en groen, want er zijn geen specifieke kegeltjes voor geel. Hier wek je rechtstreeks hetzelfde effect op, door aan genoemde kegeltjes rood en groen licht toe te voeren in de juiste verhouding.

Vr. – Begrepen! Nu wijzig ik met behulp van de diafragma's de verhouding van rood en groen en ik stel vast dat het licht alle tinten doorloopt die in het kleurenspectrum tussen groen en rood liggen, oranje inclusief.

W. – Meng vervolgens groen en blauw door het rode diafragma te sluiten. Ook nu kun je alle tussen groen en blauw liggende kleuren opwekken, cyaan of turkoois inbegrepen.

Vr. – En nu sluit ik het groene diafragma en meng rood en blauw. Dit keer zie ik de verschillende tinten van purper of magenta. Deze schakeringen bestaan niet in het spectrum. Je hebt me al uitgelegd, dat ze niet overeenkomen met bepaalde golflengten. Het zijn eigenlijk gewaarwordingen, die veroorzaakt worden door prikkeling van de kegeltjes die gevoelig zijn voor rood en blauw.

~~G+B=Cyaan~~

G+B = Turkoois **Oneindig tot de derde macht**

W. – Als je zo verdergaat, zal men je hier houden om voordrachten te geven en als gids. Dan zul je hele dagen met deze drie projectoren kunnen spelen en een oneindig aantal kleur-schakeringen kunnen opwekken.

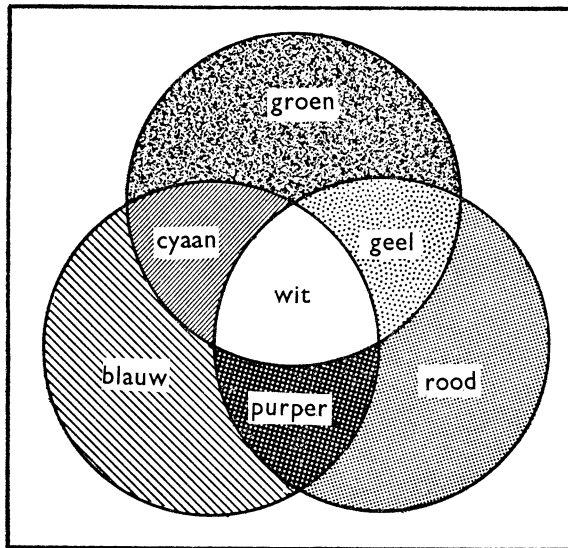


Fig. III.6. *Additieve menging van de primaire kleuren.* Deze figuur, die men in alle handboeken over kleuren aantreft, toont aan welke gewaarwording wordt veroorzaakt door het gelijktijdig waarnemen van twee of drie primaire kleuren. Het is dus in feite een psycho-fysiologisch verschijnsel, dat zijn ontstaan dankt aan de prikkeling van het netvlies door lichtstralen met verschillende golflengten. (Zie deze figuur ook in kleuren op blz. II.)

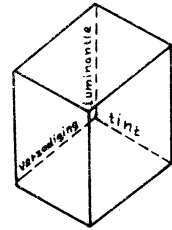
Vr. – Ik zou zelfs durven zeggen „oneindig tot de derde macht”, want voor elk van het oneindige aantal schakeringen bestaat een oneindige verzadigingsgradatie. En voor deze „oneindigheid in het kwadraat” kan er nog een oneindig aantal helderheidstrappen worden

opgewekt. Voor deze „oneindigheid tot de derde macht” zou men een beroep moeten doen op een ruimtelijke voorstelling met drie coördinatie-assen.

W. – Daarin heb je gelijk, maar zover zijn we echter nog niet. Wat van het grootste belang is bij deze proefneming is, dat deze „oneindigheid tot de derde macht”, zoals je het zo treffend zegt, kan worden opgewekt met behulp van *drie primaire kleuren, rood, groen en blauw*. Dit is het driekleurenprincipe, dat wordt toegepast op verschillende gebieden van de kleurenbeeldweergave.

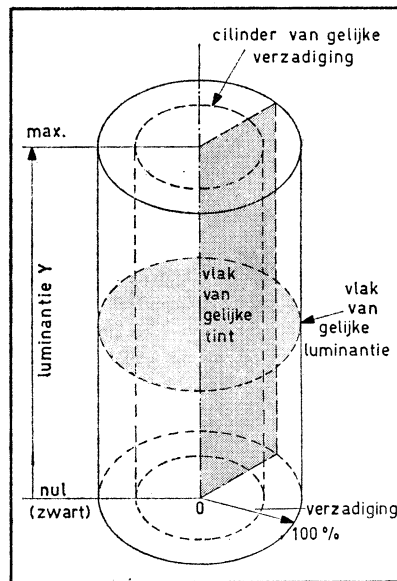
Vr. – Wat is dat voor een gekke doorschijnende cilinder, waarin men alle kleuren ziet?

W. – Dat is nu juist één van de verschillende mogelijkheden om ruimtelijk voor te stellen wat jij „oneindig tot de derde macht aantal kleuren” noemt. Het is de cilinder van Munsell, genoemd naar de natuurkundige, die deze vernuftige manier van kleurvoorstelling heeft uitgedacht.

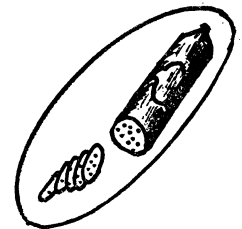


∞³

Fig. III.7. De cilinder van Munsell, die alle mogelijke kleuren voorstelt. De luminantie of helderheid neemt toe met de hoogte, de verzadiging met de afstand tot de lengte-as en de kleur varieert met de hoek.



Laten we de cilinder nu even in het horizontale vlak doorsnijden (in feite is dit model in schijven verdeeld, net zoals een in schijfjes gesneden worst). Wat zie je in deze cirkel? Aan de omtrek hebben we het totale kleurengamma, gaande van rood, via oranje, geel, groen, blauw naar violet, en tenslotte via de purperkleuren terug naar rood. Dat zijn kleuren met een verzadiging van 100%. Volg nu eens een straal. De verzadiging vermindert naarmate je vanaf de omtrek naar het middelpunt toe gaat, waar ze nul is geworden; dat betekent dat het middelpunt grijs is. In deze schijf hebben alle kleuren dezelfde helderheid. Hoe hoger je gaat, hoe groter de luminantie wordt. In het grondvlak van de cilinder is hij nul, zodat de basis doodgewoon zwart is.



Vr. – Geweldig is dat! We hebben hier dus alle combinaties van tint, verzadiging en helderheid. Als we de cilinder nu eens doorsnijden volgens een vlak, dat door de as loopt en door die as wordt begrensd, dan omvat dit vlak alle mogelijke verzadigingen en helderheden van één kleur.

W. – Juist. En wat zul je aantreffen op de mantel van een cilinder met dezelfde as, maar met een kleinere diameter?

Vr. – Alle bestaande tinten, evenals alle mogelijke helderheden, maar met identieke, lagere verzadigingsgraden.

W. – Bravo! Verder vestig ik er nog je aandacht op, dat de as van de cilinder van Munsell het gehele grijsgamma voorstelt, zwart onderaan en wit boven.

Vr. – Wat een rijkdom toch in zo'n beperkt volume. En dan te bedenken dat het met drie behoorlijk gedoseerde primaire kleuren mogelijk is, de hele kleurenvariëteit te verkrijgen volgens het driekleurenprincipe!

Gezichtsbedrog

W. – Hetzelfde principe wordt toegepast in de kleurenfotografie en ook, zoals je verder nog zult zien, in de kleurentelevisie. Hierbij zijn de drie primaire kleuren rood, groen en blauw, waarvan de golflengten op bepaalde waarden werden vastgelegd.

Voor we deze zaal verlaten, zou je er goed aan doen, nog even een kijkje in de afdeling „gezichtsbedrog” te nemen. Kijk eens naar deze fel rode kleur . . . en zeg nu welke kleur dit vierkantje heeft.

Vr. – Dat is groen-blauw.

W. – Mis, het is wit. Maar je kegeltjes die voor rood gevoelig zijn, waren vermoeid door het intense licht dat hen prikkelde. Daarom was hun gevoeligheid tijdelijk verminderd en heb je beter de blauwe en groene straling van het vierkantje waargenomen. Ook deze twee gele vierkantjes, waarvan de kleuren nochtans nauwkeurig gelijk zijn, lijken verschillend, gewoon omdat het ene op een zwarte achtergrond is geplaatst en het andere op een witte, waardoor het laatste bijna bruin lijkt.

Vr. – Ik begrijp eindelijk de diepere betekenis, die verscholen ligt in de uitdrukking: „Zijn eigen ogen niet geloven.”



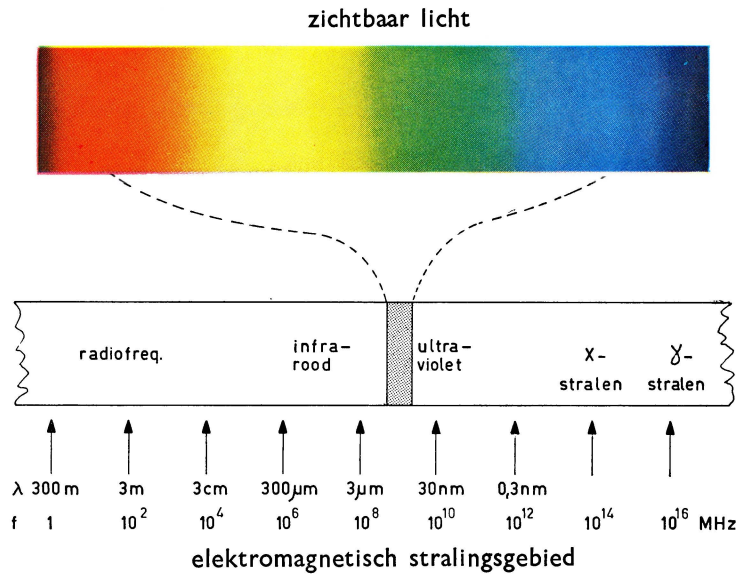


Fig. II.1. In het totale frequentiespectrum (onder) van de elektromagnetische golven vertegenwoordigt het zichtbare licht slechts een smalle band, die boven vergroot is weergegeven.

←

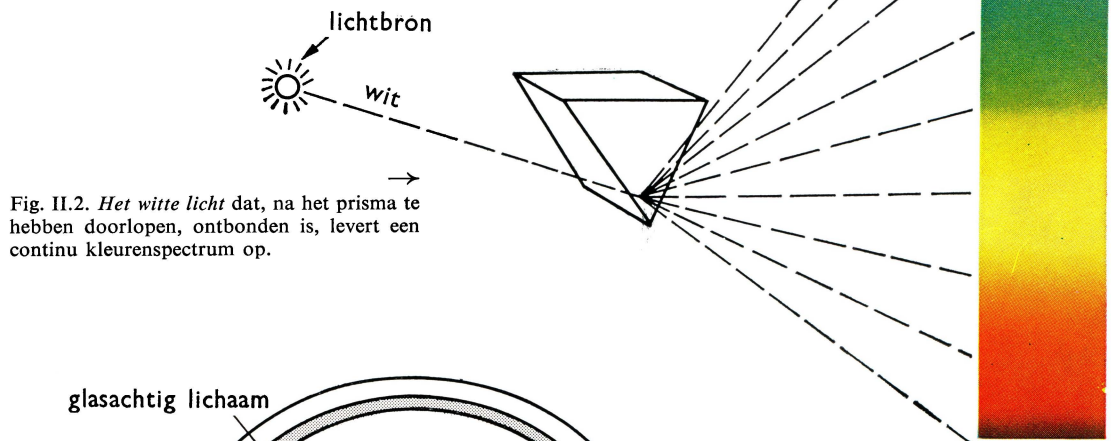


Fig. II.2. Het witte licht dat, na het prisma te hebben doorlopen, ontbonden is, levert een continu kleurspectrum op.

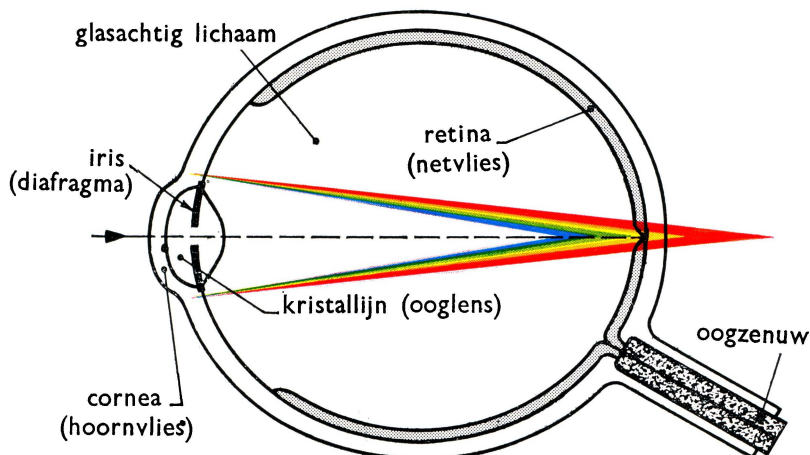
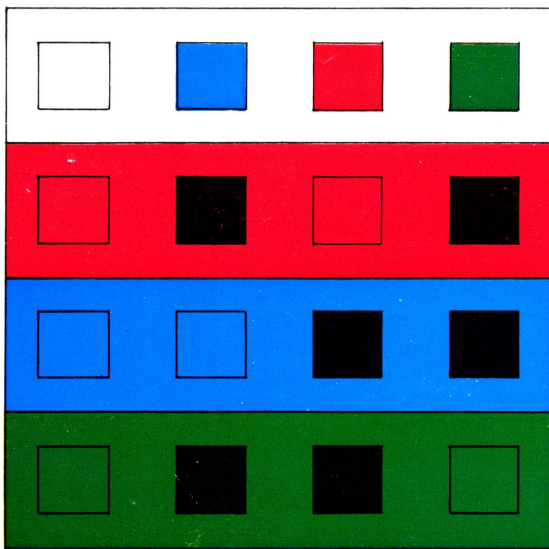


Fig. II.3. Chromatische aberratie bij het waarnemen. Duidelijkheidshalve is het verschijnsel in de tekening sterk overdreven.

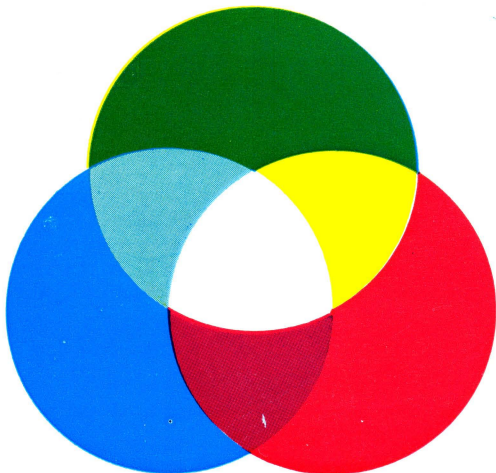
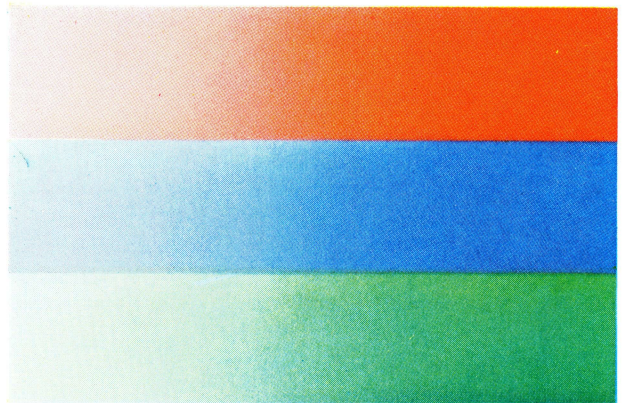
←



←

Fig. III.2. Worden de vierkantjes door wit licht beschenen, dan is hun kleur resp. wit, blauw, rood en groen. Beschenen door rood, blauw en groen licht behouden alleen die vierkantjes waarvan de kleur met de tint van het licht overeenkomt, hun oorspronkelijke kleur.

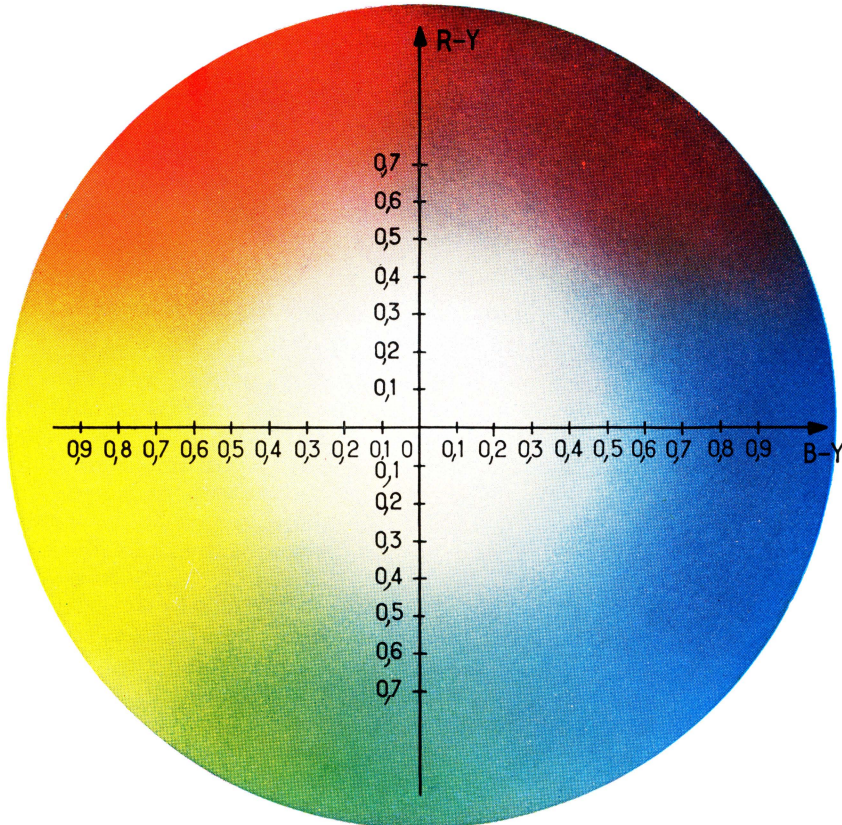
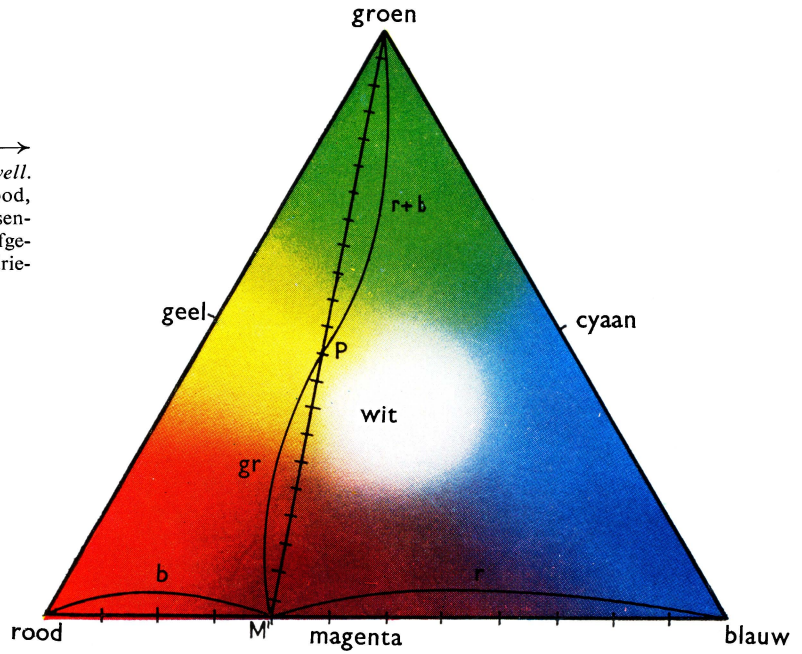
→
Fig. III.4. Door de verhouding van het witte en het gekleurde oppervlak juist te doseren, verkrijgt men een verzaadigingsverloop van 0 tot 100%.



←

Fig. III.6. *Additieve menging van de primaire kleuren.* Deze figuur toont aan welke gewaarwording wordt veroorzaakt door het gelijktijdig waarnemen van twee of drie primaire kleuren. Het is dus in feite een psychofysiologisch verschijnsel, dat zijn ontstaan dankt aan de prikkeling van het netvlies door lichtstralen met verschillende golflengten.

→
 Fig. IV.6. *De driehoek van Maxwell.*
 Behalve de kleuren bij de punten rood,
 groen en blauw zijn ook de tussen-
 kleuren geel, cyaan en magenta afge-
 beeld. Het zwaartepunt van de drie-
 hoek is het zuivere witpunt.



←
 Fig. IV.7. *Het chrominantievlak,*
 dat bij benadering de plaats van
 de kleuren binnen het spectrum
 aangeeft.

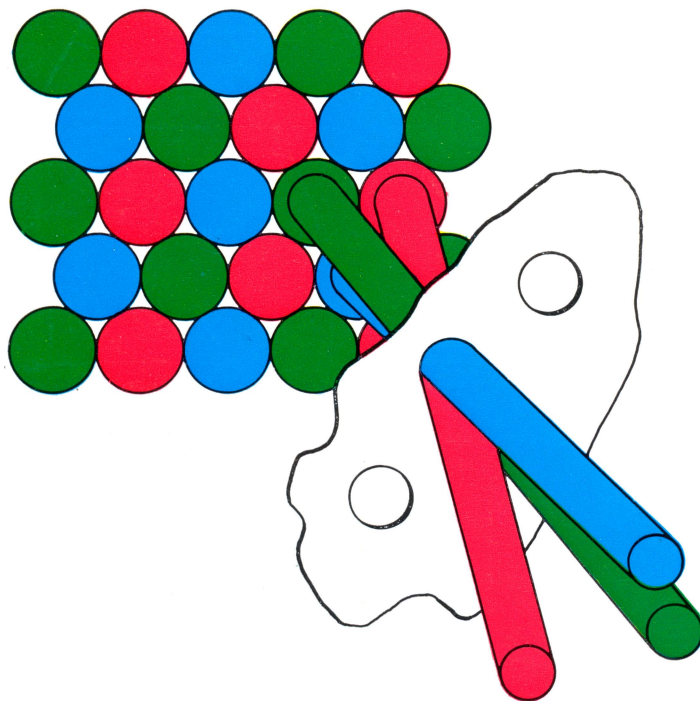


Fig. VI.6. *Schematische voorstelling van de baan van de elektronenstralen in een drie-kleurenbus. De rode, groene en blauwe stralen vallen door het masker en bereiken dan de overeenkomende luminofoorstippen.*

HOOFDSTUK IV

Hoe kunnen de oneindig vele kleuren, die onderling verschillen in tint, verzadiging en helderheid, worden onderscheiden? Hiervoor stelt de colorimetrie verschillende methoden ter beschikking. Dat is het onderwerp van dit hoofdstuk, waarin de volgende zaken worden nagegaan:

Spectrogram – Bichromie en trichromie (twee- en driekleurensysteem) – Functie van de negatieve componenten – Ruimtelijke voorstelling – De driehoek van Maxwell – Definitie van de chrominantie – Het chrominantievlak – Complementaire kleuren – Chrominantie wordt nul – Voorstelling van verzadiging en tint.

EEN EN ANDER OVER COLORIMETRIE

(Fragment uit het boek „Zo . . . werkt de kleurentelevisie”, door E. AISBERG en J.-P. DOURY.)

In tegenstelling tot hetgeen het woord zou doen vermoeden, heeft de colorimetrie niet tot doel de kleuren te *meten*, want als men zich aan de strikte betekenis van de woorden houdt, is een kleur geen meetbare grootheid. Men kan weliswaar twee identieke kleuren bepalen, maar men kan echt niet zeggen, dat een kleur het dubbele of het drievoudige is van een andere. Men dient dus te zeggen: „Een kleur kenmerken of aangeven”, in plaats van: een kleur „meten”. De taal is nu eenmaal geen wiskunde. Hoewel aan zekere kleuren namen zijn gegeven, die aan schilders welbekend zijn (ultramarijn, Veronees groen, chromaatgeel, vermiljoen, enz. enz.), zou een astronomisch aantal benamingen gekozen moeten worden om het even astronomisch aantal kleurschakeringen van de natuur aan te duiden. Bij gebrek aan dichtelijke inspiratie hebben de natuurkundigen de voorkeur aan cijfers gegeven.

Ontleding en samenstelling van kleuren

Als het om zuivere of monochromatische kleuren gaat, zijn twee getallen voldoende om ze te definiëren: de frequentie (of golflengte) en de lichtenergie (de lichtstroom of ook: de verlichting). Anders gezegd: een monochromatische kleur wordt volledig bepaald door de amplitude en de plaats van de overeenkomende spectraallijn in het lichtspectrum.

Maar de kleuren in de natuur zijn nooit monochromatisch. Het zijn mengsels van verschillende golflengten, zodat men:

- de frequentie van elke spectraallijn
 - en de amplitude van elke spectraallijn
- zou moeten vermelden.

Niet zelden kan men natuurlijke kleuren vinden, waarvan het spectrum niet uit afzonderlijke spectraallijnen bestaat, doch waarin alle frequenties aanwezig zijn met een meer of minder grote energie. Om de uitgestraalde kleur die een dergelijk spectrum vertoont te kenmerken, is men verplicht, zijn toevlucht te nemen tot een grafiek, waarin op de abscis de frequentie is uitgezet en op de ordinaat de amplitude, net als bij de frequentiekenarakteristiek van een versterker. De grafische voorstelling van de spectrale verdeling van een lichtsoort wordt

spectrogram genoemd; om dit te bepalen, gebruikt men een prismaspectroscop, die wordt gevoerd door het te meten licht. De lichtsterkte wordt op verschillende plaatsen van de frequentieschaal gemeten, bijvoorbeeld met een foto-elektrische cel. Om ditzelfde licht weer op te wekken, dient men het vermogen van de zorgvuldig gekozen, monochromatische lichtbronnen te regelen en de samenstellende lichtsoorten te mengen. Indien men werkelijk te maken heeft met een continu bandspectrum, zal men voor de juiste weergave een oneindig groot aantal elementaire bronnen nodig hebben.

Het zal duidelijk zijn dat, hoewel de ontleding van een gegeven lichtsoort met behulp van

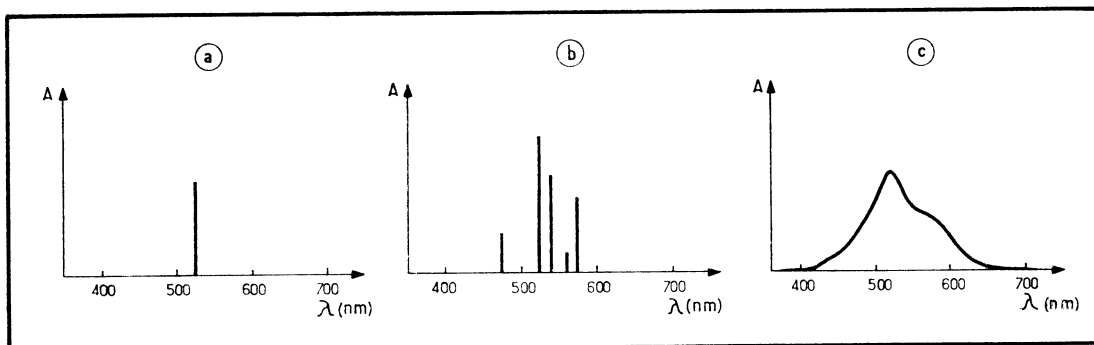


Fig. IV.1. Voorbeelden van lichtspectra:

- a. monochromatisch groen licht;
- b. niet-monochromatisch groen licht (afzonderlijke spectraallijnen);
- c. niet-monochromatisch groen licht (continu bandspectrum).

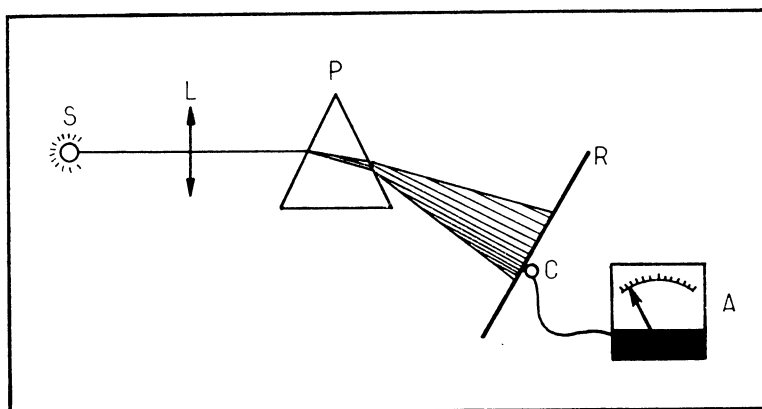


Fig. IV.2. Ontleding van het licht met een prismaspectroscop. De stralen van de lichtbron S worden op een scherm gefocuseerd. In hetzelfde vlak bevindt zich een linaaltje R, dat in golflengten is geijkt. Tussen de lens L en het scherm staat een prisma P, dat het licht splitst. Een foto-elektrische cel C is op de meter A aangesloten. Door nu C langs het linaaltje te verschuiven, kan men het spectrogram van het licht punt voor punt opmeten.

een spectroscopie altijd mogelijk is, het opnieuw samenstellen daarentegen erg ingewikkeld is en meestal zelfs onmogelijk. Er bestaat geen natuurkundige methode om nauwkeurig alle bestaande kleuren weer te geven. Men dient zich dus tevreden te stellen met benaderingen. Om het even welke methode voor de kleurennabootsing wordt gebruikt, steeds zal die beperkt zijn, d.w.z. dat er kleuren zullen worden opgeofferd; het zal nochtans steeds mogelijk moeten zijn, het gehele grijsgamma, van zwart tot wit, op te wekken.

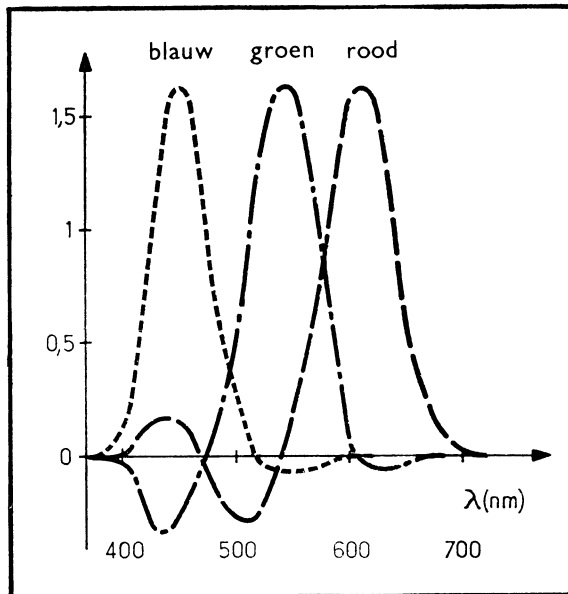


Fig. IV.3. *Dosering van de primaire kleuren*, die bij kleurentelevisie worden toegepast voor het opwekken van de verschillende kleurschakeringen. De eenheden die op de ordinaat zijn uitgezet, zijn willekeurige eenheden. Combinatie van gelijke hoeveelheden van de drie primaire kleuren levert het witte „daglicht” op.

Als men het gekleurde, na te bootsen licht in slechts een beperkt aantal punten van het spectrum analyseert (de met deze punten overeenkomende kleuren zullen we primaire kleuren noemen), ligt het voor de hand dat:

1. De samenstelling van al deze primaire kleuren in gelijke hoeveelheden tot de „achromie” moet leiden (d.w.z. neutraal grijs, wit of zwart).
2. Hoe groter het aantal primaire kleuren is, hoe natuurgetrouwer de weergave wordt.

Het twee- en driekleurensysteem

Dit aantal primaire kleuren kan uiteraard niet lager zijn dan twee (omdat het anders onmogelijk zou zijn grijs op te wekken). Neemt men er twee, dan wordt het ontledings- en weergeefstelsel het *tweekleurensysteem* of *bichromie* genoemd. Op dit gebied werd heel interessant werk geleverd door de Amerikaan *Land*, die ook aan de wieg stond van de ontwikkeling van het fotografische „Polaroid”-procédé. De conclusies die hij uit zijn experimenten heeft getrokken, waren dat het met deze methode mogelijk was, „aangename” kleuren op te wekken (aangenaam is het woord dat hij zelf heeft gebruikt).

De *getrouwheid* van de weergave kan echter niet goed zijn: als men voor één van de primaire kleuren groen-geel kiest (waarvoor het oog zeer gevoelig is), dan dient men voor de andere de complementaire kleur van groen-geel te nemen, dus blauw-violet*. Zuiver rood kan hiermee onmogelijk worden opgewekt. Men kan natuurlijk ook andere grondkleuren zoeken, maar hoe dan ook, er zal steeds een belangrijk aantal kleuren worden opgeofferd.

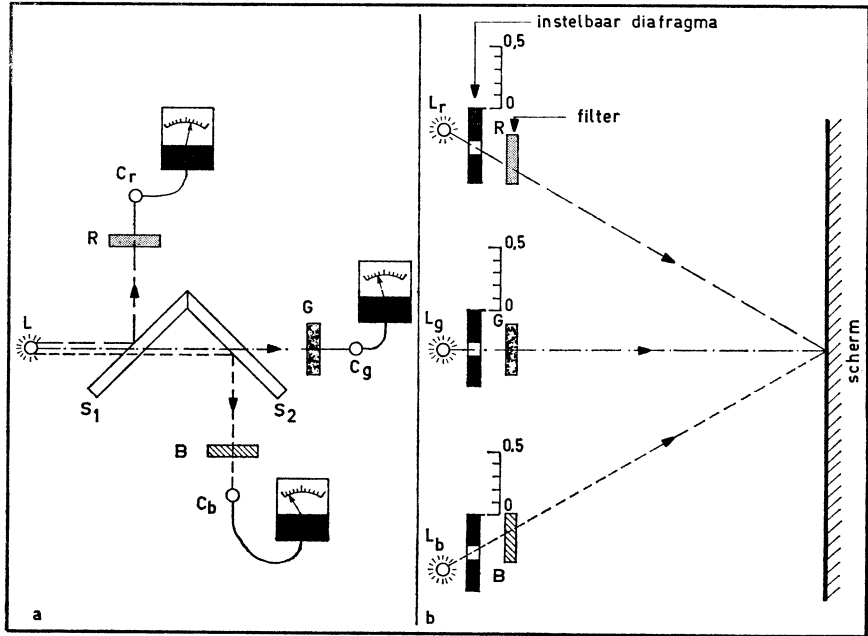


Fig. IV.4. *Ontleding en samenstelling van een lichtbron volgens het driekleurensysteem.*

a. De te bestuderen lichtbron L wordt op drie foto-elektrische cellen C_r , C_g en C_b geprojecteerd. Dit gebeurt via 3 filters R, G en B, alsook via de halfdoorlatende spiegels S_1 en S_2 . De stromen in de foto-elektrische cellen worden gemeten.

b. Uitgaande van deze gegevens regelt men de lichtsterkte van de drie lampen L_r , L_g en L_b met behulp van diafragma's en projecteert men die lichtstralen via drie filters R, G en B op het scherm.

De meest juiste benadering wordt in de praktijk verkregen met het *driekleurensysteem* of *trichromie*. Hierbij worden drie primaire kleuren gebruikt, die nagenoeg regelmatig in het spectrum verdeeld liggen: rood met lage frequenties, groen met middenfrequenties en blauw met hoge frequenties. Deze primaire kleuren zijn echter niet monochromatisch: ze worden met behulp van optische filters verkregen. Het is onmogelijk, filters te vervaardigen, die slechts één enkele golflengte doorlaten. Voor de kleurentelevisie heeft men er, bij de keuze

* Per definitie worden de kleuren, die door combinatie met een andere neutraal grijs opleveren, *complementair* genoemd.

van de primaire kleuren, rekening mee gehouden, dat de beeldbuisfosforen gemakkelijk op industriële schaal vervaardigd moeten kunnen worden (zie hoofdstuk VI).

Er dient ook nog opgemerkt te worden, dat niet alle kleuren natuurgetrouw kunnen worden nagebootst door simpele menging van drie grondkleuren. Voor bepaalde tinten dient er een aftrekking te worden uitgevoerd, hetgeen in de grafiek van fig. IV-3 tot uiting komt door de negatieve waarden van de primaire kleuren. Deze figuur toont, welke hoeveelheid van elke primaire kleur moet worden gemengd, om de gewaarwording van de monochromatische kleuren op te wekken, waarvan de desbetreffende golflengten op de abscis zijn uitgezet. Om bijv. dezelfde gewaarwording op te wekken als een lichtsoort met een golflengte van 500 nm, dient men een kleine hoeveelheid blauw te mengen met een wat grotere hoeveelheid groen en hiervan een weinig rood af te trekken.

Wat betekent dat?

Dat, om de gewaarwording die wordt opgewekt door een lichtsoort van 500 nm te kunnen nabootsen, men deze lichtsoort eerst dient te wijzigen door er een bepaalde hoeveelheid primair rood aan toe te voegen. Vanaf dat ogenblik zal een mengsel van groen en blauw, dat correct is gedoseerd, dezelfde gewaarwording opleveren als de kleur, die werd verkregen door menging van de lichtsoort met een golflengte van 500 nm en het primaire rood. Het is deze hoeveelheid rood, die in de menging van de drie primaire kleuren met een *minteken* wordt aangeduid. In de praktijk wordt de te ontleden lichtbundel optisch in drie delen gesplitst en naar drie filters gevoerd, die elk slechts één kleur doorlaten, resp. groen, rood en blauw. De lichtsterkte wordt gemeten door een foto-elektrische cel. Om dezelfde kleurenbundel weer samen te stellen, dient de lichtsterkte van de drie witte bronnen ingesteld te worden en moeten de projectoren van drie identieke filters zijn voorzien. De kleurvelden worden dan tenslotte op een wit scherm over elkaar geprojecteerd.

Een weinig wiskunde

Men kan zeggen, dat in het driekleurensysteem iedere kleur kan worden gedefinieerd door een hoeveelheid rood, groen en blauw: dus door een groep van drie getallen. De wiskundigen zouden deze drie getallen de coördinaten noemen en zeggen dat de kleuren een driedimensionale ruimte vormen. Wij zijn elektronici en geen wiskundigen, hetgeen overigens niet betekent, dat we de mathematici niet dankbaar zouden zijn voor een aantal werkwijzen, die ze ons hebben bezorgd, welke onder de benaming „berekenningsmethoden” worden gegroepeerd. Voor één keer zullen we dus eens te werk gaan zoals de wiskundigen doen. Aangezien de kleurenruimte driedimensioneel is, zullen we die voorstellen door drie vlakken, die onderling een hoek van 90° maken en waarvan we de assen OR, OG en OB zullen noemen. Een willekeurig punt P in deze ruimte wordt dan bepaald door zijn drie coördinaten r , g en b . Veronderstel nu eens, dat we deze drie coördinaten vermenigvuldigen met een gegeven coëfficiënt k .

De vector \vec{OP} wordt dan $k \cdot \vec{OP}$, dit wil zeggen dat zijn modulus (ook wel lengte genaamd) is vermenigvuldigd met k , maar de richting en de zin ervan ongewijzigd blijven. Praktisch betekent dit, dat de lichtsterkte met k werd vermenigvuldigd zonder dat de intrinsieke waarde van de kleur een verandering heeft ondergaan.

Het is duidelijk dat, als men deze twee aspecten van elkaar wil scheiden – lichtsterkte en intrinsieke waarde van de kleur (die worden waargenomen als luminantie of helderheid, resp. als tint met een zekere verzadiging – men eenvoudiger voorstellingen zal kunnen vinden. Veronderstel nu een driedimensionale ruimte voor kleuren die kunnen worden gereproduceerd door middel van de trichromie. Neem één dimensie weg (de lichtsterkte). Hoeveel

blijven er dan over? Juist genoeg om een voorstelling in één vlak mogelijk te maken, en vlakke tekeningen kunnen gemakkelijker worden gelezen (en getekend) dan ruimtelijke tekeningen.

Maar we zijn uitgegaan van een ruimte met drie coördinaten r , g en b en nu willen we er één wegnemen (de lichtsterkte), die impliciet in deze drie is begrepen.

We zullen hier evenwel geen beroep doen op de matrixleer voor het wijzigen van coördinaten,

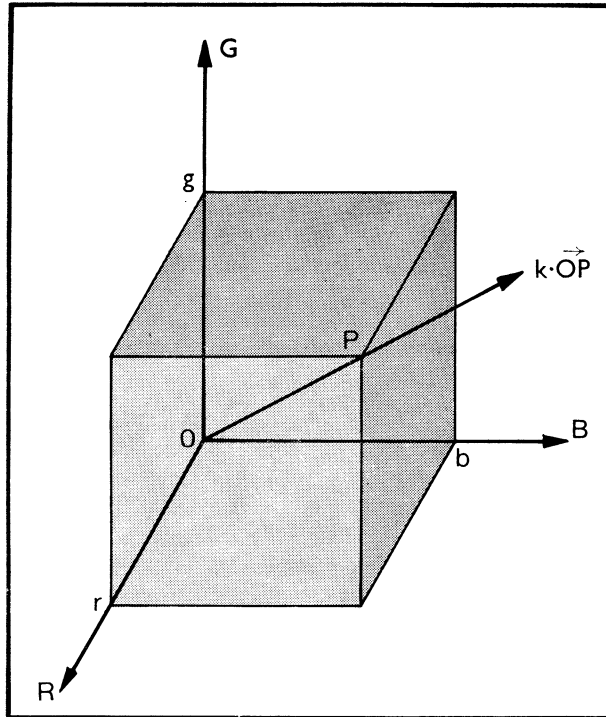


Fig. IV.5. *Driedimensionale kleurenruimte.* Punt P in de kleurenruimte wordt gekenmerkt door zijn coördinaten r , g en b . Om de vector \vec{OP} te vermenigvuldigen met een factor k , moeten de drie coördinaten worden vermenigvuldigd met k , hetgeen de intrinsieke waarde van de kleur niet wijzigt, maar wel de lichtsterkte beïnvloedt.

en ook niet op de „operators” waarmee de lezer misschien niet vertrouwd is. Laten we maar dadelijk vermelden, dat er vele methoden bestaan om de kleuren in één vlak voor te stellen, zonder daartoe ingewikkelde berekeningen te moeten maken.

De driehoek van Maxwell

De Engelse natuurkundige Maxwell, die welbekend is om zijn differentiaalvergelijkingen met betrekking tot de voortplanting van elektromagnetische golven, heeft als eerste een voorstelling van kleuren in één vlak gegeven. De driehoek van Maxwell is een gelijkzijdige driehoek, waarvan de drie hoekpunten R, G en B, respectievelijk zuiver rood, groen en blauw

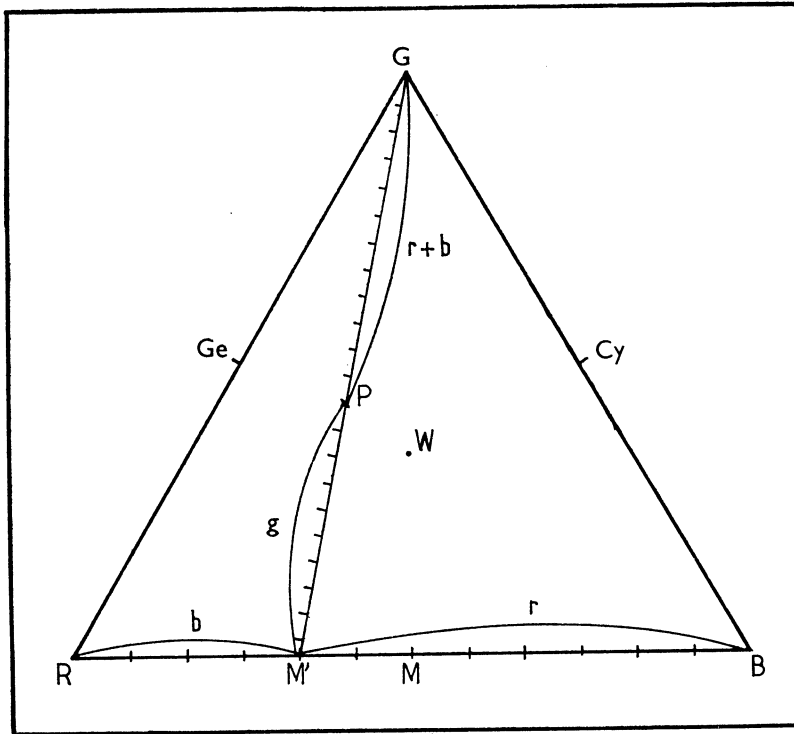


Fig. IV.6. *De driehoek van Maxwell*. Behalve de kleuren bij de punten: rood, groen en blauw, werden ook de tussenkleuren geel, cyaan en magenta afgebeeld. Het zwaartepunt van de driehoek is het zuiver-witpunt W. Neem aan dat punt P, dat kenmerkend is voor een kleur die wordt bepaald door de drie primaire kleuren, dient te worden opgezocht. Stel verder dat:

$$\begin{aligned} R &= 8 \\ G &= 9,5 \\ B &= 4 \end{aligned}$$

gemeten in dezelfde eenheden. Men bepaalt eerst het punt M' door RB in 12 gelijke stukken te verdelen:

$$\begin{aligned} RM' &= 4 \\ BM' &= 8 \end{aligned}$$

Dan verbindt men G met M', waarna punt P wordt bepaald. Men verdeelt hiertoe GM' in 21,5 gelijke delen

$$\begin{aligned} PM' &= 9,5 \\ GP &= 12 \end{aligned}$$

De resulterende kleur is een geelschakering, die zich op bijna gelijke afstand bevindt van het witpunt en het verzadigde geel. (Zie ook deze figuur in kleurendruk op blz. III.)

voorstellen, zonder met de helderheid rekening te houden. Theoretisch moet men binnen deze driehoek alle door trichromie realiseerbare tinten en veradigingen kunnen vinden. Een zeker punt P, dat zich binnen deze driehoek bevindt, is kenmerkend voor een bepaalde kleur. Een punt dat op de zijde BR ligt, bevat blauw en rood, maar geen groen. Punt M dat zich in het midden van BR bevindt, komt overeen met magenta, dat de complementaire kleur is van groen; punt Ge in het midden van RG komt overeen met geel (complementaire kleur van blauw, dat zich in het tegenoverliggende hoekpunt bevindt) en het midden Cy van BG is kenmerkend voor cyaan (complementaire kleur van rood, dat in het daartegenoverliggende hoekpunt is gelegen). Het zwaartepunt W van de kleurendriehoek vertegenwoordigt gelijke hoeveelheden rood, groen en blauw. Zodoende komt dit punt overeen met wit.

Om de plaats van een zeker punt in de driehoek te bepalen, als de bijdragen van de drie grondkleuren bekend zijn, kan men zich voorstellen dat de driehoek fysisch is samengesteld uit drie ideale staven (oneindige stijfheid, maar zonder massa) en dat men op de drie hoekpunten massa's plaatst, die evenredig zijn met de bijdragen van de primaire kleuren: massa r in R, g in G en b in B. Men zoekt nu het zwaartepunt van het geheel. Dit punt zal natuurlijk verschillen van het geometrische zwaartepunt W van de driehoek zelf. Om te beginnen verdeelt men zijde BR in $(b + r)$ gelijke stukken. Men vindt het punt M' op r stukken van punt B of op b stukken van punt R; men verbindt dan G met M' . GM' wordt dan eveneens verdeeld, maar nu in $(r + b + g)$ gelijke stukken. Het gezochte punt P ligt dan op g stukken van punt M' of op $(b + r)$ stukken, gerekend vanuit punt G.

Omgekeerd, als men de bijdragen van de grondkleuren van een gegeven punt P wil weten, dan verbindt men dit punt met één van de hoekpunten (G bijvoorbeeld); de rechte GP snijdt de tegenoverliggende zijde in M' . De verhouding $\frac{M'P}{M'G}$ levert g op, terwijl

$$\frac{PG}{M'G} \text{ ons } (r + b) \text{ geeft; de verhouding } \frac{BM'}{M'R} = \frac{r}{b}.$$

Als $(r + b)$ en $\frac{r}{b}$ bekend zijn, vindt men gemakkelijk r en b .

Opgemerkt wordt, dat de voorstelling van Maxwell het fundamentele probleem omzeilt, aangezien er drie coördinaten gehandhaafd blijven. Het enige voordeel dat eraan is verbonden, is dat men tot meetkundige constructies in één vlak is gekomen. We gaan vervolgens een grafische voorstelling bestuderen, waarin slechts twee coördinaten worden gebruikt.

De luminantie en chrominantie vormen de twee steunpilaren van de kleurentelevisie

We zullen verderop zien (hoofdstuk V), dat het voor de kleurentelevisie uiterst interessant is, een nieuwe grootheid te definiëren, nl. *de chrominantie*. Deze moet aan de luminantie worden toegevoegd om een volledig kleurenbeeld te verkrijgen.

Bij gebruik van de genormaliseerde primaire kleuren en rekening houdend met de gevoeligheid van het oog voor de verschillende golflengten van het licht, kan de luminantie Y door een eenvoudige vergelijking worden gegeven:

$$Y = 0,59 G + 0,30 R + 0,11 B$$

$$\text{ofwel benaderend: } Y = 0,60 G + 0,30 R + 0,10 B \quad (1)$$

Als Y van de drie primaire kleuren wordt afgetrokken, verkrijgt men een groep van drie waarden

$$(R - Y), (G - Y) \text{ en } (B - Y)$$

die de *chrominantie* bepalen. Zoals men ziet, mag de chrominantie worden beschouwd als zijnde „kleur minus luminantie”. Anders gezegd: „de chrominantie is hetgeen aan de luminantie moet worden toegevoegd om de volledige kleur te verkrijgen”. De drie boven-

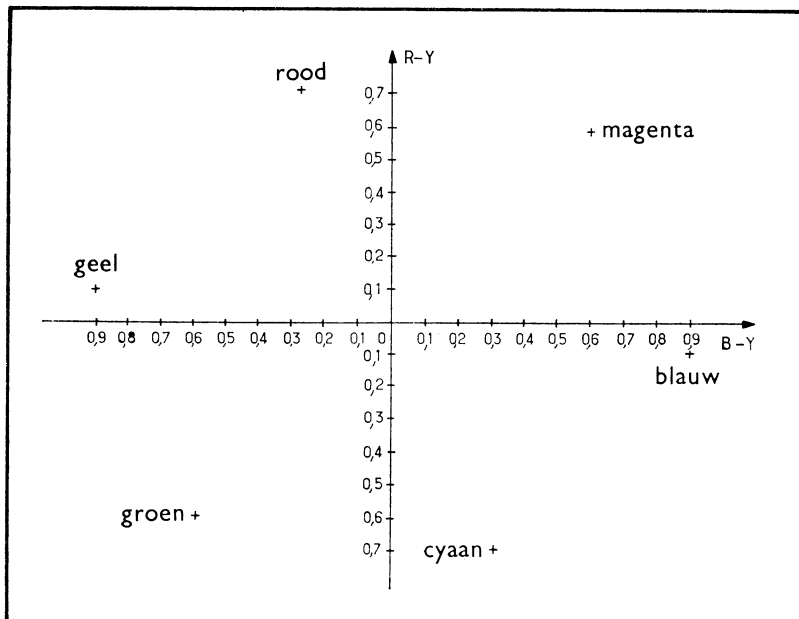


Fig. IV.7. *Chrominantievlak*, waarop de plaats van de punten die overeenkomen met de primaire en complementaire kleuren is aangegeven (zie ook de kleurfiguur op blz. III).

staande grootheden zijn niet onafhankelijk van elkaar: als men van de vergelijking (1) de identieke vergelijking (2) aftrekt, die werd gevormd door Y te ontbinden in drie delen (want $0,6 + 0,3 + 0,1 = 1$), dan krijgt men vergelijking (3):

$$\begin{array}{rcl} Y = & 0,6 G & +0,3 R & +0,1 B & (1) \\ -(Y = & +0,6 Y & +0,3 Y & +0,1 Y) & (2) \\ \hline 0 = & 0,6 (G - Y) & +0,3 (R - Y) & +0,1 (B - Y) & (3) \end{array}$$

welke men kan omwerken tot:

$$(G - Y) = -\frac{1}{2} (R - Y) - \frac{1}{6} (B - Y) \quad (4)$$

Men kan nu een chrominantievlak construeren met twee assen $O(R - Y)$ en $O(B - Y)$.

Voor elk punt in dit vlak kan men dan $(G - Y)$ berekenen met vergelijking (4). Om in dit vlak elke willekeurige eenheid, waarin de grondkleuren worden uitgedrukt (lux, foot lambert of volts aan de uitgang van een camera) te kunnen uitzetten, verdient het de voorkeur, dimensieloze coördinaten te gebruiken, die de relatieve waarden aangeven (in procenten van de maximumwaarde). In het vervolg zal met R , G en B de verhouding van de hoeveelheid rood, groen en blauw van de te definiëren kleur worden aangegeven t.o.v. de hoeveelheid rood, groen en blauw voor maximumwit. De coördinaten voor maximumwit zijn dan per definitie:

$$\begin{aligned} R &= 1 \\ G &= 1 \\ B &= 1 \end{aligned}$$

Er kunnen geen waarden voor R , G en B bestaan, die groter zijn dan 1.

Opmerking. Waarom neemt men bij voorkeur $(R - Y)$ en $(B - Y)$ en niet $(G - Y)$? Omdat de laatste uitdrukking minder chrominantie-informatie bevat dan de eerste twee. Dit blijkt uit vergelijking (4). Men vindt ook dat:

$$\begin{aligned} (R - Y) &= -0,59 G + 0,7 R - 0,11 B \\ (B - Y) &= -0,59 G - 0,3 R + 0,89 B \end{aligned}$$

terwijl

$$(G - Y) = 0,41 G - 0,3 R - 0,11 B$$

Men ziet dat de absolute waarden van de coëfficiënten van de drie componenten in de eerste twee vergelijkingen groter zijn, hetgeen wijst op een grotere chrominantie-inhoud.

Theorema 1. De chrominantiesignalen van twee complementaire kleuren hebben dezelfde absolute waarden, maar tegengesteld teken; de punten die in het chrominantievlak overeenkomen met twee complementaire kleuren liggen symmetrisch t.o.v. de oorsprong O .

Stel, we hebben twee kleuren, die worden bepaald door:

$$R_1, G_1 \text{ en } B_1, \quad \text{resp.} \quad R_2, G_2 \text{ en } B_2$$

Als deze kleuren additief complementair zijn, is de som van hun coördinaten gelijk aan de coördinaten van wit:

$$R_1 + R_2 = 1 \tag{5}$$

$$G_1 + G_2 = 1 \tag{6}$$

$$B_1 + B_2 = 1 \tag{7}$$

$$\text{en } Y_1 + Y_2 = 1 \tag{8}$$

Door vergelijking (8) af te trekken van (5) verkrijgt men:

$$\begin{aligned} (R_1 - Y_1) + (R_2 - Y_2) &= 0 \\ \text{of } (R_1 - Y_1) &= -(R_2 - Y_2) \end{aligned} \tag{9}$$

De aftrekking van de vergelijkingen (7) en (8) geeft:

$$\begin{aligned} (B_1 - Y_1) + (B_2 - Y_2) &= 0 \\ \text{of: } (B_1 - Y_1) &= -(B_2 - Y_2) \end{aligned} \quad (10)$$

De gelijkheden (9) en (10) bepalen de coördinaten van twee t.o.v. de oorsprong O symmetrisch tegengestelde punten.

Men stelt vast, dat in het chrominantievlak geel de complementaire kleur is van blauw; magenta de complementaire kleur van groen en cyaan de complementaire kleur van rood.

Theorema II. Chrominantiesignalen met de waarde nul zijn kenmerkend voor neutraal grijs. Het punt, dat met neutraal grijs, zwart of wit overeenkomt, ligt op de oorsprong van het chrominantievlak.

Fig. IV.8. Chrominantievlak, waarin een punt is uitgezet, dat overeenkomt met verzadigd magenta.

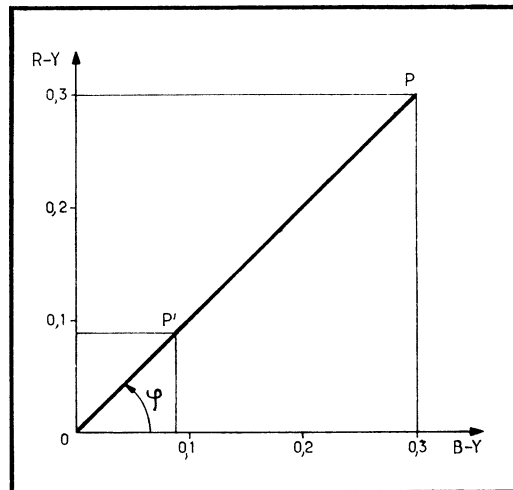
$$P \begin{cases} R = 0,5 \\ G = 0 \\ B = 0,5 \end{cases}$$

Hoek $\varphi = 45^\circ$ is kenmerkend voor magenta. Punt P' is kenmerkend voor een kleur met dezelfde tint ($\varphi = 45^\circ$) met dezelfde luminantie ($Y = 0,2$), maar met een kleinere verzadiging.

$$P' \begin{cases} r = 0,286 \\ g = 0,143 \\ b = 0,286 \end{cases}$$

Deze twee kleuren kunnen van elkaar worden afgeleid door toevoeging van een hoeveelheid wit q aan de meest verzadigde kleur ($q = 0,5$) en een reductie van de nieuwe grondkleuren volgens de verhouding $(1 + \frac{q}{Y})$:

$$\begin{cases} (B-Y) = 0,3 \\ (R-Y) = 0,3 \end{cases} \quad \begin{cases} (b-Y) = 0,086 \\ (r-Y) = 0,086 \end{cases}$$



Men weet dat:

$$(R - Y) = (B - Y) = 0$$

zodat volgens (4) ook

$$(G - Y) = 0$$

Hieruit volgt:

$$R = B = G = Y$$

en we weten dat een kleur, die is samengesteld uit gelijke hoeveelheden van de drie grondkleuren, per definitie achroom is (Wet van Newton). Neutraal grijs is dus uitsluitend door zijn luminantie volledig bepaald.

Theorema III. De afstand L tussen een punt P en de oorsprong O van de coördinaten is een maat voor de verzadiging.

Stel, we hebben een kleur die wordt bepaald door: R_1, G_1 en B_1 en de luminantie Y_1 . De afstand tussen punt P en de oorsprong O is:

$$L_1 = \sqrt{(R_1 - Y_1)^2 + (B_1 - Y_1)^2}$$

Wordt de verzadiging van deze kleur verlaagd, d.w.z. wordt er een hoeveelheid q wit aan toegevoegd, dan worden de coördinaten:

$$R_1 + q; \quad G_1 + q; \quad B_1 + q \quad \text{en de luminantie} \quad Y_1 + q.$$

Om deze twee kleuren te vergelijken, waarbij alle andere eigenschappen gelijk moeten zijn, vermenigvuldigen we de coördinaten met

$$\frac{Y_1}{Y_1 + q} = \frac{1}{1 + q/Y_1}$$

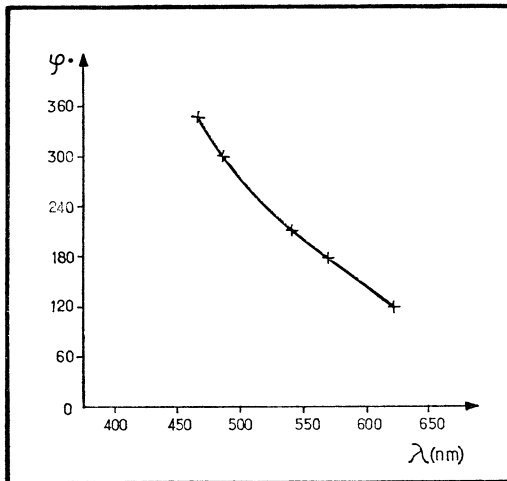


Fig. IV.9. De hoek die wordt gevormd door een vector, die door de oorsprong van het chrominantievlak gaat, en de horizontale as is bepalend voor de tint, d.w.z. de dominerende golflengte van deze bepaalde kleur. In deze grafiek ziet men geen purperkleuren, waarvan men weet dat ze niet bestaan als monochromatisch licht (men kan dus voor hen geen dominerende golflengte bepalen).

De twee kleuren zullen dan dezelfde luminantie bezitten en ze zullen onderling nog slechts verschillen in hun verzadiging.

De nieuwe primaire kleurbijdragen zijn dan:

$$R_2 = \frac{R_1 + q}{1 + q/Y_1}$$

$$G_2 = \frac{G_1 + q}{1 + q/Y_1}$$

$$B_2 = \frac{B_1 + q}{1 + q/Y_1}$$

en $Y_2 = Y_1$

Laten we nu de chrominantiesignalen berekenen:

$$(R_2 - Y_2) = \frac{R_1 + q}{1 + q/Y_1} - Y_1 = \frac{R_1 - Y_1}{1 + q/Y_1}$$

$$(G_2 - Y_2) = \frac{G_1 - Y_1}{1 + q/Y_1}$$

$$(B_2 - Y_2) = \frac{B_1 - Y_1}{1 + q/Y_1}$$

en

$$L_2 = \frac{L_1}{1 + q/Y_1}$$

Hoe meer wit wordt toegevoegd, d.w.z. hoe meer de verzadiging afneemt, hoe meer q stijgt en, bij gelijke luminantie, hoe dichter het overeenkomende punt de oorsprong nadert.

Kleur	Domineren- de golflengte (nm)	G	R	B	Y	R - Y	B - Y	tg φ	φ
Blauw	470	0	0	1	0,1	-0,1	0,9	-0,0111	353° 40'
Cyaan	490	1	0	1	0,7	-0,7	0,3	-2,33	293° 30'
Groen	540	1	0	0	0,6	-0,6	-0,6	1	225°
Geel	570	1	1	0	0,9	0,1	-0,9	-0,111	173° 40'
Rood	620	0	1	0	0,3	0,7	-0,3	-2,33	113° 30'
Magenta	—	0	1	1	0,4	0,6	0,6	1	45°

Men kan hieruit vaststellen, dat de afstand L tussen het kleurpunt en de oorsprong, de verzadiging van de kleur bepaalt. Men mag echter niet tot de gedachte overhellen, dat de afstand L evenredig zou zijn met de verzadiging. Laten we hiervoor als voorbeeld het geval onderzoeken van drie gelijk verzadigde kleuren: de drie grondkleuren.

Voor zuiver rood:

$$\begin{aligned} (R &= 1, G = 0, B = 0) \\ Y &= 0,3 \text{ en } L = 0,76 \\ L/Y &= 2,54 \end{aligned}$$

Voor zuiver groen:

$$\begin{aligned} (R &= 0, G = 1, B = 0) \\ Y &= 0,6 \text{ en } L = 0,85 \\ L/Y &= 1,41 \end{aligned}$$

Voor zuiver blauw:

$$\begin{aligned} (R &= 0, G = 0, B = 1) \\ Y &= 0,1 \text{ en } L = 0,9 \\ L/Y &= 9 \end{aligned}$$

Dit voorbeeld geldt slechts voor een gegeven kleur.

Theorema IV. In het chrominantievlak is de hoek tussen de lijn, die de oorsprong met het kleurpunt verbindt, en de coördinaten bepalend voor de tint.

Noemen we deze hoek φ . Punt P wordt bepaald door $(R - Y)$ en $(B - Y)$.

Vervolgens zetten we in het chrominantievlak de punten uit, die overeenkomen met de primaire kleuren R , G , B en hun respectievelijke complementaire kleuren C (cyaan), M (magenta) en Ge (geel). De laatste drie liggen natuurlijk symmetrisch t.o.v. de eerste drie, met de oorsprong O als symmetriecentrum. We kunnen tenslotte de hoek φ van de verschillende kleuren meten; we kunnen eveneens de waarde van φ berekenen met behulp van de formule:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{(R - Y)}{(B - Y)}$$

We tekenen dan de kromme $\varphi = f(\text{tint})$. Als we dus de plaats van elk punt in het chrominantievlak uitdrukken in polaire coördinaten, bepalen we impliciet de tint en de verzadiging. We kunnen uiteindelijk nog vaststellen dat het chrominantievlak kan worden beschouwd als een doorsnede, loodrecht op de luminantie-as van de kleurencilinder (hoofdstuk III).

HOOFDSTUK V

In dit hoofdstuk zien we onze twee vrienden terug. Ze gaan de verschillende overdrachtssystemen van kleurenbeelden in ogenschouw nemen. Aan het slot van dit hoofdstuk onderzoeken ze de fundamentele principes van de verschillende compatibele systemen, die tegenwoordig worden toegepast. Hierbij behandelen ze de volgende onderwerpen:

Het systeem met drie overdrachtskanalen – Het gebruik van één enkel objectief – Dichroïtische spiegels en filters – Inrichting voor de beeldopname – Trapeziumvormige vertekening – Trinescoop – Het systeem met rasterwisseling (rastersequentieel) – Het probleem van de overbezetting van het frequentiespectrum – De dubbele compatibiliteit – De scheiding van luminantie – en chrominantiesignalen – De functie van de kleurenhulpdraaggolf – De toegewezen frequentiebanden – Codering en decodering.

TRANSMISSIESYSTEMEN

Vraagal ontdekt Amerika

Vr. – Tot nog toe, mijn waarde Weetal, heb je me al een heleboel dingen over kleuren verteld, maar over televisie werd nog niet gesproken.

W. – Alvorens over te gaan tot het probleem van de overdracht van kleurenbeelden, was het toch nodig de verschillende fysische en fysiologische aspecten van het vrij ingewikkelde verschijnsel, dat kleur wordt genoemd, grondig te onderzoeken. Dat hebben we dan ook gedaan.

Vr. – Akkoord. Maar ik denk dat ik er nu genoeg van afweet om zelf een kleurentelevisiesysteem te kunnen uitdenken, dat eenvoudig en doeltreffend is. Ik zal je er, op voorwaarde van geheimhouding, de principes van uiteenzetten, alvorens het te laten patenteren.

W. – Je hebt er geen idee van hoe ongeduldig ik ben, van je nieuwste uitvinding kennis te nemen.

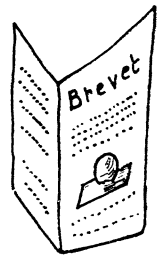
Vr. – Die is erg eenvoudig, maar, net zoals het beroemde ei van Columbus: je moet er maar op komen!

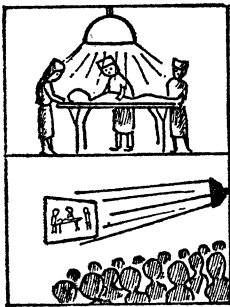
Aangezien men volgens de trichromie alle kleuren kan opwekken met behulp van drie grondkleuren rood, groen en blauw, stel ik voor bij de uitzending drie televisiecamera's te gebruiken waarvan de objectieven van filters zijn voorzien voor de desbetreffende kleuren. Op die wijze zouden we videosignalen verkrijgen, die overeenkomen met de rode, groene en blauwe beeldpartijen. We brengen ze over via drie verschillende golflengten naar drie projectieontvangers, waarvan de objectieven eveneens van de overeenkomstige kleurenfilters zijn voorzien. Door deze drie beelden op hetzelfde scherm over elkaar te projecteren, zodat ze elkaar nauwkeurig bedekken, verkrijgen we ons kleurenbeeld. Wel . . . wat denk je ervan?

W. – Ik moet je al weer teleurstellen, want aan een dergelijk systeem heeft men reeds lang geleden gedacht.

Vr. – Ach . . . waarom ben ik niet vroeger geboren! Men heeft alles reeds uitgevonden . . . bovendien zul je me misschien nog gaan vertellen, dat dit systeem niets waard is en reeds lang geleden werd verlaten.

W. – Daarin vergis je je, mijn waarde. Voor de draadtelevisie (closed circuit) wordt dit systeem op het ogenblik vaak toegepast. Dank zij dit systeem kunnen bijvoorbeeld enkele honderden medische studenten alle fasen van een operatie volgen, zonder de chirurgen door





hun aanwezigheid te hinderen. De kleurenbeelden geven de gebeurtenissen, die zich in de operatiezaal afspelen, bovendien beter weer. Je idee is dus helemaal niet slecht, maar je moet diverse verbeteringen en beperkingen invoeren. Verder wil je drie televisiecamera's gebruiken, die elk een objectief en een kleurenfilter bezitten. Maar heb je er wel aan gedacht, dat elk objectief de scène onder een verschillende beeldhoek opneemt? De weergave zal dus van deze beeldhoeken afhangen.

Vr. – Verdraaid, daar had ik niet aan gedacht. Deze beelden zullen onderling een weinig verschillen, speciaal voor de onderwerpen op de voorgrond, zelfs als de drie camera's heel dicht bij elkaar staan opgesteld. Ik ben er echter zeker van, dat jij wel weet hoe dat probleem opgelost moet worden.

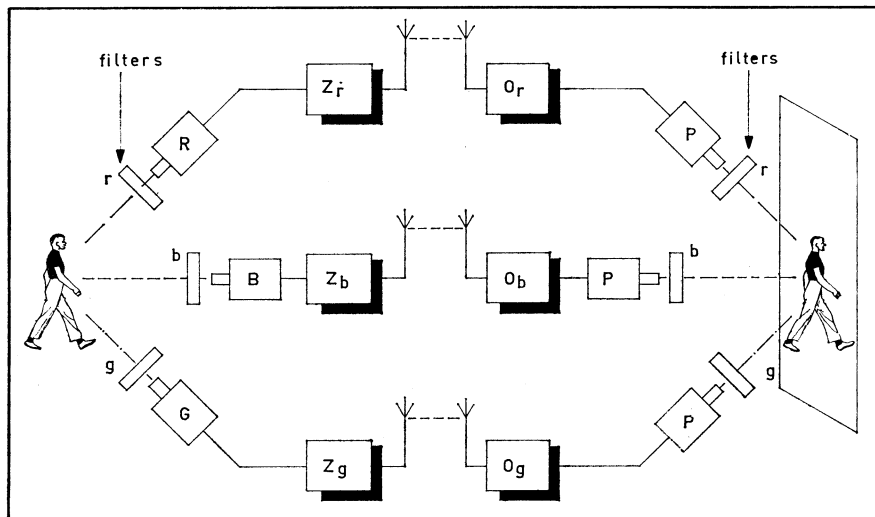


Fig. V.1. *Gelijktijdige overdracht van drie kleurenbeelden via drie volledige zend- en ontvangkanalen.*

Het beeld wordt opgenomen door drie camera's (R, G en B), uitgerust met drie filters, een rood, een groen en een blauw. Met hun uitgangssignalen worden de zenders Z_r , Z_g en Z_b gemoduleerd. De uitgezonden signalen worden opgevangen door de ontvangers O_r , O_g en O_b . De gedetecteerde en versterkte signalen sturen drie projectiebuizen P uit, die van een rood, groen en blauw filter zijn voorzien en waarvan de beelden op één scherm worden gesuperponeerd.

Drie camera's, één enkel objectief

W. – De oplossing ligt voor de hand! Mij dunkt: de toepassing van één enkel objectief, waarachter de opgevangen lichtstralen moeten worden verdeeld tussen drie camera's, die met kleurenfilters zijn uitgerust.

Vr. – Dat is gemakkelijk gezegd, maar ik zie niet in hoe men dat kan realiseren.

W. – Gewoon, met behulp van een aantal reflecterende en halfdoorlatende spiegels, die ook wel *dichroïtische spiegels* worden genoemd.

Vr. – Wat zijn dat voor rare dingen?

W. – Een reflecterende spiegel is, zoals je weet, een glasplaat waarvan één zijde bedekt is met een zeer dunne folie, een legering van tin en kwik. Bij een dichroïtische spiegel wordt de folie vervangen door een zeker aantal lagen (meestal twaalf), die uiterst dun zijn (in de orde van grootte van 100 nm) en bestaan uit doorschijnend materiaal, dat afwisselend een lage en een hoge brekingsindex heeft. Het resultaat is, dat een dergelijk filter alle golflengten boven (of onder) een bepaalde waarde reflecteert en de andere doorlaat.

Vr. – In feite kan een dichroïtische spiegel worden vergeleken met een hoog- of een laag-doorlatend filter.

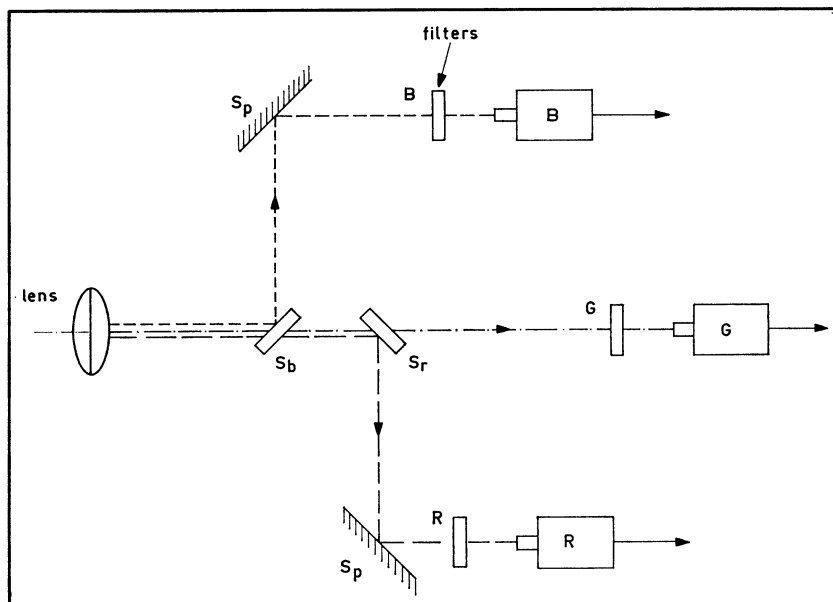
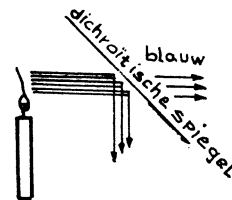
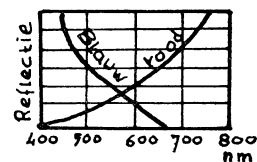


Fig. V.2. De lichtstralen die door een objectief worden opgevangen, worden m.b.v. een systeem van dichroïtische (S_b en S_r) en gewone (S_p) spiegels gesplitst in drie bundels, die via de desbetreffende filters naar de camera's R, G en B worden gevoerd.

W. – Die vergelijking gaat op, en zoals bij elektrische filters is ook hier geen scherpe grens tussen hetgeen wordt doorgelaten en hetgeen wordt weerkaatst; de overgang gaat geleidelijk. Het dichroïtische filter dat golflengten onder de 460 nm reflecteert en golflengten boven de 500 nm doorlaat, zullen we blauw noemen. Met rood zullen we het filter aangeven dat golflengten boven 580 nm reflecteert en lagere golflengten doorlaat. Kijk nu even naar de opstelling van deze spiegels. Het licht uit het objectief valt eerst op spiegel S_b , die het rode en het groene licht doorlaat, maar het blauwe weerkaatst. Het gereflecteerde blauwe licht wordt met behulp van een gewone spiegel S_p op de camera gericht die voor blauw is bestemd, na eerst nog een filter te hebben doorlopen.

Vr. – Ik zie dat het licht, dat de dichroïtische spiegel S_b heeft doorlopen, op een andere spiegel terechtkomt die met S_r is aangegeven. Deze laatste reflecteert het rode licht, maar



laat het groene door, dat naar de „groene” camera wordt gestuurd. Wat het rode licht betreft, dit wordt naar de desbetreffende camera gevoerd na reflectie door een gewone spiegel S_p en het doorlopen van een rood filter.

W. – Juist. Hetgeen we nu hebben gezien, is in principe de samenstelling van alle beeldopneeminstallaties, die in kleurentelevisiestudio's worden gebruikt. Er bestaan natuurlijk nog andere opstellingen van de verschillende spiegels: men gebruikt ook diverse optische inrichtingen om bepaalde vervormingen weg te werken, zoals bijvoorbeeld het astigmatisme dat de lichtstralen ondergaan bij het doorlopen van dichroïtische spiegels. Het is echter niet nodig dat we op deze details nader ingaan, want als we zover gaan zou ik je ook nog moeten vertellen over de vervorming, die optreedt als de beelden op een scherm worden geprojecteerd.

Drie overdrachtskanalen

Vr. – Ik zie niet in waarom ze vervormd zouden worden als de dekking juist is?

W. – Het licht dat uit de middelste projector komt zal op het scherm een volmaakte recht-

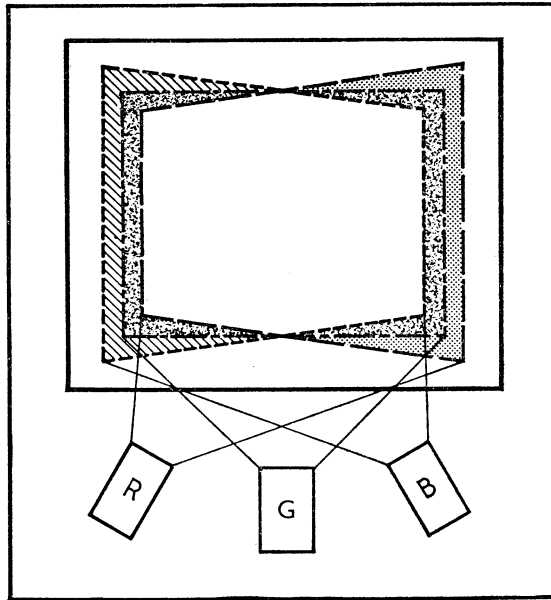
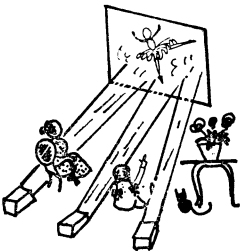


Fig. V.3. Alleen de middelste projector (G) veroorzaakt geen meetkundige vervorming van het geprojecteerde beeld. De beelden uit de projectoren aan de zijkanten vertonen tegengestelde, trapeziumachtige vertekeningen.



hoek doen verschijnen. Maar de rechthoeken van de twee zijdelingse projectoren zullen zich op het scherm als trapeziums aftekenen. Je kunt echter gerust zijn: de optici hebben er wat op gevonden om deze trapeziumachtige vervorming te corrigeren. Ook de elektronici hebben voor dit soort vervorming correctiekringen ontworpen.

Vr. – Ik heb nog een idee! Waarom zou men aan de ontvangtzijde niet hetzelfde systeem met dichroïtische en gewone spiegels gebruiken, net zoals in een camera? De omkeerbaarheid van de verschijnselen nietwaar?

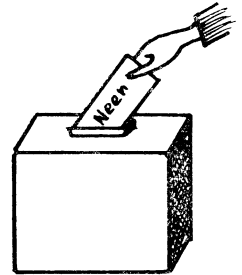
W. – Dat doet men ook, Vraagal. Als de beelden niet op een groot scherm behoeven te worden geprojecteerd, kan men de drie kleurenbeelden op gewone elektronenstraalbuizen weergeven en die deelbeelden daarna met behulp van een systeem met kleurenfilters en spiegels weer samenstellen, zodat het juiste kleurenbeeld wordt gevormd. Men noemt dat apparaat een „trinescoop”.

Vr. – Voor zover ik je ken, ga je me nu alle nadelen van mijn systeem opsommen.

W. – Het systeem is aanvaardbaar voor draadtelevisie bij niet al te grote afstanden. Ik heb je trouwens al gezegd, dat dezelfde beeldopneeminrichting ook bij de omroep wordt gebruikt. Maar als je probeert drie verschillende golfengten te gebruiken als draaggolf voor de video-signalen van de drie camera's, dan riskeer je onmiddellijk een onvoorwaardelijke weigering.

Vr. – Dat begrijp ik. Deze weigering wordt gemotiveerd met het beruchte probleem van overbezetting van de frequentiebanden.

W. – Inderdaad. De beschikbare ruimte in het frequentiespectrum is voor elke zender nauwkeurig vastgesteld. En als je voor één enkele zender de frequentieband wilt innemen, waarin normaal drie zenders een plaats kunnen vinden, dan zul je op hevig verzet stuiten. En stel je bovendien de prijs en de omvang van een ontvangerinrichting, die uit drie normale televisie-ontvangers bestaat eens voor!



Het systeem met rasterwisseling (rastersequentieel systeem)

Vr. – Ik ben er zeker van, dat moeder een dergelijk monsterachtig apparaat nooit in haar kleine huiskamer zou willen hebben. Ik ben dus wel verplicht van mijn ontwerp af te zien. Het hield echter veel goeds in, zoals je zelf hebt gezegd. Daar de gelijktijdige overdracht van drie primaire kleurenbeelden niet rendabel is, vraag ik me af, waarom we het principe van de sequentiële overdracht niet zouden toepassen. Dit principe werd aangegeven door de Fransman Constantin Senlecq en vormt de basis van de achrome televisie.

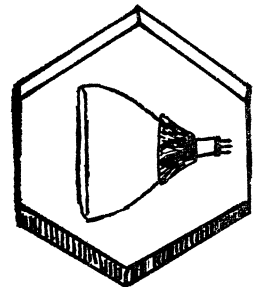
Wat denk je van een systeem, dat achtereenvolgens de drie beelden rood, groen en blauw zou overdragen? Op voorwaarde, dat de opeenvolging snel genoeg gebeurt, zouden de gewaarwordingen in onze hersenen worden geïntegreerd, waardoor de voorwerpen met hun eigen, natuurgetrouwe kleur zouden worden weergegeven.

W. – Hetgeen je nu voorstelt, kán niet alleen worden verwezenlijkt, maar werd inderdaad gerealiseerd. Sterker nog: de methode die je aangeeft en die werd uitgedacht door de Amerikaanse televisie-omroeporganisatie CBS (Columbia Broadcasting System), werd in 1950 officieel aanvaard door de FCC (Federal Communications Commission) die in de Verenigde Staten toezicht houdt op elk gebied van de telecommunicatie.

Vr. – Zie je wel, dat mijn ideeën nog zo slecht niet zijn! Hoe werd het praktisch uitgewerkt?

W. – Men bracht achtereenvolgens de rasters met de even en de oneven lijnen over in de drie grondkleuren, bijv. in de hieronder aangegeven volgorde:

1. oneven lijnen in rood;
2. even lijnen in groen;
3. oneven lijnen in blauw;
4. even lijnen in rood;
5. oneven lijnen in groen;
6. even lijnen in blauw; enz



Om deze sequentie te verwezenlijken, draaide er voor het enkele objectief van de camera een schijf, die in zes sectoren was verdeeld. Deze sectoren bestonden in feite uit kleurfilters

R-G-B-R-G-B. De schijf kan ook worden vervangen door een zeskantige trommel rondom de buis. Het belangrijkste is, dat het licht keurig in de juiste volgorde door de filters valt, die de drie primaire kleuren doorlaten.

Vr. – Welke frequentie werd er gebruikt voor de rasteropeenvolging?

W. – In Europa draagt men 25 volledige beelden per seconde over, dus 50 rasters. Wordt deze frequentie gehandhaafd, dan zal elke omwenteling van de schijf overeenkomen met zes rasters. En dus moet de schijf draaien met een snelheid van $\frac{50}{6}$ of ruim 8 omwentelingen per seconde.

Te veel gebreken

Vr. – Helemaal niet slecht voor een schijf, die vrij grote afmetingen zal moeten hebben, om te bereiken dat een sector die $\frac{1}{6}$ van de schijf beslaat, het scherm van een katodestraal-

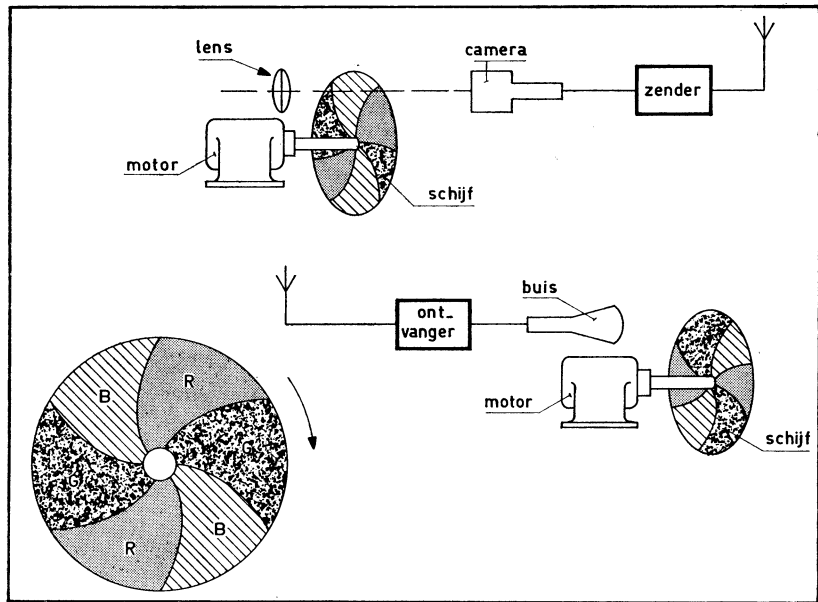


Fig. V.4. Principe van het systeem met rasterwisseling. Hierbij wordt gebruik gemaakt van filterschrijven, vóór de camera en vóór de beeldbuis van de ontvanger.



buis volledig zal bedekken. Ik weet niet of ik me vergis, maar ik denk wel, dat ook voor het scherm van de ontvanger een dergelijke schijf moet draaien en dan nog synchroon met de cameraschijf.

W. – Je hebt gelijk, beste vriend. Een grote schijf, die met een dergelijke hoge snelheid draait, ontwikkelt niet te verwaarlozen middelpuntvliedende krachten. De toepassing van de mechanica op het gebied van de elektronica heeft trouwens steeds iets onbehaaglijks, vind ik. Maar bovendien heeft dit systeem ernstige nadelen. Denk maar even na en je zult zien, dat het volledige kleurenbeeld, met zijn drie grondkleuren en de rasterwisseling, wordt gevormd

door één volledige omwenteling van de schijf, dus in $\frac{6}{50}$ seconde of ongeveer één achtste van een seconde. Deze tijd overtreft de traagheid van het oog maar weinig. Dat heeft tot gevolg, dat men niet meer de indruk zal hebben, een continu beeld te zien; er zal flikkering worden waargenomen.

Vr. – Dat is inderdaad vervelend!

W. – En dat is nog niet alles. Bewegende personen of voorwerpen worden omlijnd door gekleurde contouren. De oorzaak hiervan is gemakkelijk na te gaan. Stel, dat het onderwerp zich in $\frac{1}{8}$ seconde 1 cm op het scherm heeft verplaatst. Gedurende deze tijd is het achtereenvolgens verschenen in rood, groen, blauw, rood, groen en blauw, zonder dat een volledige dekking heeft plaatsgevonden; dit betekent, dat de omtrek van het bewegende object op verschillende plaatsen en met verschillende kleuren zal zijn afgebeeld.

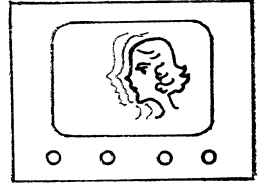
Vr. – Ik veronderstel, dat hetzelfde verschijnsel wordt waargenomen als de kijker een snelle zijdelingse hoofdbeweging maakt. Door de afstand tussen het filter en het scherm heeft men parallaxfouten, hetgeen ook gekleurde contouren doet ontstaan. Of vergis ik me?

W. – Helemaal niet, Vraagal. En wat denk je van het systeem met rasterwisseling met het oog op de bezetting van de frequentiebanden?

Vr. – Noch goed, noch slecht, omdat de beelden worden afgetast in hetzelfde ritme als bij de achrome televisie. Dat is waarschijnlijk ook de reden waarom dit systeem de zegen heeft gekregen van de FCC.

W. – Dat heeft echter niet lang geduurd. Eén jaar later, in 1951 dus, veranderde de FCC van mening en aanvaardde voor de kleurentelevisie de voorstellen van het NTSC (National Television System Committee). Daarom vermeld ik slechts volledigheidshalve de verschillende ontwerpen, die door de technici van RCA (Radio Corporation of America) werden uitgewerkt en die gebaseerd waren op een lijnsequentieel systeem en ook zelfs op een puntsequentieel systeem. Al deze systemen hebben echter een gemeenschappelijk groot gebrek: ze zijn niet compatibel!

Vr. – Ach, dat is afschuwelijk, Weetal . . . dat veronderstel ik althans, want ik weet helemaal niet over welke soort van compatibiliteit het gaat.

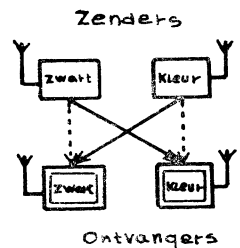


De voorwaarden voor dubbele compatibiliteit

W. – Een Frans ingenieur, Georges Valensi, een groot specialist op het gebied van de telecommunicatie en één van de belangrijkste televisiepioniers, heeft vóór de tweede wereldoorlog duidelijk de voorwaarden voor de dubbele compatibiliteit bepaald, waaraan elk rationeel kleurentelevisiesysteem zou moeten voldoen. Terecht heeft Valensi gesteld, dat kleurentelevisie de achrome televisie niet zou mogen verdringen, zomin als de kleurenfotografie de zwart-witfotografie en de kleurenfilmtechniek de zwart-witfilm hebben verdreven. Tussen beide technieken zal het ergo tot een toestand van „vreedzame coëxistentie” moeten komen.

In feite zijn er in elk land, dat tot kleurentelevisie overgaat, reeds miljoenen achrome televisieontvangers aanwezig. Om niemand te benadelen, stelt Valensi twee fundamentele eisen:

1. De in kleuren uitgezonden programma's moeten ook correct, maar uiteraard slechts in één kleur door de achrome toestellen worden weergegeven.
2. De achroom uitgezonden programma's moeten echter ook door de kleurentelevisie-apparaten kunnen worden ontvangen, waarbij de beelden dan natuurlijk in zwart-wit zichtbaar zullen zijn.



Vr. – Als ik het goed begrijp, beoogt het principe van de dubbele compatibiliteit, dat elke televisiekijker alle programma's kan volgen, ongeacht of het achrome of kleurentuizendingen zijn en of hij een oude achrome ontvanger of een moderne kleurentelevisie-ontvanger bezit: als het om een achrome uitzending gaat, ziet iedereen een zwart-witbeeld.

W. – Ik hoor dat je de essentie van het probleem gesnapt hebt.

Vr. – Wat ik echter minder duidelijk inzie, is de oplossing van dit probleem. Het is waarschijnlijk niet zo moeilijk, achrome beelden op te wekken op een kleurentelevisietoestel, als er achrome programma's worden uitgezonden, maar . . .

Vraagal heeft een lumineus idee

W. – Je hebt het mis beste vriend! Dat is juist het meest ingewikkeld. Je zult later wel zien, dat de moeilijkst op te wekken kleuren zwart en wit zijn. En ik kan je verzekeren dat ik massa's toestellen heb gezien, waarop de sneeuw van een berglandschap roze, geel, groen of blauw was, alleen omdat de ontvanger slecht was afgeregeld.

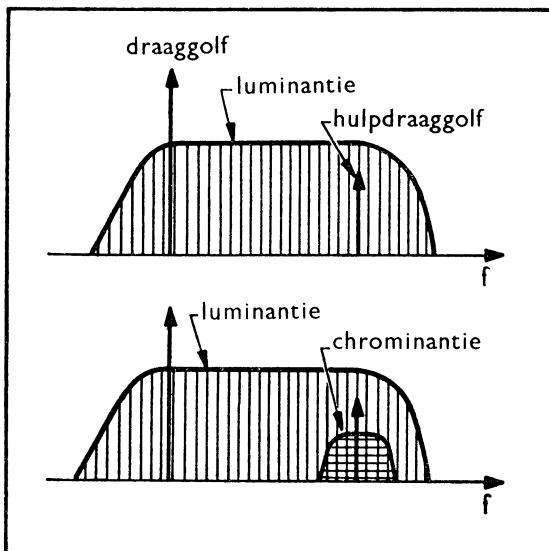


Fig. V.5. Het frequentiespectrum dat wordt ingenomen door de met het luminantiesignaal in amplitude gemoduleerde draaggolf en het spectrum van de niet-gemoduleerde (boven) of door de chrominantie gemoduleerde hulpdraaggolf (onder).

Vr. – Jouw Valensi is wel erg vriendelijk om voorwaarden te stellen. Maar je moet er ook aan kunnen voldoen!

W. – Hij is nog veel vriendelijker dan je denkt, want hij heeft niet alleen de voorwaarden voor de dubbele compatibiliteit bepaald, hij heeft ook nog de middelen aangegeven om eraan te voldoen. Alle thans bestaande systemen zijn gebaseerd op de ideeën, die hij vóór de oorlog heeft geformuleerd. En als ik de fysische eigenschappen van de kleuren en hun gewaarwording zo uitvoerig met je heb doorgenomen, dan was dat gedeeltelijk, opdat je beter de basisidee van Valensi zou begrijpen.

Vr. – Wacht even Weetal. Ik denk dat ik er al een deel van kan raden vóórdat je het me uitlegt. Wat ons in een achroom beeld in staat stelt, de verschillende elementen te onderscheiden,

is uitsluitend *het verschil in luminantie*. Wil een achrome televisie-ontvanger ook kleuren-uitzendingen kunnen ontvangen, dan moet de draaggolf worden gemoduleerd door een videosignaal, dat een functie is van de luminantie, net zoals de draaggolf bij een achrome uitzending.

W. – Ik moet bekennen, Vraagal, dat ik je bewonder om je redeneringsvermogen. Wat je zojuist hebt gezegd is juist. Of het nu het Amerikaanse NTSC-systeem betreft, het Franse SECAM- of het PAL-systeem dat van Duitse oorsprong is, de draaggolf wordt in amplitude gemoduleerd door een videosignaal, dat een functie is van de luminantie, zodat de helderheid van de opeenvolgende beeldpunten wordt weergegeven. De kijker die een achrome televisie-ontvanger bezit, ziet de beelden evenwel zonder van het schitterende palet te genieten, zoals de gelukkige bezitter van een kleurentelevisie-ontvanger.

Vr. – Nu begrijp ik waarom het luminantiesignaal Y op zo'n eigenaardige manier wordt samengesteld door het doseren van de drie primaire kleursignalen:

$$Y = 0,59 G + 0,30 R + 0,11 B$$

Aangezien men aan de kijkers die het achrome beeld zullen zien, dezelfde indruk van lichtsterkte moet geven als aan de kijkers die het geluk hebben het kleurenbeeld te mogen aanschouwen en omdat het oog vrij gevoelig is voor groen en in mindere mate voor blauw, bestaat het luminantiesignaal uit 59% groen, 30% rood en slechts 11% blauw.

W. – Je bent werkelijk in topvorm, Vraagal! Het is inderdaad zo, dat de ongelijke gevoeligheid van het oog voor de verschillende schakeringen, oorzaak is van de waarden, waarin de drie primaire kleursignalen worden gedoseerd om een even goede luminantieweergave te verkrijgen als bij de achrome televisie-uitzendingen. De laatste programma's worden dan eveneens onder de gunstigste voorwaarden door kleurenontvangers weergegeven.

Draaggolf en hulpdraaggolf

Vr. – Op welke manier levert men aan een kleurenontvanger de informatie, die de kleuren aan de luminantie toevoegt?

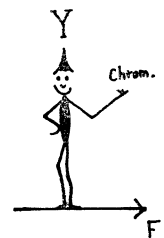
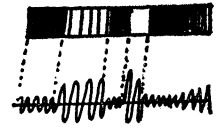
W. – Daartoe worden *chrominantiesignalen* uitgezonden. Ik herinner je er nog eens aan, dat deze term de gewaarwordingen van *tint en verzadiging* aangeeft, die worden bepaald door de spectrale samenstelling van het licht. Het principe van de trichromie . . .

Vr. – Je maakt me ongerust, Weetal. Je zult me toch niet gaan vertellen, dat behalve de draaggolf, die voor de luminantie wordt gereserveerd, men er nog drie andere nodig heeft om de relatieve waarden van de drie grondkleuren over te dragen? En wat doe je dan met de beruchte „overbezetting van de frequentiebanden”?

W. – Maak je niet ongerust, beste vriend. We kunnen volstaan met één enkele draaggolf. Maar we zullen deze voorzien van een soort kunstart, die we *hulpdraaggolf* zullen noemen en die de *chrominantie* zal overdragen, zodat we hem ook *kleurendraaggolf* kunnen noemen.

Vr. – Het wordt er toch niet eenvoudiger op. Zeg me eerst wat een hulpdraaggolf is.

W. – Het is in feite een kunstgreep, die vaak wordt toegepast in de telecommunicatietechniek, namelijk in de draaggolf- of multiplextelefonie. Je weet dat de televisie-uitzendingen plaatsvinden in de metergolfbanden en meer speciaal in het decimetergebied, waarvan de desbetreffende frequenties honderden megahertz bedragen. Je weet ook, dat de videosignalen een bandbreedte vragen van verschillende megahertz (5 MHz volgens de Europese norm met 625 lijnen en 6 MHz volgens de Franse 625-lijnennorm). De aldus gemoduleerde draaggolf bezit een frequentiespectrum, dat zich aan weerszijden van de draaggolffrequentie uitstrekt



over twee modulatiezijbanden. Men verwijdert het grootste deel van één ervan, om de overbezetting van de frequentiebanden te vermijden.

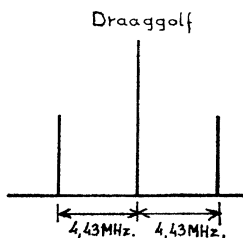
Vr. – Dat weet ik al lang, Weetal, om precies te zijn, sinds we de radiotechniek bestudeerden.

W. – Stel, dat je de draaggolf moduleert met een signaal van één enkele frequentie, laten we zeggen 4,43 MHz.

Vr. – Dan zullen er slechts twee zijbandfrequenties ontstaan, die van de draaggolfrequentie zullen verschillen, respectievelijk met plus en min 4,43 MHz.

W. – Juist. We kunnen er trouwens één laten verdwijnen. Stel vervolgens, dat deze trilling van 4,43 MHz, die we als *hulpdraaggolf* kunnen beschouwen, op zijn beurt wordt gemoduleerd door signalen waarvan de frequenties veel lager liggen.

Vr. – . . . Dat is vervelend . . . Ik veronderstel, dat er zich in dit geval twee modulatiezijbanden zullen vormen aan weerszijden van de hulpdraaggolfrequentie. Grafisch voorgesteld zou een zuivere hulpdraaggolf overeenkomen met een lijn. Als hij gemoduleerd is, wordt hij gevormd tot een min of meer brede rechthoek, afhankelijk van de hoogste frequentie in het modulerende signaal.



Overdracht van de chrominantie

W. – Prachtig Vraag! Ik kan je nu dus onthullen, dat deze frequentie van 4,43 MHz de frequentie is, die werd aangenomen voor de Europese 625-lijnnorm voor kleurentelevisie.

Vr. – Waarom?

W. – Omdat we voor de chrominantie niet zo'n hoge definitie nodig hebben als voor de luminantie. Denk even terug aan de chromatische aberratie en aan de ongelijkmatige verdeling van de kegeltjes, die het onderscheidingsvermogen van het oog verminderen. Het onderscheiden van de tinten en de verzadiging is verre van kritisch. De luminantie bepaalt in hoofdzaak de fijnheid van de details in het uitgezonden kleurenbeeld. Daarom wordt die luminantie met de hoogst mogelijke definitie uitgezonden, of althans met dezelfde bandbreedte als bij achrome televisie. Wat de chrominantie aangaat, die beslaat een frequentieband die voldoende smal is om binnen de grenzen van de luminantiedoorlaatband te blijven, zoals mijn grafiek aantoont.

Vr. – Eerlijk gezegd, zie ik nu geen bezwaar meer om de chrominantie met een beperkte definitie uit te zenden. Ik herinner me nog, dat ik me in mijn jeugd uitstekend vermaakte met het kleuren van in zwart-wit gedrukte tekeningen. Met een penseel kleurde ik er maar wat op los. De verf liep wel eens buiten de gedrukte lijnen, maar het resultaat was uiteindelijk niet zo slecht. De in zwart-wit gedrukte tekening bepaalde de contourscherpte en de details.

W. – Je ziet nu wel, dat de globale frequentieband voor een kleurentelevisie-uitzending, dank zij de hulpdraaggolf waarop de chrominantie wordt overgedragen, niet breder is dan die bij een achrome uitzending.

Vr. – Mooi zo. Maar er dringt zich in dat vruchtbare brein van me een reeks vragen op. Hoe wordt de hulpdraaggolf gemoduleerd? Hoe kan hij de informatie betreffende drie kleuren bevatten? Hoe . . .

W. – Hou op Vraag! Niet alles tegelijk. De hulpdraaggolf wordt in amplitude gemoduleerd voor NTSC en PAL; hij is in frequentie gemoduleerd voor SECAM. Wat de drie grondkleuren betreft, men brengt er slechts twee over: rood en blauw, of juist gezegd, het verschil tussen de signalen R en B enerzijds en de luminantie anderzijds, dus: $(R - Y)$ en $(B - Y)$, de zgn. *kleurverschilsignalen*.

Vr. – Maar pas je dan toch het tweekleurenprincipe toe? Je offert groen op? Groen, dat het symbool van de hoop is!



W. – Maak je geen zorgen, Vraagal. Het groene signaal wordt bij de ontvangst opnieuw samengesteld. Vergeet niet, dat de luminantie drie kleuren omvat. Aangezien men bij ontvangst na demodulatie van de draaggolf over Y beschikt, kan men om te beginnen R en B terugwinnen door een gewone optelling van de signalen :

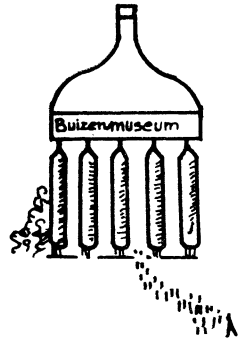
$$Y + (R - Y) = R$$

$$Y + (B - Y) = B$$

Tenslotte hoef je nog slechts deze twee signalen (R en B) van Y (die de som is van de drie kleursignalen) af te trekken om groen weer te verkrijgen.

Vr. – Het lijkt allemaal heel eenvoudig, maar het doet me duizelen. Ik zie niet goed in hoe je bij de ontvangst met al die signalen kleuren kunt opwekken.

W. – Ga morgen maar een bezoek brengen aan het *Museum van de Elektronenbuis*. Daar zul je het antwoord op tal van vragen vinden . . . In afwachting daarvan dien je dan nog te weten, dat de verschillende signaalbehandelingen, om de luminantie- en chrominantie-signalen samen te stellen, bij de uitzending door een *encoder* worden uitgevoerd. Bij de ontvangst wordt een *decoder* gebruikt om uit deze signalen de spanningen te halen die aan de elektroden van het buitengewone apparaat worden gelegd, dat men je in het Museum van de Elektronenbuis zal tonen.



HOOFDSTUK VI

Dit bezoek aan een denkbeeldig museum zal de lezer vertrouwd maken met de verschillende apparaten die werden uitgevonden om kleurenbeelden op te wekken met behulp van signalen, die van dit beeld de „elektrische vertaling” zijn. Tijdens dit bezoek onder geleide zullen de volgende punten worden onderzocht:

De projector met drie buizen – Het probleem van de convergentie – Het gamma – De eidofoor – De schaduwmaskerbuis – Het probleem van de kleurzuiverheid – Demagnetisatie – De beeldbuis van de toekomst.

IN HET MUSEUM VAN DE ELEKTRONENBUIS

De jonge rondleider hield stil op de drempel van een zaal en keerde zich om naar de groep leerlingen, die werden vergezeld door hun leraar. Hij liet zijn blik glijden over de jongelui om zich ervan te verzekeren, dat hij er onderweg niet één of twee verloren had, die bij de looptijdbuizen of in de „Lee de Forestzaal” waren blijven staan. Hij was pas afgestudeerd op de Hogeschool voor Televisietechniek en bereidde een proefschrift voor in de laboratoria van het Internationale Museum van de Elektronenbuis. Hij maakte daarbij van de gelegenheid gebruik om aan jonge bezoekers van het Museum uitleg te geven. Hij interesseerde zich voor de geschiedenis van de techniek, zodat hij vrij lang was blijven stilstaan bij een idee van Edison, dat inhield, een extra gloeidraad in een lamp aan te brengen om het lichtrendement te verhogen. Aldus werd de diode geboren en werd meteen het startsein gegeven voor het grote avontuur van de elektronica. Hij was jong en vol enthousiasme voor zijn nog nieuwe beroep, zijn uiteenzettingen waren eenvoudig en de leerlingen luisterden opletend en stelden zelfs vragen.

Alle jongens stonden nu voor hem. Hij kuchte eens en zei:

– We zullen nu een nieuwe zaal bezoeken, die pas een week voor het publiek toegankelijk is. Het betreft de afdeling „Buizen en speciale weergeefmethoden van kleurentelevisiebeelden”. Hij opende de deur en de groep ging naar binnen. De rondleider sloot de deur, baande zich een weg door de leerlingen en liep in de richting van een meubel, dat respectabele afmetingen bezat. Het geroezemoes dat was ontstaan, ebde onmiddellijk weg toen hij begon te spreken: – Jullie weten allen hoe kleurentelevisie-ontvangers werken. Jullie weten dus ook, dat aan de uitgang van de decoder in de ontvanger, drie videosignalen ter beschikking staan, die respectievelijk overeenkomen met de rode, de groene en de blauwe beeldpartijen.

Hij wachte even. De hoofden tegenover hem gingen bevestigend op en neer, terwijl de leraar met gefronste wenkbrauwen de domoor poogde te ontdekken, die van zijn prachtlessen geen profijt had weten te trekken en die de principes van de kleurentelevisie nog niet kende.

De rondleider hernam:

– Het eerste idee dat opkomt, wanneer men tracht kleurenbeelden te verkrijgen is, drie katodestraalbuizen te gebruiken en ze respectievelijk uit te sturen met de signalen R , G en B . Als men voor de buis, die door het rode signaal wordt gevoed een rood filter plaatst, voor de buis die met G wordt uitgestuurd een groen filter en voor de buis waaraan signaal B wordt toegevoerd een blauw filter, dan beschikt men over de drie primaire kleurenbeelden.

Het is dan voldoende, deze drie beelden met behulp van een optische methode over elkaar te projecteren om zodoende het volledige kleurenbeeld te verkrijgen.

Dertig hoofden knikten ja. De jongens begonnen er zichtbaar genoeg in te krijgen. Hijzelf vond het groepje sympathiek en hij was blij aan deze, naar kennis hunkerende jongelui dingen te kunnen vertellen, waarmee hij zelf al jaren vertrouwd was.

– Om ze te superponeren, bestaat er een methode die drie zeer lichtsterke buizen vereist. De drie opgewekte beelden worden door middel van drie objectieven op een scherm geprojecteerd.

Hij drukte op een knop vóór hem; het werd geleidelijk aan donker. Zijn witte jas tekende zich eigenaardig af tegen het grijze apparaat. Alle hoofden waren nu naar een scherm gericht, dat zich langzaam op een paar meter afstand van het groepje ontrolde. Een charmante

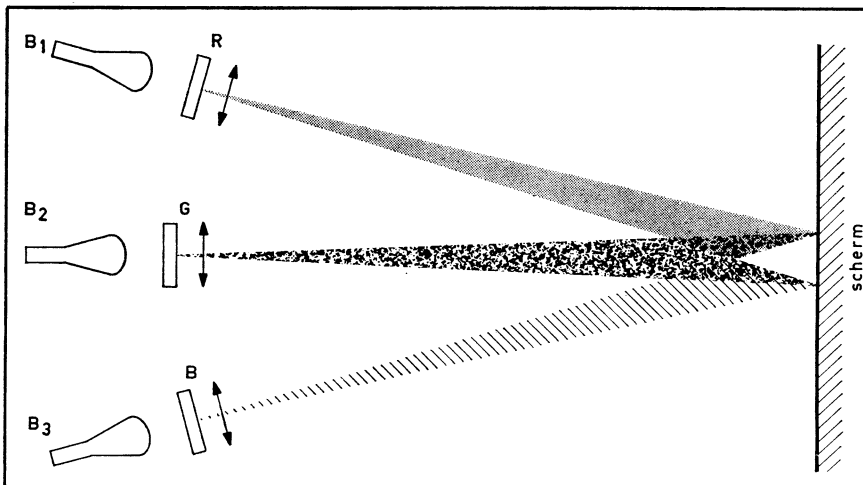


Fig. VI.1. *De drie-kleurenprojector*. De beelden van de drie beeldbuizen B_1 , B_2 en B_3 worden gekleurd door de filters R, G en B. Ze worden op een scherm geprojecteerd via drie objectieven.

jonge vrouw met een strohoed op verscheen in kleuren op het scherm. De rondleider drukte plotseling op twee knoppen tegelijk en de jonge vrouw werd onverwacht helemaal groen. Algemeen gelach was het gevolg, terwijl de leraar door autoritair gesis weer stilte poogde te verkrijgen. Toen het rumoer verstomd was, zei de rondleider:

– Wat jullie zo vermakelijk hebben gevonden was de groene bijdrage tot het beeld. Ik had de rode en de blauwe weggenomen. Kijk nu maar naar het blauwe alleen . . . vervolgens alleen het rode . . . en tenslotte het volledige beeld.

De proef leek geslaagd. Eén van de leerlingen stak echter zijn vinger op en vroeg: „Waarom is er een gekleurde rand aan de strohoed?”

Hij kreeg onmiddellijk spijt over de ogenschijnlijk domme vraag, toen er een onbedaarlijk gelach opsteeg en de leraar opnieuw de wenkbrauwen fronste. De rondleider bekeek het beeld en keerde zich naar zijn publiek.

– Dat zijn de zgn. dekkingsfouten, meestal gebruikt men het woord „convergentiefouten”. Jullie zullen het dadelijk begrijpen: de drie buizen met hun objectieven zijn vanuit verschillende posities op het scherm gericht, zodat de drie optische assen in het midden van het scherm samenvallen. Die elektronenstraalbuis, waarvan de voorkant parallel is aan het projectiescherm, wekt een volmaakt rechthoekig beeld op. In de beelden van de twee andere buizen ontstaan tegengestelde, trapeziumvormige vertekeningen, te wijten aan de parallax. Men is dus verplicht geweest, een voorcorrectie op de beelden toe te passen, door de afbuigingen van de twee buitenste buizen elektrisch te beïnvloeden. Deze correcties moeten zodanig worden ingesteld, dat de geometrie van de drie geprojecteerde beelden op alle punten van het scherm identiek is.

Hij draaide aan een reeks knopjes en de gekleurde rand versmalde, verdween en ontstond opnieuw maar in omgekeerde zin.

– Hebben jullie het gezien? Ik ben te ver gegaan.

Hij begon opnieuw en het beeld verscheen nu zuiver en scherp.

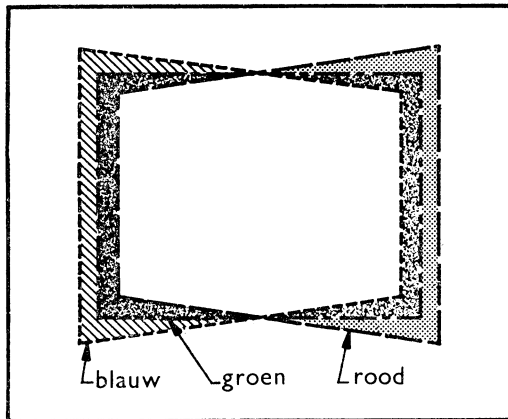


Fig. VI.2. *Convergentiefouten* die te wijten zijn aan trapeziumvormige vertekening.

– Het contrast en de helderheid van de drie beeldbuizen moeten gelijk zijn om wit te kunnen verkrijgen zonder één of andere overheersende tint. Jullie begrijpen wel dat, als bijv. de rode buis een groter contrast of een grotere helderheid heeft dan de andere, het beeld een dominerende rode tint zal hebben. We moeten echter nog veel verder gaan, want ook de gamma's van de drie buizen moeten gelijk zijn, anders is het onmogelijk een volledig neutrale gradatie-trap weer te geven.

Eén van de leerlingen mompelde – echter niet zacht genoeg, zodat de leraar het hoorde – „Wat is dat, het gamma?” De ogen van de leraar schoten vonken toen hij de vermetele vraagsteller bekeek. De rondleider antwoordde:

– Het licht dat door een elektronenstraalbuis wordt opgewekt, is niet recht evenredig met de videosignaalspanning. Het verloopt volgens de betrekking:

$$L = V^\gamma$$

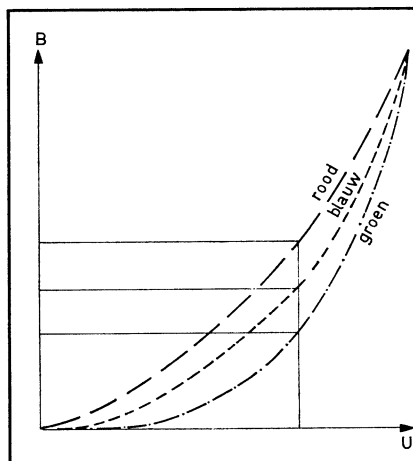
en γ (Griekse letter: gamma) hangt af van de constructie van het elektronenkanon en van

de spanning aan de elektroden. Daarom moeten de spanningen aan de elektroden worden afgeregeld om de drie helderheids-spanningskarakteristieken identiek te maken. Zelfs bij buizen van dezelfde constructie is dit nodig.

Hij maakte opnieuw licht en ging naar een ander toestel, dat aan de bovenkant voorzien was van een soort kijkgat. Hij keek er even in en wendde zich tot de leerlingen:

– In plaats van de beelden op een scherm te projecteren, kan men de drie beelden ook virtueel superponeren, zodat het volledige kleurenbeeld alleen in het oog optreedt. Men kan zelfs de gekleurde filters voor de buizen wegnemen, want bepaalde spiegels, die dichroïtische spiegels worden genoemd, bezitten de eigenschap slechts één primaire kleur te reflecteren en de twee andere door te laten. Het zijn dus selectieve, halfdoorlatende filters; de spiegel die rood weerkaatst, laat groen en blauw door; de spiegel die blauw reflecteert laat rood en groen door. Jullie kunnen om de beurt naar deze dichroïtische beeldmonitor kijken.

Fig. VI.3. Helderheids/spanningskarakteristieken van de drie buizen van een willekeurig weergeefstelsysteem (bijv. van de drie kanonnen van een schaduwmaskerbuis). Het gamma voor groen is groter dan dat voor blauw, dat op zijn beurt weer hoger is dan het gamma voor rood. Hoewel zwart en wit zonder kleurdominant zullen worden weergegeven, zal de buis voor een gegeven spanning, liggend tussen nul en de met wit overeenkomende waarde, meer rood uitstralen dan blauw en meer blauw dan groen. Grijs zal dus worden gekleurd door een rood-blauwe tint.



En terwijl de jongens om beurten achter in de koker het gelaat van de jongedame met de strohoed bewonderden, zei de rondleider:

– In een dichroïtische monitor staan de drie buizen symmetrisch t.o.v. de optische as van het systeem, waardoor er geen trapeziumvorming ontstaat, welke door parallax kan worden veroorzaakt. Toch kunnen er nog convergentiefouten ontstaan als de centrering, de amplitude en de lineariteit van de afbuigingen van de drie buizen niet uiterst nauwkeurig overeenkomen. Ook hier is dus een convergentieregeling nodig, hoewel afwijkend: voor dit apparaat moet de geometrie van de geschreven afbuigrasters absoluut identiek zijn.

Het hele groepje had ondertussen in de dichroïtische monitor gekeken en sprak fluisterend over het lastige probleem van het „gamma”. Zonder zich aan het gefluister te storen, liep de rondleider naar een kast, waarvan de afmetingen nog imposanter waren dan die van de drie buizenprojector of de dichroïtische monitor.

– Dit apparaat is een zwart-wit-eidofoor, die is aangepast om er ook kleurenbeelden mee te kunnen projecteren. De projectie van kleurentelevisiebeelden, die met elektronenstraalbuizen worden opgewekt, wordt meestal beperkt door de beschikbare lichtsterkte van de luminescerende laag van het scherm. Om een zeer helder beeld te verkrijgen, dient met hoge waarden van de versnellingsspanning gewerkt te worden. Dit heeft tot gevolg, dat de laag zeer snel inbrandt. Het grote voordeel van dit apparaat, dat door de Zwitser *Fischer* werd uitgedacht, is, dat het lichtrendement onafhankelijk is van één of andere luminescerende laag. Het beeld kan daarom op zeer grote schermen worden geprojecteerd. Het werkingsprincipe is als volgt:

– De stralen van een sterke lichtbron (boog- of xenonlamp) worden door middel van een

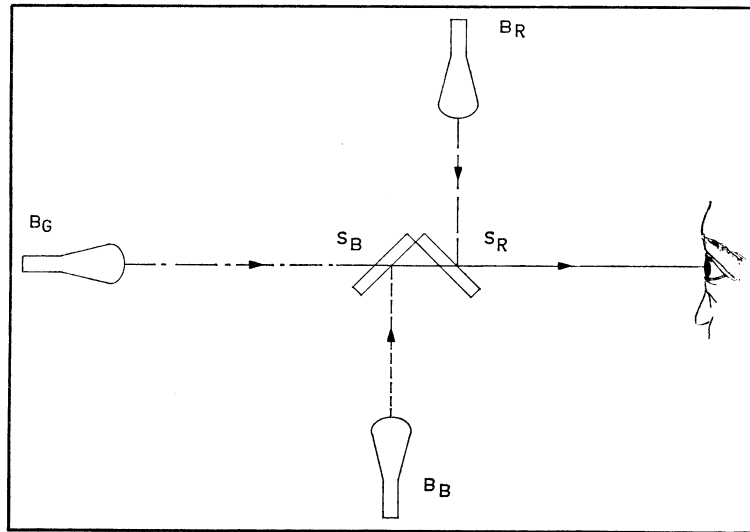


Fig. VI.4. *Dichroïsche beeldmonitor*. Buis B_B , die wordt uitgestuurd door het blauwe videosignaal straalt wit licht uit, waarvan alleen de blauwe component door de dichroïsche spiegel S_B wordt gereflecteerd. Deze component doorloopt zonder enige belemmering de spiegel S_R en bereikt vervolgens het oog. Het witte licht dat door B_R wordt uitgestraald, wordt gesplitst in een rode component, die door S_R wordt gereflecteerd (en het oog bereikt) en een cyaan component, die door de spiegel wordt doorgelaten en verloren gaat. Spiegel S_B laat van het door B_G uitgestraalde licht alleen het gele aandeel door, terwijl S_R daarvan uitsluitend de groene component doorlaat.

holle spiegel op een scherm gereflecteerd. Deze spiegel bestaat uit een dunne olielaag; we zullen dadelijk zien waarom. Dit gereflecteerde licht bereikt het scherm echter niet, want het wordt onderweg geblokkeerd door een systeem van niet doorschijnende roosters. Indien de olielaag wordt gedeformeerd, zullen de lichtstralen die op de spiegel vallen ter plaatse waar vervorming van de laag heeft plaatsgevonden, min of meer afwijken van het aanvangstraject, zodat ze nu via het roostersysteem naar het scherm gaan.

Om de olielaag te vervormen, gebruikt men een elektronenstraal, die in intensiteit wordt gemoduleerd door het videosignaal en die op de spiegel het te projecteren beeld „graveert”. Om een eidofoor aan te passen voor kleurentelevisie, kan men drie eidoforen met de nodige filters gebruiken (hierbij ontmoet men weer het probleem van de convergentiecorrectie en de trapeziumvervorming) of een systeem toepassen met rasterwisseling, zoals het CBS-systeem, waarbij de rode, groene en blauwe fragmenten achtereenvolgens worden overgebracht in rastertempo.

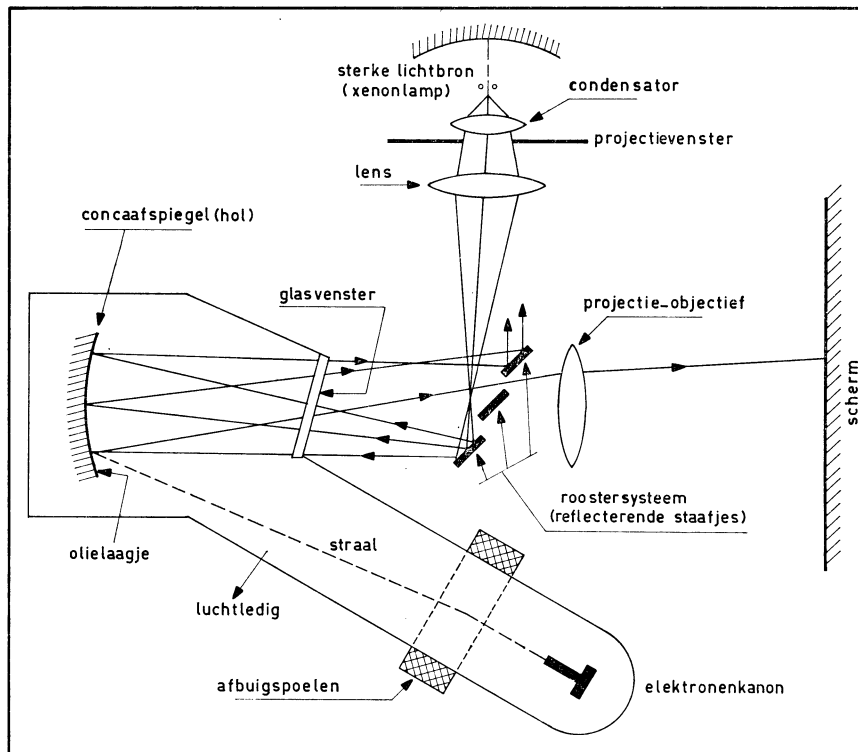


Fig. VI.5. Doorsnede van een eidofoor. Een van de lichtstralen wordt afgebogen door de vervormingen, die veroorzaakt worden door de elektronenstraal, die met het videosignaal intensiteitsgemoduleerd is. Een soort „wisser” (niet afgebeeld) veegt de vervorming van de olielaag na elk raster uit.

In dit geval bestaat het convergentieprobleem niet meer, maar men vindt alle nadelen van de sequentiële systemen terug.

De leerlingen staarden met verbazing naar deze reus van de kleurentelevisie, die een zeer helder beeld van grote afmetingen op een scherm van diverse vierkante meters oppervlakte projecteerde. De rondleider ging na een poosje verder en hield stil voor een grote didactische

elektronenstraalbuis, die op een voetstuk was geplaatst, waarop men kon lezen: *schaduw-maskerbuis*.

Naast dit model stond een in werking zijnde ontvanger. Op het scherm zag men weer het meisje met de strohoed, maar omdat de zaal niet meer in het duister was gedompeld, leek het beeld nu veel fletser dan zojuist.

– Daar het onmogelijk is een driebuisenprojector, een dichroïtische monitor of een eidofoor in een moderne flat op te stellen (gegrinnik bij de toehoorders), diende een andere oplossing te worden gevonden. Dit hier is iets dat door RCA werd voorgesteld: de drie buizen in dezelfde glasballon plaatsen (hetgeen een oplossing is voor het probleem van de synchrone afbuiging) en het kleurenbeeld rechtstreeks op het scherm van deze buis opwekken. Aangezien de straal die op dit scherm terechtkomt een elektronenstraal is en geen lichtstraal, kan

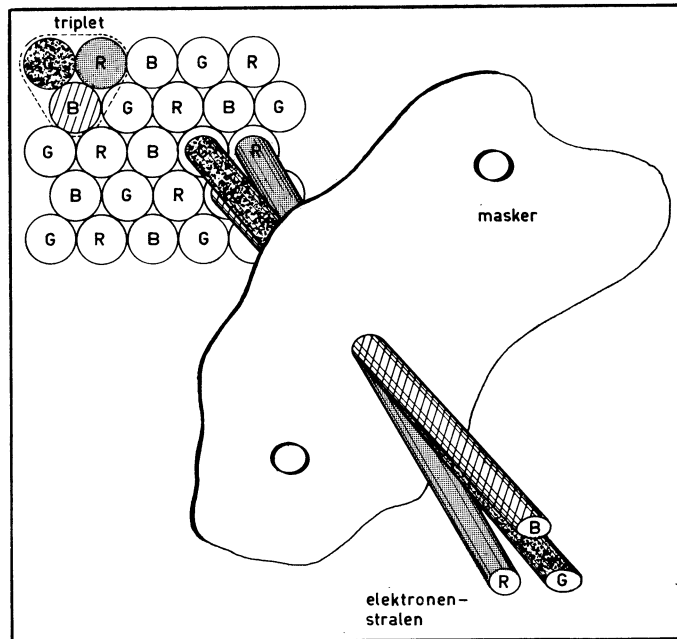


Fig. VI.6. Schematische voorstelling van de trajecten van de elektronenstralen in een drie-kleurenbuis. De stralen R, G en B gaan door de gaatjes van het masker en bereiken vervolgens de bijbehorende fosforen. (Zie ook de kleurfiguur op blz. IV.)

er geen sprake zijn van gebruik van kleurenfilters. Daartegenover staat, dat men een aantal chemische grondstoffen kent die, als ze door een elektronenstraal worden getroffen, licht met een bepaalde kleur uitstralen. Men noemt ze *luminoforen* of *fosforen*. Jullie kennen trouwens de fosforen van de oscilloscoopschermen, die meestal groen of blauw zijn. Men kan echter ook luminoforen vervaardigen, die met de primaire kleuren overeenkomen.

De moeilijkheid is natuurlijk, dat de elektronenstraal, waarvan de intensiteit wordt bepaald door het videosignaal R, werkelijk op de fosfor terechtkomt die rood oplicht en niet op een andere. Op welke wijze kan men nu die „selectieve prikkeling” van de fosforen waarborgen?

– Daarvoor moet men een beroep doen op het parallaxverschijnsel. Dit feit bewijst eens te meer, dat hetgeen soms een nadeel is, in andere omstandigheden een voordeel kan betekenen.

Vlakbij het scherm is een masker met een groot aantal gaatjes aangebracht. Dit masker bevindt zich uiteraard binnen het traject van de elektronenstraal.

De drie elektronenstralen, afkomstig van de drie kanonnen, vliegen door een bepaald gaatje en zullen uiteraard op drie verschillende plaatsen op het scherm vallen. Het is nodig en ook voldoende, dat juist op deze drie plaatsen de overeenkomende fosforstippen worden aangebracht.

De stilte die op deze uiteenzetting volgde, werd slechts gestoord door het gebrom van de voedingen en het knetteren, veroorzaakt door vonken in de hoogspanningstrap van de grote elektronenstraalbuis. De domoor die al was opgevallen toen er over het gamma werd gesproken, mompelde: „Je moet er toch maar op komen.”

Zonder op de onvermijdelijke reactie van het publiek te wachten, zei de rondleider:

– Inderdaad, je moet er maar op komen, maar bovendien moet je het ook nog verwezenlijken en dat is niet zo eenvoudig, want buiten de convergentiefouten (de drie beelden ondergaan trapeziumvormige vertekeningen) die door een aantal permanente magneten en spoelen (welke de door de elektronenstraal gevolgde baan vervormen) worden gecorrigeerd, loopt men nog het risico kleurzuiverheidsfouten op te wekken. Dit soort fouten bestaat niet bij systemen met drie buizen. Dergelijke fouten worden veroorzaakt door elektronen, die kleuren doen oplichten, welke niet overeenkomen met de „denkbeeldige” kleur van het kanon. Om hieraan te ontkomen, moet men aan deze ringvormige magneet draaien, zodat de richting van de elektronenstraal enigszins gewijzigd wordt.

Bij het draaien aan genoemde ring op de in werking zijnde buis, zag men in de lucht naast de strohoed een magenta vlek verschijnen en een groene zone aan de onderkant van het beeld.

Terwijl de rondleider met de kleurzuiverheid doende was, onderzocht de leraar nauwgezet het opengewerkte buismodel en vroeg:

– Hoeveel gaatjes zitten er in het masker?

– Zoveel als er punten zijn in een televisiebeeld met 625 lijnen, dus circa 400 000.

Een leerling vroeg schuchter: „Wat gebeurt er, als een elektron niet precies in een gaatje terecht komt?”

– Dat is het geval met het grootste deel van de elektronen, antwoordde de rondleider. De transparantie van het masker bedraagt slechts 15%. Dat betekent dat 85% van de elektronen, die door de katode worden uitgezonden, op het masker zullen belanden en uiteraard niet tot de vorming van het beeld zullen bijdragen, omdat ze op de verkeerde plek terechtkomen. Dit is de reden, waarom de stroom van de hoogspanningsbron zo hoog is (1 mA); en daar de spanning 25 kV bedraagt, zullen jullie wel begrijpen, dat men over een vermogenstrap moet beschikken om deze bron te stabiliseren.

Hij liep naar een bergkast, haalde een grote spoel te voorschijn, die op een cilinder van plexiglas was gewikkeld en sloot die via een contactdoos op het net aan.

– Deze spoel wordt nu door de stroom uit het net doorlopen: hij straalt dus een wisselend magnetisch veld uit. Jullie weten dat een dergelijk veld een elektronenstraal min of meer kan afbuigen. Een licht magnetisch veld zal op een zwartwit-beeldbuis nauwelijks zichtbare verschuivingen veroorzaken, omdat dit te zwak is. Op een schaduwmaskerbuis daarentegen is een heel zwakke verplaatsing van de elektronenstraal voldoende om de kleuren te vervalsen. De elektronenstraal zou bijv. op de rode fosforen moeten vallen en komt dan echter op de groene of de blauwe stippen terecht.

Hij bracht de spoel voor het scherm, waarop veelkleurige krachtlijnen verschenen. Zonder de spoel te verplaatsen, onderbrak hij de spanning.

– Zo. Nu zijn de ferrometalen componenten van de ontvanger gemagnetiseerd, en in het bijzonder het schaduwmasker. Het is nu onmogelijk geworden, een kleurzuiverheidsinstelling naar behoren uit te voeren. Zelfs het zwakke aardveld magnetiseert de buis. Dit heeft tot gevolg, dat de kleurzuiverheid slechts definitief kan worden ingesteld, als de ontvanger op zijn vaste plaats (in de huiskamer) zal staan t.o.v. het externe magnetische veld (aardmagnetisme of kunstmatig opgewekte velden.*). Let nu goed op: ik zal de buis ontmagnetiseren. Hij zette de spoel weer onder spanning, beschreef een aantal verticale cirkels voor het scherm en verwijderde zich geleidelijk van de ontvanger. Toen hij ver genoeg achteruit was gegaan, verdwenen de gekleurde vlekken. Daarna plaatste hij het vlak van de spoel loodrecht op het scherm en onderbrak de spanning. Hij richtte zich tot het groepje en zei met een trieste glimlach:

– Als jullie later kleurenontvangers moeten ontmagnetiseren, doe het dan nooit zoals ik het nu heb gedaan. Je moet eerst je horloge afdoen! Anders moet je het eveneens ontmagnetiseren.

Er ontstond weer hilariteit, vergezeld van opmerkingen omtrent de kwaliteit van antimagnetische uurwerken en fragmenten van anecdotes. Het tumult werd echter snel onderbroken door de leraar, die de leerlingen tot de orde riep.

De rondleider hervatte:

– De schaduwmaskerbuis heeft een ingewikkelde en kostbare constructie. Kijk eens met deze loep naar de rode, blauwe en groene fosforstippen. Er zijn één miljoen tweehonderd-duizend stippen met een hoge graad van nauwkeurigheid over het scherm verdeeld. De bijbehorende schakelingen voor de voeding, de afbuigingen enz. zijn grote stroomverbruikers en het beeld is niet erg helder. Daarom moet het in het donker worden bekeken om er werkelijk van te kunnen genieten. Men heeft andere oplossingen uitgedacht, die echter nog niet commercieel zijn gerealiseerd. Ik bedoel hier de buizen met slechts één elektronenkanon. De verbazing tekende zich op alle gezichten af.

– Jazeker, men kan kleurenbeelden verkrijgen met één enkel kanon, wanneer het wordt gemoduleerd door het rode signaal als de elektronen die door het kanon worden uitgestraald op dat ogenblik ook rode luminoforen treffen; door het groene signaal als ze groene luminoforen treffen en door het blauwe signaal als ze op blauwe fosforstippen vallen. Het gaat hier dus in feite om een sequentiële weergave (puntsequentie) met elektronische omschakeling. Hier zien jullie de verschillende modellen van éénkanonsbuizen: *de chromatron van Lawrence*, de indexbuizen enz. We zijn echter aan een tijdrooster gebonden, zodat ik de details niet kan beschrijven. Jullie dienen alleen te weten, dat het gemeenschappelijke bezwaar, dat hun praktische toepassing tegenwerkt (hoewel ze volgens verschillende principes werken) de complexe en zeer kwetsbare, bijkomende schakelingen zijn.

De leraar zei hierop: „Dat lijkt me allemaal erg pessimistisch. U praat over buizen die commercieel niet te realiseren zijn; u stelt ons reusachtige apparaten voor; u toont ons een buis waarvan u zelf zegt, dat hij ingewikkeld is en moeilijk te vervaardigen, dat hij heel wat gebreken bezit, en toch wordt hij voorzover ik weet overal gebruikt.”

– Ik heb het interessantste voor het laatst bewaard. U kunt zich wel indenken, dat de tech-

* Dit ongerief komt uitsluitend voor bij oudere series kleurenontvangers, vaak de eerste serie van de fabrikant. De huidige KTV-ontvangers zijn echter alle voorzien van een *demagnetisatiespoel* rondom de beeldbuis. Telkens wanneer de ontvanger wordt ingeschakeld, vloeit een 50 Hz-wisselstroom door de spoel, die steeds de buis en omliggende metalen delen demagnetiseert. Na enkele seconden daalt de stroom tot een verwaarloosbare waarde, die op de beeldweergave geen invloed heeft.

nici sinds jaren zonder onderbreking naar de optimale oplossing zoeken. Ik zou u dan ook graag de werking uiteenzetten van een driekanonnenbuis met een rooster en een vlak scherm. Deze buis betekent in feite een omwenteling op het gebied van de weergave van kleuren-televisiebeelden. Kennen jullie het verschil tussen een „camera obscura” en een modern fotoestel?

- ???

- In een „camera obscura” zit slechts een heel minuscule gaatje, in plaats van een objectief. Maar de aanzienlijke vooruitgang die werd geboekt door het gebruik van een convergerend

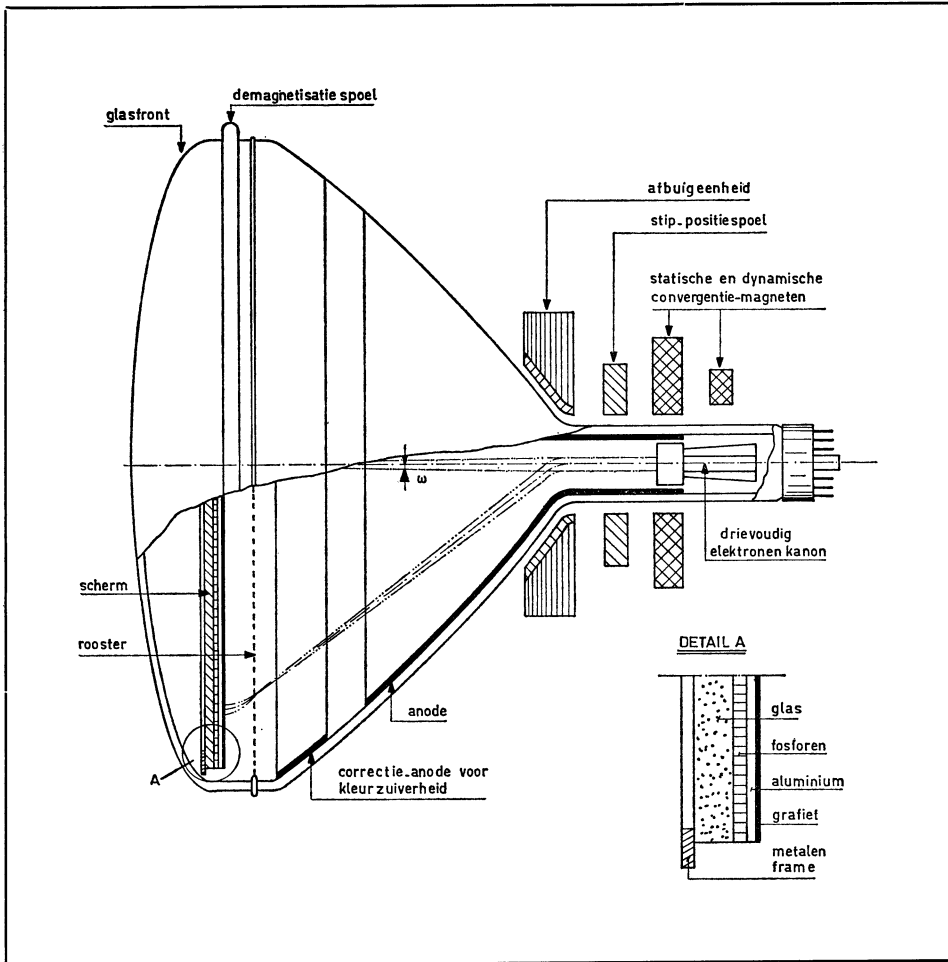


Fig. VI.7. Dwarsdoorsnede van de nieuwe kleurenbeeldbuis van CFT: de schaduwroosterbuis. De luminofoorstroken zijn verticaal opgesteld. Drie opeenvolgende stroken vormen een *tripel* (blauw, groen, rood). Het rooster bestaat uit een groot aantal draden van 0,1 mm diameter, gespannen tussen boven- en onderzijde van het scherm.

objectief, heeft geleid tot een beter lichtrendement, aangezien alle stralen die op het oppervlak van het objectief vallen (dit oppervlak is aanzienlijk groter dan dit van het gaatje) worden gefocuseerd in het beeldvlak. Het idee was nu, de gaatjes in het masker van de drie-kleurenelektronenstraalbuis te vervangen door een reeks van lenzen . . . elektronische lenzen natuurlijk, aangezien het niet om lichtstralen, maar om elektronenstralen gaat.

De lenzen bestaan uit een rooster van metalen, parallel gespannen draden, die alle op dezelfde potentiaal worden gebracht. Het elektrostatische veld, dat tussen twee parallel lopende draden bestaat, focuseert de invallende elektronen op de rode, groen of blauwe fosforstroken. Deze stroken lopen evenwijdig met de draden van het rooster en liggen in een vlak, dat parallel ligt aan het vlak van het rooster. Ze bevinden zich op een afstand van 25 mm van genoemd dradennet. Deze fosforstrepen worden in feite rechtstreeks op de binnenkant van het scherm van de beeldbuis aangebracht. Het scherm zelf is helemaal vlak waardoor een uitstekend waarnemingscomfort wordt verkregen.

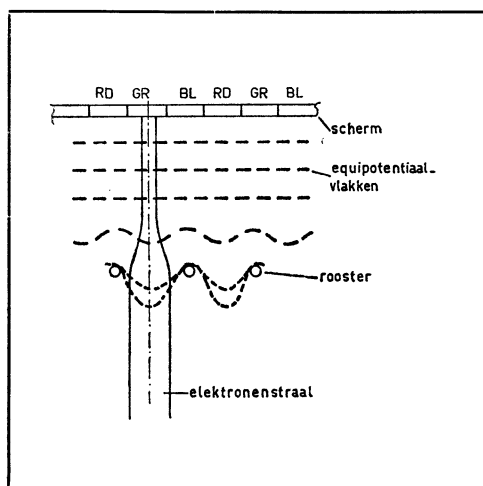


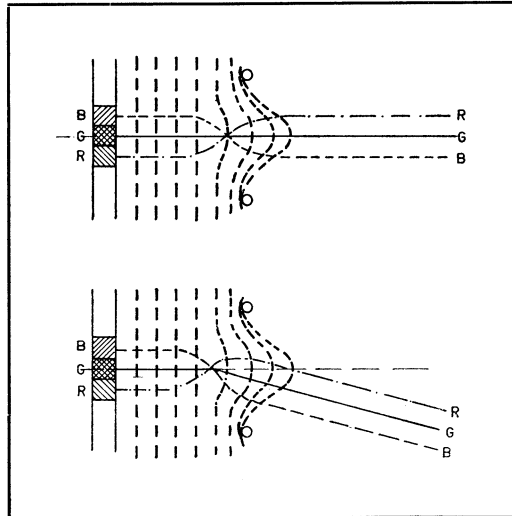
Fig. VI.8. Principe van de nafocusering en de naversnelling als gevolg van het effect van een elektronische lens binnen de ruimte tussen rooster en scherm.

De trekkracht die op de draden wordt uitgeoefend, bedraagt 600 gram. Ze zijn rechtstreeks tussen de randen van de conus gesoldeerd (om luchtindringing te vermijden op de plaats waar de draden door het glas worden gevoerd, omkleedt men deze plaats van de buis met een laag lak) waardoor een volmaakt vlak scherm met een redelijke glasdikte kan worden verwezenlijkt.

Om de kleurzuiverheid aan de uiterste randen van het beeld te waarborgen, is men verplicht, een differentiële correctie van de trajecten van de elektronenstraal door te voeren. Eerder dan de potentiaal van de roosterdraden te laten variëren (als functie van hun afstand tot het centrum), verkiest men, op de glazen conus een bijkomende elektrode aan te brengen met constante potentiaal, maar waarvan de vorm zodanig is berekend, dat zijn invloed het sterkst is op die elektronen, die door hun traject aan de periferie een grotere correctie nodig hebben. Men kan zich gemakkelijk voorstellen, dat het rooster het merendeel van de elektronen doorlaat, in tegenstelling tot het schaduwmasker. Het gevolg is, dat deze nieuwe buis

een veel helderder beeld geeft dan de schaduwmaskerbuis. Het principe van de naversnelling (postacceleratie) leidt tot zeer beperkte afbuigingsvermogens en de video-uitstuurspanningen kunnen klein zijn, t.o.v. die van de schaduwmaskerbuis. Dit alles werkt een vereenvoudiging van de televisie-ontvanger en volledige transistorisering in de hand. Zoals elke recente uitvinding vereist de driekanonnenbuis met vlak scherm (ook CFT-buis of schaduwroosterbuis genoemd) nog een lange periode van studie en ontwikkeling, alvorens

Fig. VI.9. De elektronenbundel van elk kanon wordt door de kromming van de equipotentiaalvlakken op de bijbehorende luminofoorstrook gericht, onverschillig of die bundel een hoek maakt met de optische as van de buis of niet.



tot massaproductie kan worden overgegaan (met het ontwerp werd in 1960 begonnen onder leiding van Roger Cahen en sinds 1966 is het voortgezet onder supervisie van Pierre Bonvalot). De specialisten voorspellen in 1970 serievervaardiging op grote schaal.

Het bezoek was hiermee afgelopen. De leraar dankte de rondleider hartelijk in naam van de hele klas en nam afscheid. Het groepje verliet het „Museum van de Elektronenbuis” en ieder voor zich dacht reeds aan het verslag, dat ze de volgende week zouden moeten inleveren, terwijl hun hoofden nog vol zaten met de gegeven uiteenzettingen en de kleurentelevisie-beelden, die ze hadden gezien.

HOOFDSTUK VII

Het volgende rapport schetst in droge, administratieve stijl de samenstelling van een omroepstudio voor kleurentelevisie, die men voornemens is in de stad Video (een stad die u vruchteloos op de landkaart zult zoeken) te bouwen. In alles werd voorzien, namelijk:

Camera's met drie of vier buizen – Filmaftasters – Beeldmonitoren en -mengers – Transmissie-apparatuur.

NATIONAAL TELEVISIE-OMROEPCENTRUM

Synchronisatiestraat 2,
Video.

T.a.v. de hoofddirecteur

Zeer geachte heer,

Hierbij heb ik de eer, u het door mij en mijn medewerkers opgestelde project betreffende de installatie van ons eerste nationale kleurentelevisienet aan te bieden.

Verskillende werkbezoeken aan omroepcentra die reeds kleurentuizendingen verzorgen, zowel in de Verenigde Staten als in Europa, en aan de talrijke industrieën die dergelijk materiaal vervaardigen, hebben ons in staat gesteld, de opzet van dergelijke installaties in hoofdlijnen te bepalen.

Het spreekt vanzelf, dat het basisproject, dat ik u hierbij voorleg, vatbaar is voor wijziging en dat het, waar nodig, kan worden aangevuld.

Ik vertrouw erop dat dit project uw speciale aandacht zal krijgen.

Met belangstelling uw reacties tegemoet ziende, teken ik

met de meeste hoogachting,
w.g. (onleesbaar)
Hoofd Technische Dienst

De kleurentelevisie is een vervolmaking van de klassieke achrome televisie, zodat het noodzakelijk is, het Nationale Televisie-Omroepcentrum te reorganiseren, teneinde het uitzenden van kleurentelevisieprogramma's mogelijk te maken.

De bedoeling is, geleidelijk kleurenprogramma's te brengen op ons zwart-witnet met 625 lijnen. Rekening houdend met het feit, dat de moderne kleurentransmissiesystemen dubbel compatibel zijn, kunnen we de kleursignalen overdragen en uitzenden met gebruikmaking van de bestaande installatie; ook de televisiekijkers die geen kleurentvanger bezitten, zullen de genoemde kleursignalen op hun gewone achrome ontvangers kunnen zien met vrijwel dezelfde kwaliteit als bij de gewone achrome uitzendingen (de zichtbaarheid van de kleurentvanger informatie in het luminantiesignaal is zeer zwak).

Om een begin te maken, zou er tenminste één studio dienen te worden ingericht voor de productie van kleurenprogramma's.

I. Camera's

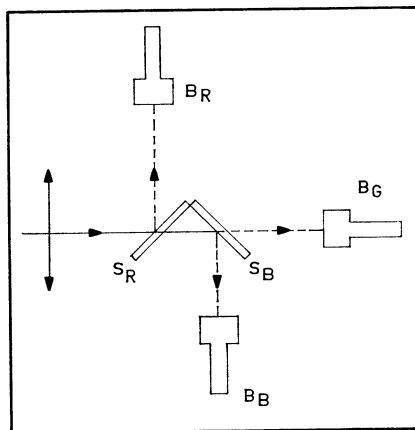
De moderne kleurenteleviescamera's zijn uitgerust met plumbiconbuizen. Dit is een zeer gevoelig type vidicon met een heel kleine donkerstroom.

Men onderscheidt twee cameratypen, naar gelang het aantal gebruikte opneembuizen.

a. Camera's met drie opneembuizen

In dit geval worden de lichtstralen uit het objectief in drie delen gesplitst door middel van een reeks spiegels, waardoor een beeld wordt gevormd op de fotokatode van de drie opneembuizen. Gekleurde filters kenmerken elke buis: één voor rood, een tweede voor groen en tenslotte één voor blauw. Het is natuurlijk ook mogelijk, dichroïtische spiegels toe te passen, waarbij de filters overbodig worden.

Fig. VII.1. *Driekleurencamera*. Het licht dat uit het objectief komt, wordt door de dichroïtische spiegel S_R gesplitst in een rode, die wordt gereflecteerd naar opneembuis B_R , en in de complementaire component die door de spiegel gaat; het blauwe bestanddeel daarvan wordt naar buis B_B gespiegeld door de dichroïtische spiegel S_B , terwijl het overblijvende deel (de groene component) buis B_G bereikt.



De camera zelf heeft ongeveer dezelfde afmetingen als onze huidige achrome camera's met 4-inch beeldorthicons.

Het controle- en regelpaneel is echter veel meer complex, omdat dit bestemd is voor de regeling van de videosignalen uit drie buizen (controle voor zwart, grijs en wit) en voor een speciale instelling: de *dekking* of *convergentie*. Door deze instelling kan men voor de drie primaire beelden (amplitude, lineariteit en centrering) precies dezelfde afbuigingen garanderen. Het voornaamste bezwaar van dit type camera is een afname van de definitie bij de minste ontregeling van de convergentie. Dit is een afwijking in de scheiding van luminantie- en chrominantie-informatie, waardoor bovendien de afregeling ingewikkelder wordt.

b. Camera's met vier buizen

In deze camera's dient de vierde buis uitsluitend voor de aftasting van het luminantiebeeld.

Men kan dus zeggen, dat een dergelijke camera bestaat uit een zwartwit-camera en een kleurencamera. De instelling van de convergentie bepaalt hier *niet* meer de definitie van het luminantiesignaal, zodat de afregeling eenvoudiger wordt. Men kan deze techniek vergelijken met de vierkleurendruk, waarbij een zwart, gedetailleerd beeld wordt gedrukt *nadat* eerst de drie primaire kleuren werden aangebracht. In dit zwartwit-beeld verschijnen alle fijne beelddetails en wordt een eventuele fout in de kleurendekking opgeheven.

II. Filmaftasters

Dezelfde methoden die voor zwartwit worden toegepast, gelden ook voor kleurentelevsie: een filmaftaster met een camera voor de ontleding van het beeld (een camera met 3 of 4 buizen en de nodige filters zijn hier vereist, in plaats van de camera met één enkele buis) ofwel de lichtstip-filmaftaster. In het laatste geval moet er een ensemble van drie foto-elektrische cellen en elektronenmultiplicatoren aanwezig zijn.

Deze twee methoden worden ook toegepast in de aftasters voor diapositieven en ondoorschijnende beelden (kranten, kaarten voor journaal etc.). De tweede methode bezit het grote voordeel dat de convergentie-instelling overbodig is.

III. Exploitatie en regie

De kleurenbeeldbronnen zijn onafhankelijk van het overdrachtssysteem. De regie-installatie daarentegen is kenmerkend en bepalend voor het gebruikte systeem (en omgekeerd). Bij elke beeldbron behoort een *encoder*. Dit apparaat maakt het mogelijk, de drie primaire informatieën in één enkele multiplexinformatie om te zetten, dus in één enkel signaal, dat ook wel „samengesteld signaal” wordt genoemd. Dit signaal omvat zowel het klassieke achrome signaal als de kleurenhulpdraaggolf, die wordt gemoduleerd door de chrominantiesignalen. Elk samengesteld signaal kan doorlopend worden gecontroleerd met behulp van een speciale KTV-monitor, die totaal verschilt van de monitoren voor de achrome uitzendingen: hij bevat een speciale beeldbuis die kleurenbeelden kan weergeven en de videoschakelingen zijn vervangen door een *decoder*, die de primaire signalen uit het samengestelde signaal betreft.

De beeldovergangen door amplituderegeling (in- en uitregelen, mengovergangen) of door bijzondere effecten (schuifovergang, overgang van beelden volgens het silhouet van een meetkundige figuur enz.), vereisen uitgebreider schakelingen dan voor zwartwit. Er bestaan evenwel mengers, die met een klassieke wipe- of effectengenerator de realisatie in kleuren van alle bekende trucage-overgangen mogelijk maken.

Wat de registratie op magneetband betreft, zijn niet alle systemen gelijkwaardig, maar er bestaat tenminste één systeem dat compatibel is met onze zwartwit-magnetoscoop, zonder dat bijkomende apparaten vereist zijn. Het complexe signaal wordt rechtstreeks geregistreerd in plaats van het traditionele achrome videosignaal.

IV. Overdracht

De laatste jaren hebben er in Europa belangrijke proefnemingen plaatsgevonden, die hebben uitgewezen, dat de overdracht van kleurenteleviesignalen mogelijk was via kabels of straalverbindingen (Eurovisie en Intervisie) en zelfs via kunstmatige aardsatellieten. Deze transmissies leveren zelfs vrij goede resultaten op.

De karakteristieken van onze transmissielijnen, onze zenders en hulpzenders in acht genomen,

zou het Nationale Televisie-Omroepcentrum de exploitatie van ons eerste kleurentelevisie-net kunnen aanvangen, onmiddellijk na de installatie van een studio met een minimale uitrusting. Dit wil zeggen een studio met twee camera's, een filmaftaster, de drie bijbehorende encoders, een mengers en vier monitoren (de vierde dient voor de uiteindelijke controle van het beeld, dat naar de zender wordt gestuurd, de „actual” monitor).

HOOFDSTUK VIII

Weetal heeft een epistel opgesteld om Vraagal voor te bereiden op een voordracht van professor Radiolus. Om de inhoud ervan gemakkelijker te begrijpen en te onthouden, dient men inderdaad de betekenis van de vectoren te kennen en moet men er mee kunnen werken, al was het maar om periodieke verschijnselen te kunnen optellen en aldus de verschillende modulatiesystemen te kunnen voorstellen. In de brief zal dus worden gesproken over:

De diagrammen van Fresnel – Het verkrijgen van een sinusgolf – De optelling van sinusgolven – De optelling van vectoren – De methode van het parallelogram – Amplitudemodulatie – Onderdrukking van de draaggolf – Modulatie door chrominantiesignalen.

WAT MEN OVER VECTOREN DIENT TE WETEN

Weetal schrijft aan Vraagal

Waarde Vraagal,

Men heeft me verteld, dat je de voordracht van mijn oom, professor Radiolus, over de verschillende kleurentelevisiesystemen wilt bijwonen. Ik vind het een uitstekend idee, beste vriend. Je weet zeker nog wel, dat het mijn oom is, die mij destijds de eerste begrippen van de radiotechniek heeft bijgebracht. Ik ben hem er nog steeds dankbaar voor, want zijn uitleg was steeds duidelijk en kristalhelder.

Zullen zijn uiteenzettingen het voor jou ook zijn? Professor Radiolus zal zich in zijn toespraak tot elektronici richten, die reeds een diepgaande theoretische kennis bezitten. Bij het behandelen van de principes van het NTSC-systeem – dat ten grondslag ligt aan alle andere systemen – zal hij zeker een beroep doen op de diagrammen van Fresnel, dus op de vectoriële voorstelling van periodieke verschijnselen.

Ben je vertrouwd met de vectoren en hun gebruik bij de studie van wisselstromen? Zo ja, verlies dan maar geen tijd door de rest van deze brief te lezen. Indien niet, dan zal hij je van nut kunnen zijn, omdat hij je het begrijpen van het referaat gemakkelijker zal maken.

Het opwekken van een sinusgolf

Laten we uitgaan van het eenvoudigste periodieke verschijnsel, dat je reeds grondig kent: de wisselstroom. Grafisch wordt hij voorgesteld door een „sinusoïde”. Waarom? Omdat hij op ieder willekeurig ogenblik aangeeft welke de waarde en de richting van de stroom is. Meer nog: men mag stellen, dat de stroom varieert volgens een sinusoïdale wet door het feit, dat hij wordt opgewekt in wikkelingen die aan een draaiende beweging in een magnetisch veld zijn onderworpen. Zoals we verder nog zullen zien, kan een sinusgolf worden getekend door een lijnstuk te laten ronddraaien en de projectie ervan uit te zetten. Natuurlijk kan men ook een sinusgolf verkrijgen door de bij uitstek periodieke beweging van een slinger te registreren. Daartoe moet men aan het onderste uiteinde een schrijfstift bevestigen, die zeer licht een papierstrook raakt, welke met een eenparige, rechtlijnige beweging wordt voortbewogen, haaks op het oscillatievlak van de slinger. Maar als je op wetenschappelijke wijze een sinusoïde wilt tekenen, dan moet je als volgt te werk gaan.



Teken een cirkel en verdeel de omtrek in een bepaald aantal gelijke delen, bijv. 16. Neem nu aan, dat de straal bij de aanvang horizontaal naar rechts is gericht (we zullen dat de „nul-toestand” noemen) en dat hij begint te draaien in de „trigonometrische zin”, dat wil zeggen tegengesteld aan de beweging van de wijzers van een uurwerk. Deze straal zal achtereenvolgens door de verschillende punten lopen, die aan de omtrek werden uitgezet. Hij zal aldus met de horizontale as hoeken vormen van $22,5^\circ$; 45° ; $67,5^\circ$; 90° ; $112,5^\circ$ enz. tot 360° . Nu zetten we op een horizontale lijn 16 punten uit, die op onderling gelijke afstanden liggen.



Fig. VIII.1. De oscillaties van de slinger tekenen een mooie sinusoidé op de papierstrook, die met constante snelheid voorbyschuijft.

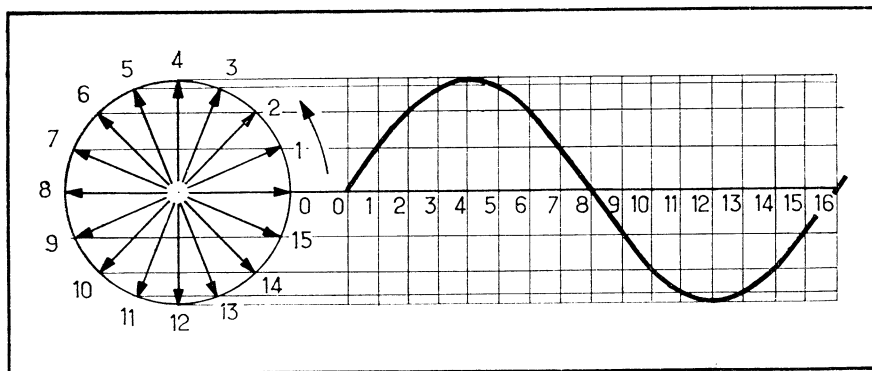
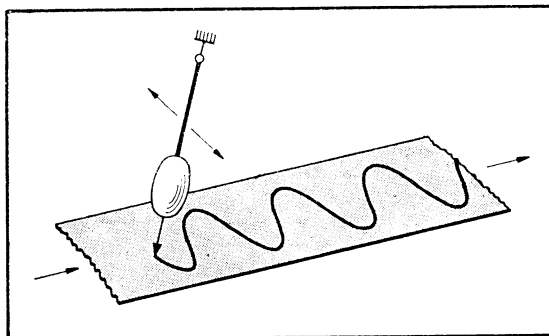


Fig. VIII.2. Grafische constructie van een sinusoidé. Voor elke stand van de „straalvector” verkrijgt men een punt van de kromme.

Loodrecht op elk punt zetten we de projectie uit van de ronddraaiende straal. Wat betekent dat? Eenvoudig dit, dat we vanuit elk punt aan de omtrek een horizontale rechte trekken, die de verticale rechte in een bepaald punt snijdt.

Punt 0 bevindt zich op de as zelf. Nummer 1 ligt erboven, evenals de volgende, tot punt 8, dat opnieuw op de as zelf ligt. Het hoogstgelegen punt is nr. 4 en het laagste nr. 12.

Je ziet Vraagal, dat een sinusoidé wordt gevormd door de draaiing van deze straal, net zoals een sinusoidale stroom wordt opgewekt door het draaien van een wikkeling in een magnetisch veld.



Dit is nu een vector . . .

Genoemde straal wordt gekenmerkt door zijn *lengte* en zijn *richting*. De lengte bepaalt de amplitude van de oscillatie, voorgesteld door de sinusoïde; de richting bepaalt de fase. Dit is duidelijk; in plaats van de straal te laten vertrekken in het punt dat met nul is aangegeven, kan men hem ook laten starten in elk ander willekeurig punt van de omtrek, hetgeen de sinusoïde vooruit of achteruit zou doen verschuiven.

Deze straal, die als oorsprong het middelpunt van de cirkel heeft en eindigt in een punt aan de omtrek en die een bepaalde lengte bezit, zullen we „vector” noemen. Elk gericht lijnstuk mag trouwens ook zo worden genoemd.

Een vector is volkomen bepaald als zijn lengte bekend is (ook *modulus* geheten), zijn oorsprong en ten slotte zijn richting, welke wordt gedefinieerd door de hoek, die hij met de horizontale as vormt. Deze hoek wordt ook wel het *argument* genoemd.

Optellen van sinusoiden

Neem eens even aan, Vraagal, dat we twee vectoren hebben met dezelfde oorsprong, en dat ze draaien met dezelfde snelheid, maar dat ze t.o.v. elkaar zijn verschoven. Ze zullen dan twee sinusoiden opwekken, die ook onderling zijn verschoven. Anders uitgedrukt: die een *onderlinge faseverschuiving* zullen vertonen.

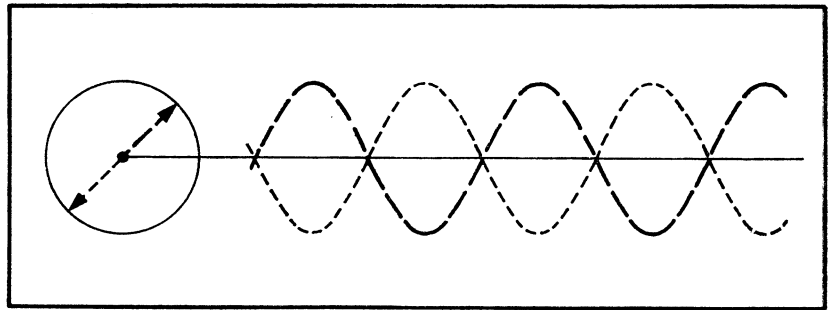
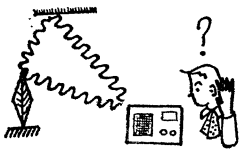


Fig. VIII.3. Optelling van twee sinusstralingen met dezelfde amplitude, maar met tegengestelde fase.

Laten we vervolgens tot optelling van deze sinusoiden overgaan om te bepalen, wat het resultaat van een superpositie van de trillingen is, welke door deze sinusoiden worden voorgesteld. We zullen om te beginnen het eenvoudigste geval nemen: dat van twee vectoren met dezelfde lengte, maar onderling verschoven over 180° . In ieder willekeurig punt zullen de momentele waarden van de amplituden gelijk doch tegengesteld zijn. Dit betekent dat hun som overal gelijk is aan nul.

Dat gebeurt nu als op de antenne van je radio, op hetzelfde ogenblik niet alleen de rechtstreekse golf aankomt, maar ook de door de hogere, geïoniseerde luchtlagen weerkaatste indirecte golf. Komt de laatste aan met een vertraging van precies een halve periode (vertraging veroorzaakt door het langere traject van de indirecte golf, een halve periode is gelijk



aan 180° faseverschuiving) en zijn hun amplituden bovendien nog gelijk, dan is de fading totaal: de twee trillingen heffen elkaar op en je hoort helemaal niets meer.

Zijn de amplituden niet identiek, dan zal het sluiereffect slechts gedeeltelijk tot uiting komen en je zult de uitzending nog verzwakt kunnen ontvangen.

Gelukkig echter kunnen de twee trillingen ook in fase zijn, waardoor ze elkaar versterken. In de twee beschreven gevallen is de samenstelling van de twee sinustrillingen vrij eenvoudig. Het wordt echter heel wat gecompliceerder als de sinustrillingen verschoven zijn en bovendien niet dezelfde amplitude bezitten. Jammer genoeg is dit het meest voorkomende geval. Men is dan verplicht, vervelend optelwerk te verrichten (als ze dezelfde richting hebben) of aftrekkingen (als ze tegengesteld zijn) van de amplituden uit te voeren en wel op verschillende punten van de kromme.

Je telt vectoren gemakkelijker op . . .

Zou je er iets voor voelen, dat ik je het geheim vertel van een uiterst eenvoudig systeem, waarmee je de kenmerken kunt vinden van de resulterende trilling; dus de fase en de amplitude, zonder al die tijdrovende optellingen te moeten uitvoeren?

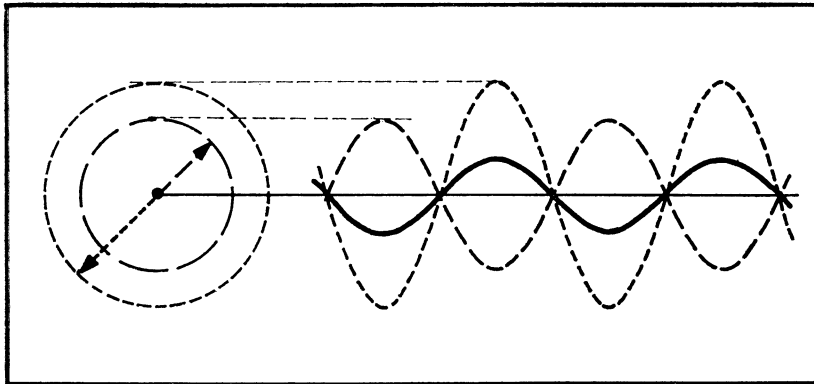
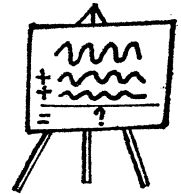


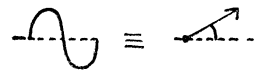
Fig. VIII.4. In deze figuur zijn de twee trillingen in tegenfase en hun amplituden zijn verschillend. Ze zijn door stippellijnen voorgesteld. De vette lijn is hun som.



Dit systeem wordt de „vectoriële samenstelling” genoemd! Word je daardoor niet wijzer? Lees dan hetgeen volgt.

Eerst moet je weten, dat men in plaats van een sinusoïde gewoon de vector mag tekenen, waarmee de sinusoïde werd geconstrueerd. Zijn lengte geeft je de amplitude van de trilling en zijn richting bepaalt de fase.

Je kunt je misschien ook nog indenken, dat de vector in een verduisterde kamer draait en dat hij gedurende een kort ogenblik tijdens elke omwenteling door een lichtflits wordt verlicht. Als de flitsen optreden met dezelfde frequentie als de draaiing van de vector, dan zal deze laatste onbeweeglijk schijnen te staan, onverschillig de draaisnelheid. Dit is het principe van de stroboscoop.



Nu we de sinusoiden door overeenkomende vectoren hebben vervangen, merk je op, dat deze laatste onderling niet meer bewegen, zolang het om trillingen gaat met dezelfde frequentie.

Wil je twee sinusoiden optellen? Sommeer eenvoudig hun twee vectoren. Hoe? Doodgewoon door de tweede vector aan het einde van de eerste te plaatsen: hun som zal worden voorge-

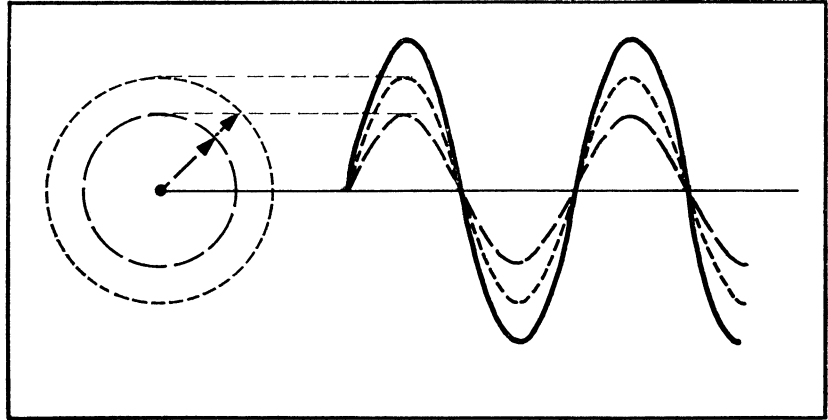


Fig. VIII.5. Optelling van twee trillingen die in fase zijn.

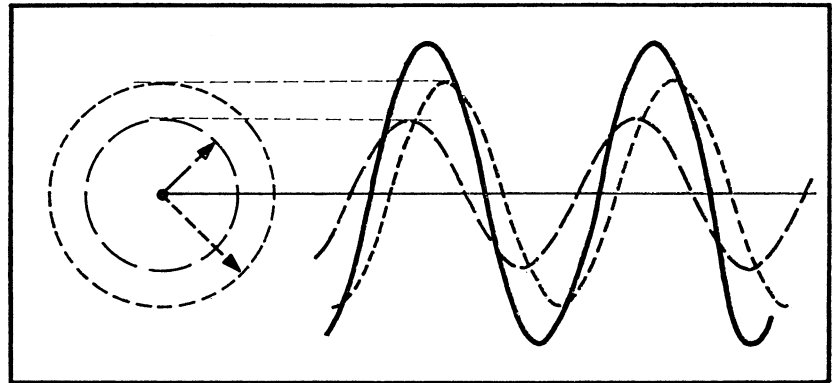


Fig. VIII.6. Een ingewikkelder geval: de optelling van twee sinustrillingen, die over een willekeurige hoek zijn verschoven.

steld door *een derde vector* welke als oorsprong het begin van de eerste en als uiteinde het uiterste van de tweede zal hebben.

Controleer even wat ik je heb verteld aan de hand van de optelvoorbeelden van de reeds onderzochte sinusoiden. Twee tegengestelde vectoren met dezelfde amplituden heffen elkaar op. Als hun lengten verschillen is de lengte van hun som gelijk aan het verschil van de twee

individuele lengten en is de somvector gericht volgens de langste van de twee samengestelde vectoren. En als het faseverschil niet 180° bedraagt, maakt de vectoriële samenstelling het mogelijk, de amplitude en de fase van de resulterende trilling te bepalen.

Ik voeg er nog aan toe dat, in plaats van de vectoren aan elkaar te tekenen, je ook een parallellogram kunt construeren (dat heb je in de cursus mechanica geleerd). Men plaatst de oorsprong van elke vector in hetzelfde punt en men trekt vanuit het eindpunt van elke vector, een rechte die evenwijdig is met de andere vector. In het aldus verkregen parallellogram is de diagonaal, die vertrekt uit de gemeenschappelijke oorsprong, gelijk aan de somvector.

Je ziet, dat de vectoriële samenstelling, die door de Franse natuurkundige Fresnel werd uitgedacht, de beredenering en de studie van het gedrag van wisselstroomkringen vereenvoudigt. Als je weet, dat zelfinductie de stroom 90° doet najlen op de spanning en dat condensatoren de stroom 90° doen voorijlen, dan kun je gemakkelijk het diagram van Fresnel tekenen voor een schakeling, die bestaat uit zelfinductie, capaciteit en weerstand. De laatste veroorzaakt natuurlijk geen faseverschuiving tussen stroom en spanning.

Fig. VIII.7. Om twee vectoren op te tellen, plaatst men de ene aan het uiteinde van de andere.

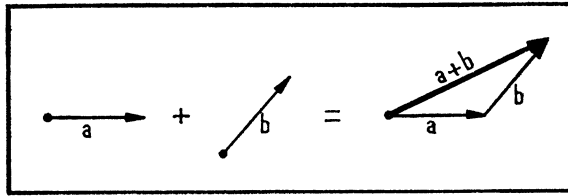
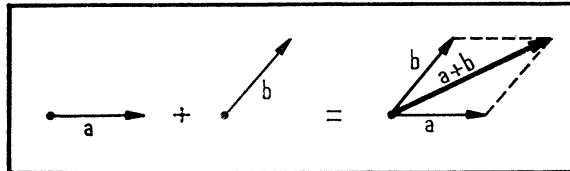


Fig. VIII.8. Optelling volgens de klassieke methode met het parallellogram.

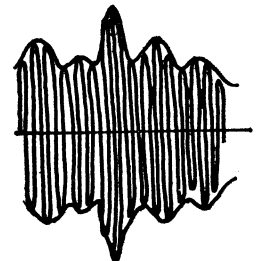


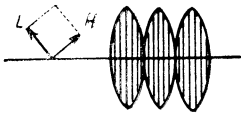
Amplitudemodulatie

De zaken worden werkelijk ingewikkeld vanaf het ogenblik, dat de verschillende, samen te stellen trillingen *niet dezelfde frequentie* bezitten. Dat is onder meer het geval bij een HF-trilling, die in amplitude wordt gemoduleerd door een LF-signaal.

Je weet, dat er dan twee zijbandfrequenties worden gevormd, een lager gelegen band L en een hogere H. De overeenkomstige vectoren draaien t.o.v. vector C. Aangezien de frequentie van H hoger ligt dan die van C, zal vector H sneller draaien dan C. Bij een stroboscopische belichting, waarbij C onbeweeglijk lijkt, zal H tegen de wijzers van een uurwerk in draaien.

Vector L zal in de andere zin draaien, omdat zijn frequentie lager is dan die van C. De som van deze drie vectoren zal steeds volgens C zijn gericht, omdat L en H steeds symmetrisch





zijn t.o.v. C. Er zal dus geen fasevariatie plaatsvinden. De amplitude daarentegen zal variëren tussen een maximum, dat $C + 2 H$ bedraagt en een minimum gelijk aan $C - 2 H$. In feite bestaat er nog de mogelijkheid, uitsluitend de zijbanden over te dragen door *de draaggolf zelf te onderdrukken*. Om een dergelijk signaal te demoduleren, dient men bij de ontvangst de draaggolf in de ontvanger te regenereren (opnieuw op te wekken). Om deze reden bezit hij dan ook een lokale oscillator, die is afgestemd op de draaggolfrequentie. Hoe kan men nu de draaggolf onderdrukken? Men zou het eventueel kunnen realiseren door een andere trilling met dezelfde amplitude in tegenfase er bij op te tellen. Men verkiest echter voor dit doel een *balansmodulator* te gebruiken, die aan zijn uitgang alleen het signaal afgeeft, dat hem uit zijn evenwicht heeft gebracht, d.w.z. de twee modulatiebanden.

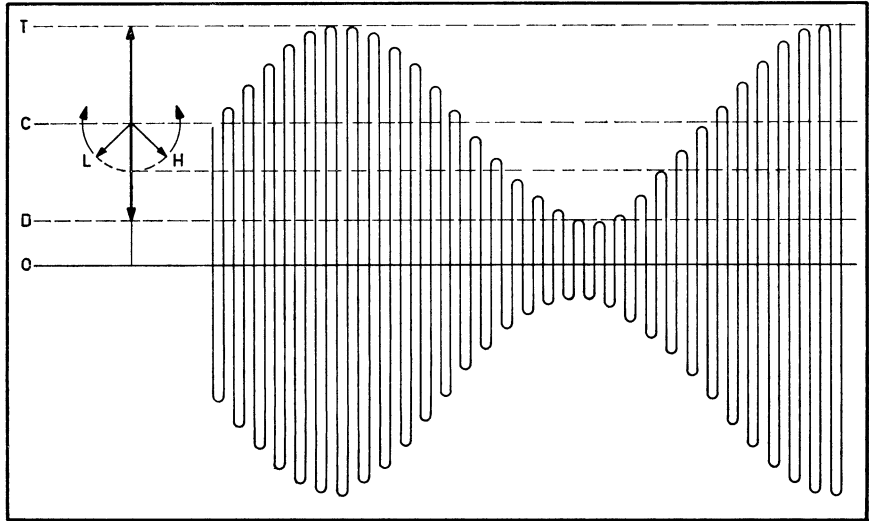


Fig. VIII.9. Links en rechts van de draaggolf C, die in amplitude wordt gemoduleerd, ontstaan twee zijbandfrequenties. Ze worden voorgesteld door de symmetrische vectoren L en H, die in tegengestelde zin draaien. De optelling van deze drie vectoren levert een vector, waarvan de lengte varieert tussen OD en OT.

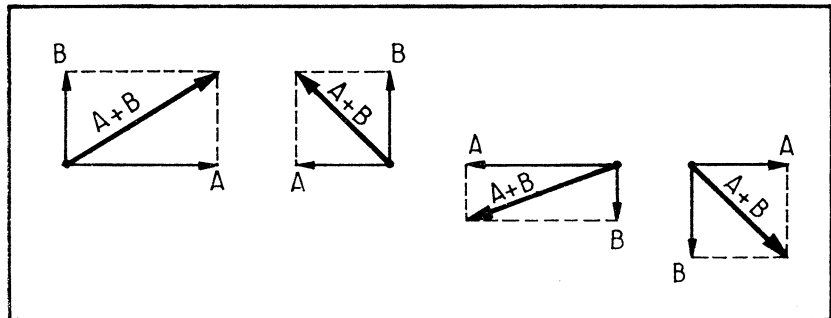


Fig. VIII.10. Afhankelijk van de polariteit van de vectoren A en B kan hun som verschillende standen innemen.

De kunstgreep bij NTSC

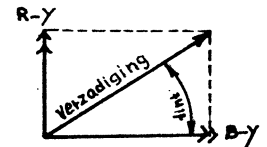
Stel je nu iets anders voor beste vriend, iets dat je zeer gecompliceerd zal lijken. Veronderstel, dat je twee sinustrillingen hebt, die elk in amplitude zijn gemoduleerd door een veranderend signaal. Na alles wat we samen hebben bestudeerd, kan ik je niet verhelen dat het gaat om de *twee chrominantiesignalen* rood en blauw of, om dichter bij de waarheid te blijven, de *kleurverschilsignalen* ($R - Y$) en ($B - Y$). Wat dient er nu te worden gedaan om onze twee, aldus gemoduleerde sinusoiden, die de chrominantie bevatten, over te brengen terwijl we slechts over één enkele kleurenhulpdraaggolf beschikken?

De kunstgreep, die in het Amerikaanse NTSC-systeem wordt toegepast, bestaat hierin, dat deze twee sinusoiden onderling 90° in fase verschoven worden, alvorens ze opgeteld worden. Wat heeft dat als resultaat? Dank zij de vectoren kunnen we hier gemakkelijk op antwoorden. Eén van de trillingen kan worden voorgesteld door een horizontale vector; de andere zal bijgevolg worden voorgesteld door een verticale vector, aangezien de faseverschuiving 90° bedraagt.

Deze vectoren kunnen positieve of negatieve waarden hebben, want de kleurverschilsignalen ($R - Y$) en ($B - Y$) hangen af van de tinten van de afgetaste beeldpunten. De horizontale vector kan ergo zowel naar links als naar rechts zijn gericht, evenals de verticale naar boven of naar onderen kan wijzen.

De *momentele waarde* van elke vector hangt af van de *verzadiging* van de desbetreffende tint. En wat vangen we nu aan met onze twee sinusoiden, die gemoduleerd zijn en 90° in fase zijn verschoven? We tellen ze gewoon op. Het resultaat zal een vector zijn, welke op elk moment door zijn *richting* (zijn argument) *de tint* zal bepalen van het afgetaste beeldelement, terwijl de *lengte* (of de modulus) *de verzadiging* zal weergeven van het genoemde element.

Is dat niet hoogst vernuftig? Maar ik stel vast, dat ik me door mijn enthousiasme heb laten meeslepen en je dingen heb verteld, die je uit de mond van mijn eminente oom en professor zult horen.



Met hartelijke groeten,
Weetal.

HOOFDSTUK IX

De voorafgaande hoofdstukken hadden tot doel, de lezer voor te bereiden op de voordracht die nu volgt en tijdens welke de principes, alsmede de voor- en nadelen van de drie belangrijkste, compatibele systemen zullen worden uiteengezet en onderzocht. De drie genoemde systemen zijn: NTSC, PAL en SECAM. Professor Radiolus zal de volgende punten behandelen:

Kwadratuurmodulatie bij NTSC – Keuze van de kleuren-hulpdraaggolffrequentie – Decodering – Differentiële versterking – Differentiële fase – Magnetische registratie – Kleuroverspraak – Het PAL-principe – Decodering bij PAL-DL en PAL-S – Eigenschappen van PAL – Het SECAM-principe – Codering en decodering – Eigenschappen van SECAM.

DE VERSCHILLENDE COMPATIBELE SYSTEMEN

(Volledige tekst van een voordracht, welke onlangs werd gehouden door professor Radiolus, hoogleraar aan de Hogeschool voor Televisietechniek. Deze voordracht vond plaats in de aula van het Nationale Televisie-Omroepcentrum te Video.)

Mijnheer de president-directeur, heren ingenieurs, beste oudleerlingen, mijne heren,

De kleurentelevisie, waarover tegenwoordig zoveel wordt gesproken, is gebaseerd op algemene grondbeginselen, die werden bepaald door een zeker aantal technische en economische overwegingen. Alhoewel er verscheidene methoden mogelijk zijn, die verschillende eigenschappen bezitten, welke ik tijdens mijn uiteenzetting nog nader zal analyseren, kunnen we toch een gemeenschappelijke basis ontdekken. Deze basis werd voorgesteld door een Frans ingenieur, nl. *Georges Valensi*. Alle compatibele systemen gebruiken breedbandoverdracht voor het luminantiesignaal, waaraan een hoogfrequente hulpdraaggolf wordt toegevoegd, die wordt gemoduleerd door de chrominantiesignalen. Deze laatste worden ook wel kleurverschilsignalen genoemd; dat wil zeggen, signalen die tot nul worden herleid als er geen kleuren dienen te worden overgedragen.

Het verschil tussen de onderscheiden compatibele systemen ligt in het modulatiesysteem van de kleurenhulpdraaggolf door de chrominantiesignalen.

Voor elk systeem zullen we de structuur van de encoder ontleden (hetgeen zal leiden tot het bestuderen van de transmissienormen), de structuur van de decoder (d.w.z. de bijzonderheden van de ontvanger) en de kenmerkende eigenschappen betreffende de overdrachtskwaliteit.

We zullen ons beperken tot de drie systemen die momenteel worden toegepast.

In chronologische volgorde van het tijdstip van uitvinding zijn dit:

Het *NTSC-systeem* (National Television System Committee), ontworpen door een Amerikaanse groep van ingenieurs, voornamelijk van de firma's Hazeltine en RCA. Dit systeem wordt toegepast in de Verenigde Staten, Japan en Canada.

Het *SECAM-systeem* (SEquence de Couleur Avec Mémoire), uitgewerkt door de Compagnie

Française de Télévision volgens een origineel idee van Henri de France (1956) en aanvaard door een groot aantal landen.

Tenslotte het *PAL-systeem* (Phase Alternation Line), een variant van NTSC, die werd ontwikkeld in de Telefunken-laboratoria te Hannover onder leiding van dr. ir. Walter Bruch. Het werd eveneens door een groot aantal (andere) landen geadopteerd. Alhoewel dit laatste systeem vrij recent het daglicht heeft gezien (1963), zullen we het dadelijk na het NTSC-systeem onderzoeken, omdat het hiermee nauw verwant is. De systemen FAM (Frequentie-Amplitude Modulatie) van dr. Norbert Mayer (IRT – München), DST (Dot Sequential Transmission) van ir. Ptaček (VURT, Praag), NIR (of SECAM IV), uitgewerkt door het Telezentr te Moskou en gebaseerd op een idee van prof. Chmakof, hebben niet tot praktische verwezenlijkingen geleid en zullen daarom tijdens deze uiteenzetting niet worden besproken. Dit houdt echter niet in, dat de kwaliteit ervan niet zou voldoen. Ze werden echter niet lang genoeg aan proefnemingen onderworpen, om zich een oordeel te kunnen vormen omtrent hun eigenschappen.

I. HET NTSC-SYSTEEM

1. Codering

Het principe van de kleurenoverdracht bij NTSC blijkt duidelijk uit het chrominantievlak dat kan worden vergeleken met een Fresnel-diagram. Dit betekent, dat een willekeurige vector, die uit de oorsprong vertrekt, een voorstelling is van een sinusoid, waarvan de amplitude evenredig is met de modulus (of lengte) en de fase gelijk aan het argument van de vector (of de algebraïsche hoek, gevormd door de vector en de horizontale as).

Men kan dus „grosso modo” stellen, dat bij NTSC de fase van de kleurenhulpdraaggolf de tint van de over te brengen kleur aangeeft en dat, voor een gegeven tint, de verzadiging door de amplitude wordt voorgesteld*. De nadruk dient te worden gelegd op het feit dat de kleurenhulpdraaggolf verdwijnt voor een achroom beeldelement (wit, grijs of zwart).

De elektronische methode om deze dubbele modulatie te verwezenlijken, kan eveneens in dit vlak worden voorgesteld. Een sinusgolf waarvan we de frequentie later zullen bepalen, wordt in amplitude gemoduleerd door signaal $(B - Y)$ met onderdrukking van de draaggolf. De voorstelling hiervan in het Fresnel-diagram is de horizontale as van het chrominantievlak. Een andere sinustrilling met dezelfde frequentie, maar die 90° is verschoven t.o.v. de voorgaande, wordt eveneens in amplitude gemoduleerd door signaal $(R - Y)$ met onderdrukking van de draaggolf. De voorstelling daarvan is de verticale as van het chrominantievlak. De sommering van deze twee gemoduleerde golven levert de gezochte kleurenhulpdraaggolf op. Dit type modulatie wordt *kwadratuurmodulatie* genoemd. De reden van deze benaming ligt voor de hand.

In feite gebruikt de NTSC-encoder niet rechtstreeks de signalen $(B - Y)$ en $(R - Y)$, maar wel twee lineaire combinaties ervan:

$$\begin{aligned} I &= 0,877 (R - Y) \cdot \cos 33^\circ - 0,493 (B - Y) \cdot \cos 57^\circ \\ Q &= 0,877 (R - Y) \cdot \cos 57^\circ + 0,493 (B - Y) \cdot \cos 33^\circ \end{aligned}$$

waarvan de grafische voorstelling overeenkomt met twee loodrecht op elkaar staande assen

* Zie de theorema's III en IV in hoofdstuk IV (Colorimetrie).

(I = In phase; Q = Quadrature). Deze laatste kunnen uit de vorige assen worden afgeleid door een draaiing van $+33^\circ$ en een transformatie in een ander assenstelsel. Het oog bezit voor de overgangen langs de I-as (van oranje naar cyaan) de hoogste gevoeligheid en oplossend vermogen. We zullen dadelijk zien hoe bij het NTSC-systeem deze variaties van het oplossend vermogen van het oog als functie van de tint worden uitgebuit. Maar vooraf dienen we de frequentie van de kleurenhulpdraaggolf te definiëren.

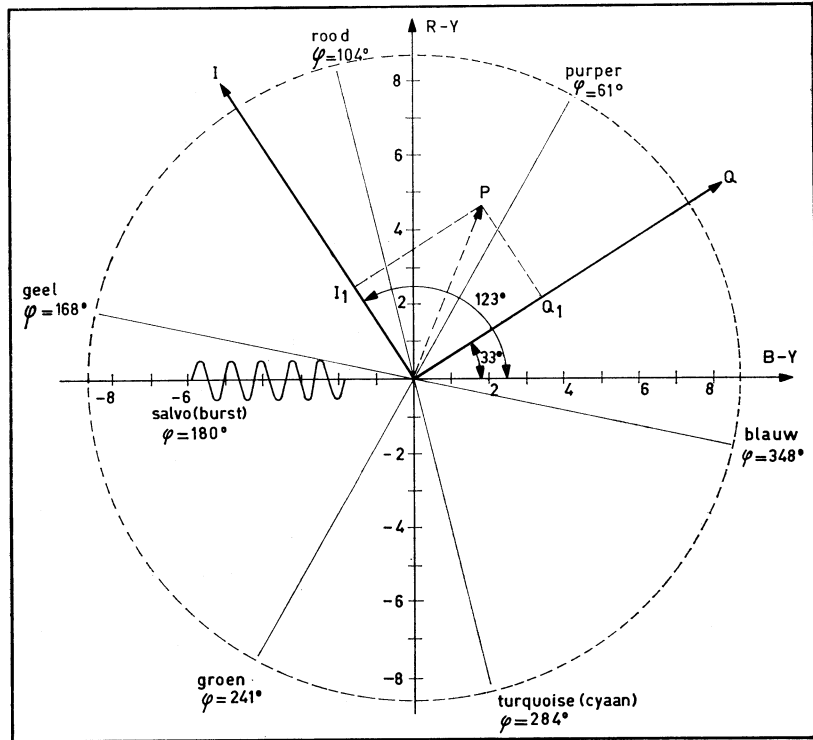


Fig. IX.1. *Het chrominantievlak*, waarin de volgende gegevens voorkomen: de modulatie-assen I en Q voor NTSC; het kleurensalvo (de burst) voor de fasesynchronisatie, de kenmerkende punten van de primaire en de complementaire kleuren; de wijze waarop een punt P en de desbetreffende kleur kunnen worden bepaald door de amplitude en de fase van een sinusoïde. (Zie de figuur in kleur op blz. VI.)

Het is duidelijk, dat die frequentie zich in het bovenste gedeelte van het videospectrum moet bevinden. In het achrome beeld, dat door een zwartwit-ontvanger bij ontvangst van een kleurentelevisiesignaal zal worden geleverd, zal een „stippelijijn” zichtbaar worden, die sterker zal optreden naarmate de verzadiging van de overgebrachte kleuren hoger ligt (aangezien dit overeenkomt met een toename van de amplitude van de kleurenhulpdraaggolf). Als de frequentie van de hulpdraaggolf willekeurig wordt vastgelegd, zullen de opgewekte punten

voortdurend in beweging zijn en onderling dan ook verschillende standen innemen, waardoor zeer storende Moiré-effecten ontstaan.

De eerste voorwaarde is dus een *stilstaand patroon*, d.w.z. dat de verhouding van de kleurenhulpdraaggolfrequentie en de lijnafbuigfrequentie een meetbaar getal moet zijn (dat kan worden voorgesteld in de vorm van een breuk van twee gehele getallen).

Is deze verhouding een geheel getal, dan zullen de stippen verticaal onder elkaar worden geschreven, hetgeen ook een goed zichtbaar roosterpatroon oplevert.

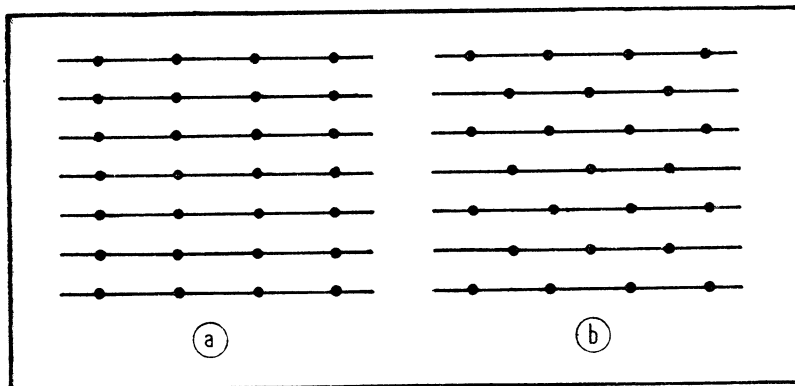


Fig. IX.2. a. Keurig in rijtjes gerangschikte punten als gevolg van een kleurenhulpdraaggolf, waarvan de frequentie een *geheel veelvoud* is van de afbuigfrequentie. b. Vervlochten punten, opgewekt door een kleurenhulpdraaggolf, waarvan de frequentie een *oneven veelvoud* is van de *halve* lijnfrequentie.

De beste oplossing is, de punten 45° te verschuiven of anders uitgedrukt, ze lijn na lijn afwisselend voor te stellen. Dit resultaat, dat men ook in de druktechniek poogt te bereiken, kan in de televisietechniek worden verkregen door een kleurenhulpdraaggolf te kiezen, waarvan de frequentie F_k gelijk is aan een *oneven veelvoud* van de *helft* van de lijnafbuigfrequentie F_h .

$$F_k = (2n + 1) \frac{F_h}{2}$$

Voor de Amerikaanse normen met 525 lijnen en 30 beelden per seconde, verkrijgt men een $F_h = 15\,750$ Hz. Als we nu $n = 227$ aannemen, dan vinden we voor de frequentie van de hulpdraaggolf $F_k = 3,58$ MHz, hetgeen meteen de waarde is die voor NTSC werd geadopteerd. Hij bezit bovendien nog een ander voordeel.

Zoals men weet, is het frequentiespectrum van een televisiebeeld discontinu: de energie is geconcentreerd rondom de spectrumlijnen met de frequenties $F_h, 2F_h, 3F_h$, enz. . . . F_h stelt de lijnfrequentie voor. De kleurenhulpdraaggolf zal zich bijgevolg precies tussen twee van dergelijke spectrumlijnen moeten bevinden (tussen de 227ste en de 228ste), waardoor zijn eigen spectrumlijnen precies tussen die van het luminantiesignaal zullen liggen.

Dit verzekert een voldoende grote onafhankelijkheid van de twee informaties tijdens de overdracht. Een luminantiecomponent, waarvan de frequentie in de nabijheid van de kleurenhulpdraaggolf ligt, zou inderdaad door de decoder gedemoduleerd kunnen worden, alsof het een chrominantiecomponent betrof. Dit verschijnsel draagt in de vakliteratuur de naam

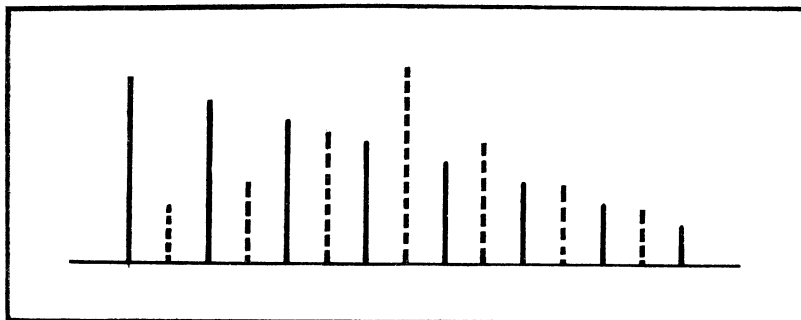


Fig. IX.3. De spectrumlijnen van het luminantiesignaal, vervlochten met de spectrumlijnen van de kleurenhulpdraaggolf (chrominantiesignalen).

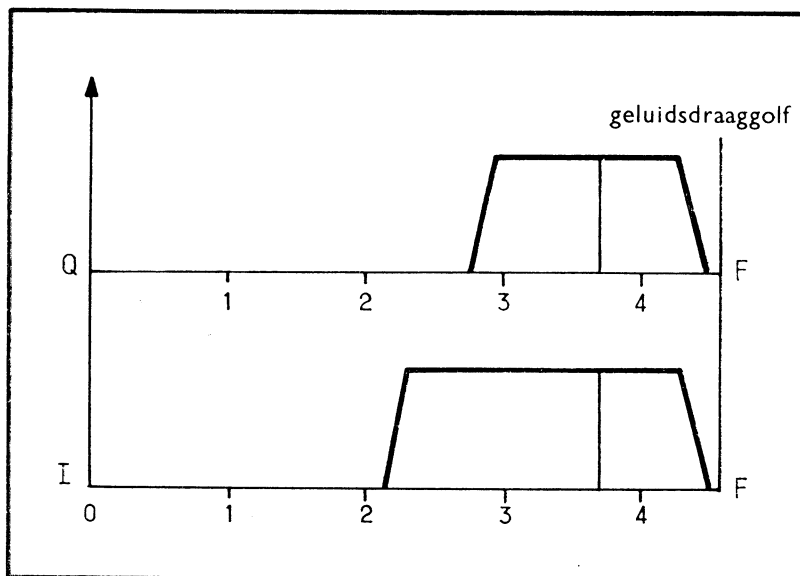


Fig. IX.4. Spectra van de kleurenhulpdraaggolf, gemoduleerd door de signalen I en Q .

„cross-colour”. De *vervlochten* van de spectra van luminantie en chrominantie reduceert dit storend effect drastisch. Laten we nu terugkeren tot de twee in amplitude gemoduleerde sinustrillingen door de signalen I en Q , waarvan de draaggolven werden onderdrukt.

Alvorens tot de superpositie of additie over te gaan, waardoor de enkele kleurenhulpdraag-

golf zal worden verkregen, moeten de spectra van de twee gemoduleerde sinustrillingen zorgvuldig uitgefilterd worden. Naar de hoge frequentie toe, moeten de bovenste zijbanden in de nabijheid van de geluidsdraaggolf (welke in het Amerikaanse systeem op slechts 4,5 MHz van de beelddraaggolf ligt) voldoende worden verzwakt. Men houdt daardoor slechts een zijband van 0,6 MHz bij -6 dB over. Signaal I , waarvan we hebben gezegd, dat het kleinere details moet overdragen dan signaal Q , zal bijgevolg een uitgebreider spectrum moeten bezitten. Het Q -signaal wordt overgedragen met twee zijbanden van dezelfde breedte en elk gelijk aan 0,6 MHz. Het I -signaal daarentegen wordt overgebracht met een brede onderste zijband van 1,3 MHz (gemeten bij -6 dB). Overeenkomstig de algemene kringtheorie zal het Q -signaal een grotere vertraging ondergaan dan het I -signaal, omdat het met een smallere doorlaatband wordt overgebracht. Om de twee signalen behoorlijk in fase te brengen, wordt I vóór de somming van I en Q (met behulp van een vertraginglijn) vertraagd en wel met een tijd gelijk aan het verschil tussen de twee looptijden.

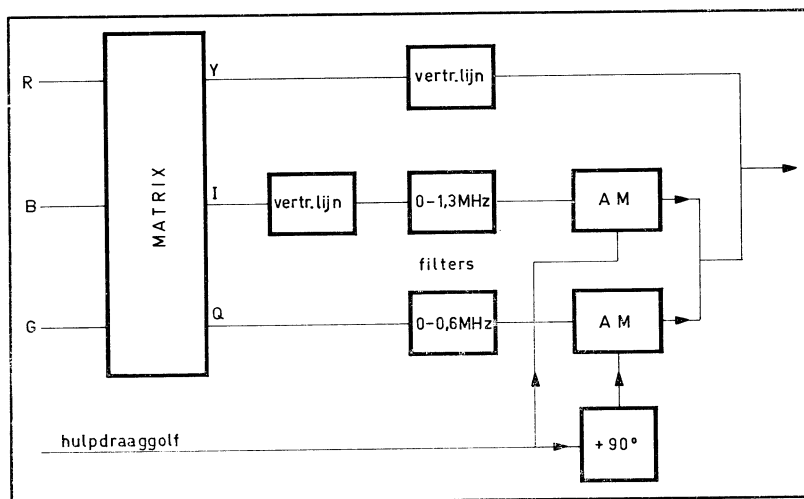


Fig. IX.5. Vereenvoudigd blokschema van een NTSC-encoder.

We zullen verder bij de bestudering van de eigenschappen van het NTSC-systeem nog zien, dat een dergelijke ongelijkheid van de zijbanden meestal vervorming meebrengt, die bekend is onder de naam *kwadratuurfouten* en die wordt gekenmerkt door kleuroverspraak tussen de chrominantiesignalen zelf, hetgeen in de audiotechniek overeenkomt met diafonie of overspreken. In het onderhavige geval, waarbij de ongelijkheid uit het werkingsprincipe voortvloeit, wordt de fout opgeheven in de ontvanger. We zullen later zien hoe dit gebeurt. De twee sinustrillingen worden vervolgens gesommeerd en vormen aldus de kleurenhulpdraaggolf. Men dient ook nog een identificatiesignaal toe te voegen, waardoor de faseoorsprong zal worden bepaald. We hebben gezien dat de amplitudemodulatie gepaard ging met onderdrukking van de draaggolf. De ontvanger dient derhalve de kleurenhulpdraaggolf te regenereren om tot demodulatie van de overgedragen zijbanden te kunnen overgaan en daar

amplitudemodulatie vergezeld gaat van fasemodulatie, is het noodzakelijk, aan de ontvanger ook een *fasereferentie* mee te delen. Als plaats voor dit signaal heeft men de achterstoep gekozen, die het referentieniveau voor zwart in het beeld bepaalt (tussen de synchronisatie-impuls en het begin van de volgende lijn). Het referentiesignaal bestaat uit een „salvo” van 13 perioden (ten minste 8 vereist!) van de kleurendraag golf met als fasereferentie $-(B - Y)$. In de Angelsaksische vakliteratuur wordt dit identificatiesignaal „burst” genoemd. Alvorens de gemoduleerde kleurenhulpdraaggolf bij het luminantiesignaal te voegen om het *samengestelde signaal* te vormen, dienen de looptijden van deze twee signalen gelijk te worden gemaakt. Ook hier is het gebruikelijk, het *Y*-signaal kunstmatig te vertragen (door een vertragslijn) met een hoeveelheid gelijk aan het looptijdverschil tussen *Q* en *Y*. Aan de uitgang van de encoder zullen de drie informaties op deze wijze volledig synchroon zijn.

2. Decodering

Bij ontvangst takt een banddoorlaatfilter de kleurenhulpdraaggolf af uit het luminantie-

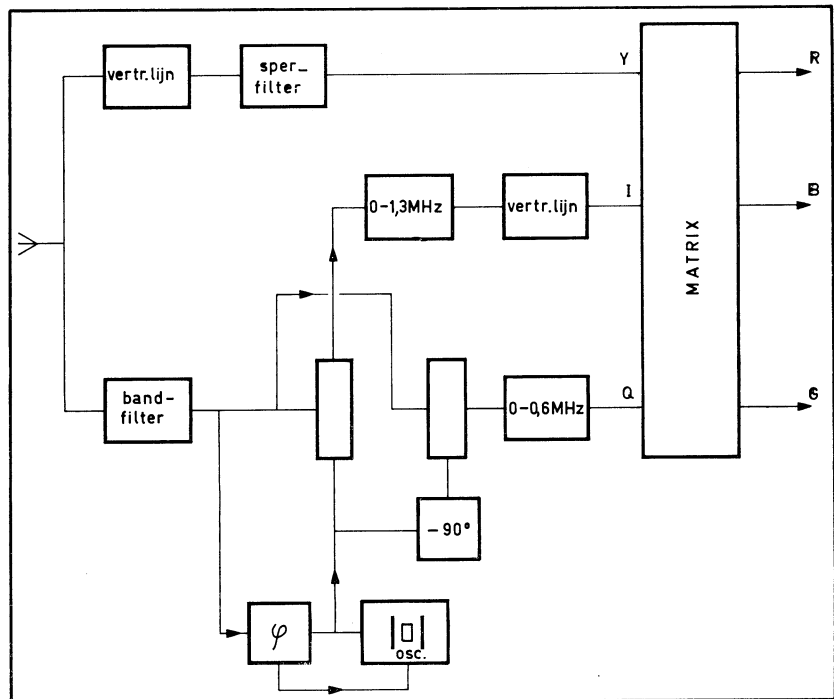


Fig. IX.6. Vereenvoudigd blokschema van een NTSC-decoder.

signaal. Het identificatiesignaal (burst of salvo) wordt eveneens afgetakt en zal dienen om de geregenereerde kleurenhulpdraaggolf te synchroniseren, waardoor demodulatie mogelijk wordt. Hiervoor wordt een kristaloscillator gebruikt, waarvan de fase wordt vergeleken met die van het salvo, door middel van een *ringdemodulator* die als fasediscriminator wordt ge-

schakeld. Het foutsignaal wordt uitgefilterd, versterkt en stuurt dan een reactantieschakeling in tegenkoppeling, zodat de fase van het oscillatorsignaal gelijk wordt aan de fase van het salvo.

De aldus geregenereerde draaggolf moet beschikbaar zijn met twee fasen, die onderling zijn verschoven over 90° (zoals bijv. de signalen aan de primaire en aan de secundaire van een transformator). De synchroendemodulatie van de kleurenhulpdraaggolf, die plaats vindt met behulp van deze twee sinustrillingen, levert het I - en het Q -signaal op. Onderdoorlatende filters, respectievelijk met grensfrequenties van 0,6 MHz en 1,3 MHz laten slechts de nuttige componenten van het I - en Q -signaal door. Men maakt vervolgens de looptijden van de twee signalen gelijk door een vertragingsslijn in het I -kanaal te schakelen. Een matrix* voert de volgende rekenkundige bewerkingen uit, waardoor de drie componenten van de chrominantie worden teruggewonnen:

$$\begin{aligned} R - Y &= 0,96 I + 0,62 Q \\ B - Y &= -1,1 I + 1,7 Q \\ G - Y &= -0,28 I - 0,64 Q \end{aligned}$$

Let wel, we spreken nog steeds over het NTSC-systeem!

Het Y -signaal wordt op zijn beurt van de kleurenhulpdraaggolf gezuiverd door een zuigkring. Een vertragingsslijn garandeert het synchronisme van de signalen I en Q . Tenslotte worden in een weerstandsmatrix de volgende bewerkingen uitgevoerd om de drie primaire signalen terug te krijgen:

$$\begin{aligned} R &= (R - Y) + Y \\ B &= (B - Y) + Y \\ G &= (G - Y) + Y \end{aligned}$$

3. Eigenschappen

Het NTSC-systeem is een monument van vernuft. Het werd trouwens ook als zodanig door de technici uit de hele wereld begroet, toen de eerste beschrijving ervan in 1953 werd gepubliceerd. Ongelukkig genoeg heeft men niet de tijd genomen, dit systeem grondig te onderzoeken en te laten rijpen in het laboratorium, alvorens tot adoptie van de definitieve normen over te gaan. Deze haast scheen destijds gewettigd door de externe druk, die werd uitgeoefend door de industriële markt. De transmissie-apparatuur, de magnetische registratie-instrumenten en het videofrequente materieel, evenals de ontvanger zelf veroorzaken in het bovenste gedeelte van het spectrum een bepaald aantal vervormingen, zowel wat de fase als wat de amplitude betreft. Deze vervormingen konden bij de monochrome televisie worden verwaarloosd, maar op de overdracht van NTSC-kleurentelevisiesignalen oefenen ze een schadelijke invloed uit. Laten we deze distorsies onderzoeken.

a. Differentiële versterking

Een vermogensversterker zal onvermijdelijk niet-lineariteit opleveren, die drie verschillende vormen kan aannemen: vervorming door vastlopen of verzadiging; vervorming door be-

* Met deze term wordt een aantal circuits aangeduid, die dienen om verschillende elektrische signalen lineair te mengen, anders gezegd om optellingen of aftrekkingen van signalen mogelijk te maken.

grenzing of afknijping; S-vertorming. Een volmaakt zaagtandsignaal aan de ingang van een dergelijke versterker zal aan de uitgang ervan vertorming vertonen. Dit soort distorsie is weinig storend voor zwartwit, waar het een zekere fout in de gradatie zal veroorzaken. Bij de kleurentelevisie volgens het NTSC-systeem is het duidelijk, dat de amplitude van de kleurenhulpdraaggolf ongunstig zal worden beïnvloed. Veronderstellen we dat een sinus-

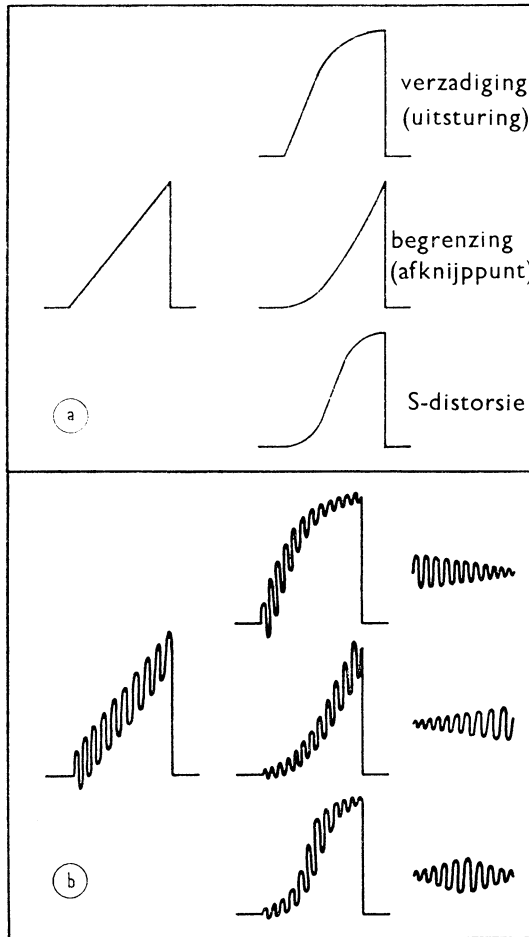


Fig. IX.7. a. Als gevolg van niet-lineariteit van de versterker, kan een zaagtandsignaal verschillende vertormingen ondergaan: verzadiging, begrenzing, S-vertorming. b. Hetzelfde signaal, gemoduleerd door een sinusspanning en onderworpen aan dezelfde vertormingen. De amplitude van de sinusstrilling zal worden gewijzigd.

trilling met zwakke, doch constante waarde op de hierboven genoemde zaagtandspanning wordt gesuperponeerd; aan de uitgang van de versterker zal deze kleurenhulpdraaggolf niet meer constant zijn, maar zal de amplitude ervan afhangen van de momentele waarde van het luminantiesignaal (zaagtandspanning).

Dit verschijnsel, dat de versterkingsfactor van de versterker, wat de kleurenhulpdraaggolf betreft, doet variëren als functie van de momentele waarde van de luminantie, is bekend

onder de benaming „differentiële versterking”. Daar de amplitude van de kleurenhulpdraaggolf de informatie betreffende de verzadiging van de kleuren overbrengt, is het duidelijk dat niet-lineariteit van de installatie onvermijdelijk verzadigingsfouten zal veroorzaken.

b. Differentiële fase

De ingangs- en de uitgangsreactanties van actieve elementen (buizen of transistoren) variëren, zoals bekend is, enigszins met het werkpunt op de dynamische karakteristiek. Het gevolg is, dat een storende faseverschuiving optreedt als functie van de plaats van dit punt.

Op het luminantiesignaal is deze faseverschuiving verwaarloosbaar. Bij de kleurentelevisie doet deze parasitaire faseverschuiving de kenmerkende punten van de kleuren in het chrominantievlak over verschillende hoeken draaien volgens de overeenkomstige waarden van het luminantiesignaal. Bijgevolg zal de weergave van de tint worden aangetast. Dit verschijnsel ontstaat in alle actieve elementen, maar het kan nog gecompliceerder worden door een bijkomend verschijnsel. In de installaties die frequentiemodulatie toepassen als overdrachtsmiddel voor de videosignalen (straalverbindingen, satellieten, beeldbandrecorders), wordt de gemoduleerde draaggolf uitgefilterd door banddoorlatende kringen, die een fase/frequentiekarakteristiek bezitten, die niet rechtlijnig kan zijn (aangezien er grensfrequenties werden vastgelegd). Derhalve verschijnt er na de demodulatie een niet-constante faseverschuiving, die een functie zal zijn van de momentele frequentie van de draaggolf en ergo van het luminantiesignaal. Samengevat kan worden gezegd, dat bij het NTSC-systeem elke niet-lineaire vervorming overeenkomt met fouten, hetzij in de tint (fase), hetzij in de verzadiging (amplitude) en zelfs van beide gelijktijdig! De ondervinding heeft geleerd dat een fasefout van $\pm 5^\circ$ reeds storend zichtbaar wordt.

c. Magnetische registratie

Bij het weergeven van een op magneetband geregistreerd programma is de relatieve nauwkeurigheid van de hulpdraaggolf φ , die door de machine wordt afgelezen, gelijk aan de relatieve nauwkeurigheid van de transportsnelheid v van de band.

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{\Delta v}{v}$$

waarbij $\Delta\varphi$ en Δv de variaties van fase en snelheid voorstellen. Wordt de machine gesynchroneerd aan het einde van elke lijn en stellen we voorop, dat de snelheidsfout constant blijft, dan zal de fase van de kleurenhulpdraaggolf aan het einde van de lijn (juist vóór de synchronisatie) een fout vertonen

$$\Delta\varphi = \varphi_{\max} \cdot \frac{\Delta v}{v}$$

met $\varphi_{\max} = 227,5 \cdot 360^\circ = 163\,800^\circ$. Voor een normale relatieve fout

$$\frac{\Delta v}{v} = 0,3\%$$

zal $\Delta\varphi = 491^\circ 24'$ worden.

Dit betekent dat het chrominantievlak gedurende één lijnperiode een draaiing heeft ondergaan, gelijk aan één en een-derde omwenteling, zodat de tint geleidelijk van links naar rechts

vervalst zal worden weergegeven. Studiomagnetoscopen zijn over het algemeen uitgerust met vier roterende koppen, die elk dienen voor het opnemen of het weergeven van een twintigtal lijnen. Het spreekt vanzelf dat de complexe transmissiefactoren van deze vier koppen – d.w.z. hun gedrag wat betreft amplitude en fase – niet identiek kunnen zijn. De overschakeling van één kop naar een andere veroorzaakt een abrupte fase- en amplitudeverandering, die door de kristaloscillator van de ontvanger niet kan worden gecompenseerd, omdat zijn kwaliteitsfactor te groot is. In het kleurenbeeld zal men daarom horizontale banden met verschillende tinten en verzadigingen zien verschijnen.

Er treedt nog een derde verschijnsel op bij het weergeven van een magneetband, waarop een NTSC-signaal is geregistreerd. Beeldbandrecorders (magnetoscopen) werken met FM en de overdracht gebeurt met een versmalde onderzijband. Een sinustring in het video-signaal (de kleurenhulpdraaggolf bijv.), wordt in het FM-spectrum niet teruggevonden als één enkele spectrumlijn in een zijband, zoals dit voor AM het geval is. Er ontstaan verschillende van dergelijke lijnen. De eerste, onderste spectrumlijn bevindt zich binnen het videospectrum. De tweede zou zich in het gebied van de negatieve frequenties moeten bevinden: hij „plooit” zich dus om en veroorzaakt interferentie met de voorgaande spectrumlijn en de videodraaggolf. Deze interferentie is de oorzaak van een hinderlijke Moiré-storing, waarvan de zichtbaarheid stijgt met de derde macht van de kleurendraaggolfamplitude. Deze narigheden – waarvan men echter het bestaan niet vermoedde, omdat de beeldbandrecorders pas een aantal jaren na de normalisatie van het NTSC-systeem in Amerika zijn verschenen – hebben de Amerikaanse technici ertoe geïnspireerd, extra apparatuur te ontwikkelen, zoals bijv. de „Colortec”, die we echter om zijn ingewikkeldheid hier niet zullen bespreken. Dit neemt niet weg, dat men bij het opnemen van een NTSC-signaal op zekere moeilijkheden stuit, die bij regelmatig gebruik niet altijd goede resultaten mogelijk maken.

d. Fouten in de doorlaatband

Kwadratuurfouten. Het overdrachtsprincipe van NTSC is gebaseerd op het feit, dat de modulatie door de chrominantiesignalen plaatsvindt op draaggolven, die in fasekwadratuur (dus 90° op elkaar) staan. De projectie van modulatie I op de Q -as is gelijk aan nul en omgekeerd. Er kan dus geen kleuroverspraak ontstaan tussen deze twee informaties.

In werkelijkheid echter kan een onregelmatigheid in de overdracht, zoals bijv. een begrenzing van de doorlaatband, deze kwadratuur aantasten. In het Fresnel-diagram kan de amplitude-modulatie worden voorgesteld door de combinatie van twee symmetrische en even grote vectoren, die in tegengestelde zin draaien. Deze twee vectoren zijn een voorstelling van spectrumlijnen in de zijbanden, als de modulatie wordt verondersteld sinusoidaal te zijn. Als de draaggolffrequentie met F wordt aangeduid en de modulatiefrequentie met f , dan zullen de frequenties van de respectievelijke spectrumlijnen gelijk zijn aan $(F + f)$ en $(F - f)$. Het ligt voor de hand, dat een ongewenste begrenzing van de doorlaatband de bovenste spectrumlijn min of meer zal verzwakken: onder deze voorwaarden zullen de twee spectrumlijnen niet meer even groot zijn en de vectoren die I en Q voorstellen zullen ook niet meer loodrecht op elkaar staan. De projecties van I op Q en Q op I zullen dan niet meer nul zijn, zodat tussen de twee informaties kleuroverspraak ontstaat.

Laten we ons een overgang voorstellen volgens de Q -as (van groen naar magenta) waarbij de waarde van I nul blijft. De totale of gedeeltelijke onderdrukking van de bovenste zijband van Q is er de oorzaak van, dat de vector niet meer loodrecht op de I -as staat, maar dat hij draait. De gedemoduleerde I -component zal dus niet meer nul zijn en in plaats van rechtstreeks van groen naar magenta over te gaan, zal de overgang in het chrominantievlak volgens een ellips verlopen.

Men zou kunnen denken dat er, door I met twee ongelijke zijbanden over te brengen, systematisch dergelijke kwadratuurfouten zullen optreden. Dat is echter niet het geval. Deze fouten kunnen nl. slechts ontstaan voor die onderste zijbandspectrumlijnen van I , die op meer dan 0,6 MHz van de draaggolf liggen (aangezien de zijbanden tot 0,6 MHz symmetrisch

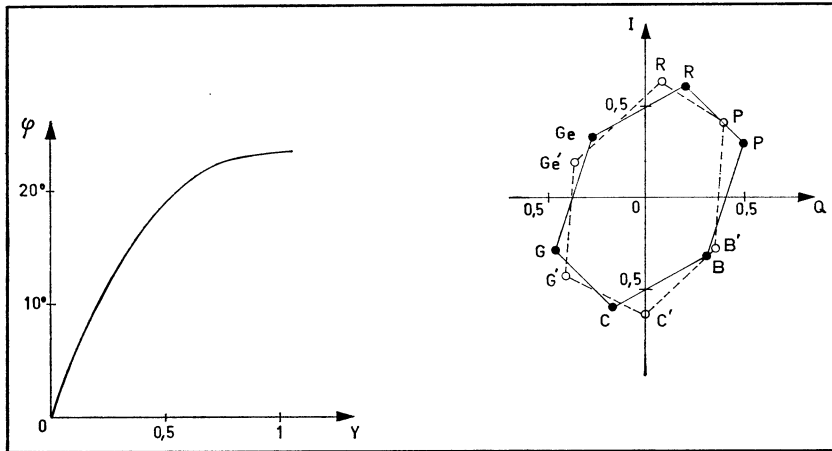
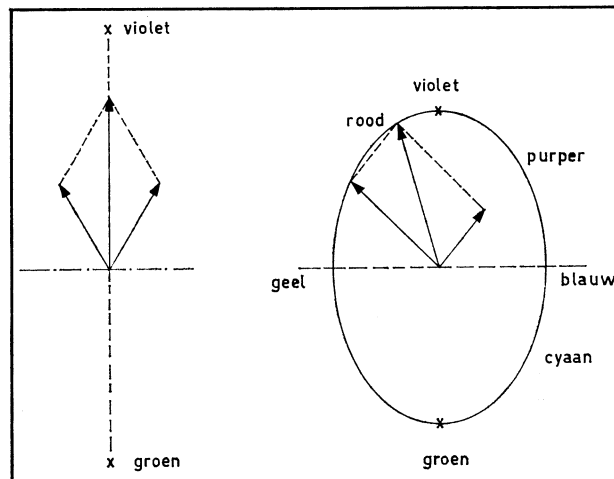


Fig. IX.8. Effect van differentiële fasefouten in een NTSC-sigitaal.

Fig. IX.9. Kwadratuurfout, veroorzaakt door bandbegrenzing.



zijn). Het kleuroverspraaksigitaal in de Q -informatie ligt dan echter buiten de doorlaatband (begrensd op 0,6 MHz). De uitfiltering in de decoder zal daarom ook bijzonder effectief moeten zijn.

In het algemene geval van een toevallige bandbegrenzing zullen zeer storende, gekleurde randen (kleurzomen) langs de kleurovergangen worden opgewekt.

e. Reflecties

Als een signaal wordt ontvangen, dat is samengesteld uit een rechtstreeks en een „geest“-signaal (reflectie!), iets dat ook voorkomt bij de monochrome televisie, dan worden nog andere hinderlijke kleurfouten opgewekt. De kristaloscillator voor de regeneratie van de kleurenhulpdraaggolf in de decoder zal worden gesynchroniseerd door het eerste salvo, maar het geheel van het chrominantievlak (voor grote kleurvelden) zal gedraaid zijn over een hoek β , die ook nog afhankelijk is van de vertraging en de verzwakking van het gereflecteerde signaal t.o.v. het rechtstreekse. Er zal dus onvermijdelijk een kleurfout ontstaan. Bovendien vindt er tussen de rechtstreekse en de reflectie-overgangen een combinatie van de oude en de nieuwe fase plaats, waardoor een dergelijk beeld veel meer ongenietbaar wordt dan zwartwit-beelden.

Conclusie over het NTSC-systeem

Bij dit systeem is het niet altijd mogelijk de kleuren onder normale gebruiksvoorwaarden (die heel verschillend zijn van de ideale voorwaarden, die in het laboratorium worden verwezenlijkt) zuiver over te brengen. Daarom hebben de Amerikaanse en de Japanse constructeurs hun ontvangers voorzien van twee extra-regelknoppen (voor de instelling van de *tint* en de *verzadiging*).

Uit de praktijk is echter gebleken, dat de gemiddelde kijker, of het nu een Amerikaan is of niet, reeds enorm veel moeilijkheden ondervindt met het doorgronden van de contrast- en helderheidsregeling bij zwartwit-ontvangers! Ik laat het aan u over, geachte toehoorders, u zelf een idee te vormen over de catastrofale kleurencacafonie, die ontstaat door een onoordeelkundige instelling van de, te talrijke, knoppen die ter beschikking van de gebruikers worden gesteld.

Ondanks dit alles genieten echter miljoenen Amerikaanse en Japanse kijkers al sedert jaren dank zij het NTSC-systeem van bevredigende kleurenbeelden. Laten we verder ook niet vergeten, dat dit systeem de basis vormt van alle andere systemen, die later werden ontwikkeld.

II. HET PAL-SYSTEEM

Het grootste bezwaar tegen het NTSC-systeem is de grote gevoeligheid voor fasedistorsie. Voor het PAL-systeem heeft men voor deze vervormingen in de decoder een compensatieproces uitgedacht.

Het oorspronkelijke idee van de uitvinder van PAL, dr. Walter Bruch, houdt in, dat de richting van de ($R - Y$)-as van lijn tot lijn over 180° wordt omgekeerd (vandaar de naam Phase Alternation Line). Hiertoe wordt een omschakelaar in de encoder van de zender aangebracht. Bij de ontvangst zorgt een gelijksoortige schakelaar ervoor, dat de juiste fase van het ($R - Y$)-signaal wordt hersteld. Het vernuftigste is echter de invoering van een vertraginglijn, die een soort van geheugen voorstelt. Dank zij dit element kunnen de signalen van twee, in tijd opeenvolgende lijnen worden gesommeerd, waardoor hun respectievelijke fasefouten, die tegengesteld zijn, zullen worden gecompenseerd. Bij het ontwerpen van dit systeem heeft W. Bruch zich gebaseerd op een fundamentele wet, die door Henri de France

werd geformuleerd en volgens welke de kleurinhoud van twee, in tijd opeenvolgende lijnen in het algemeen vrij goed overeenkomt.

1. Codering

Men gebruikt weer de basiscircuits van NTSC en voert een variant in: van lijn tot lijn wordt

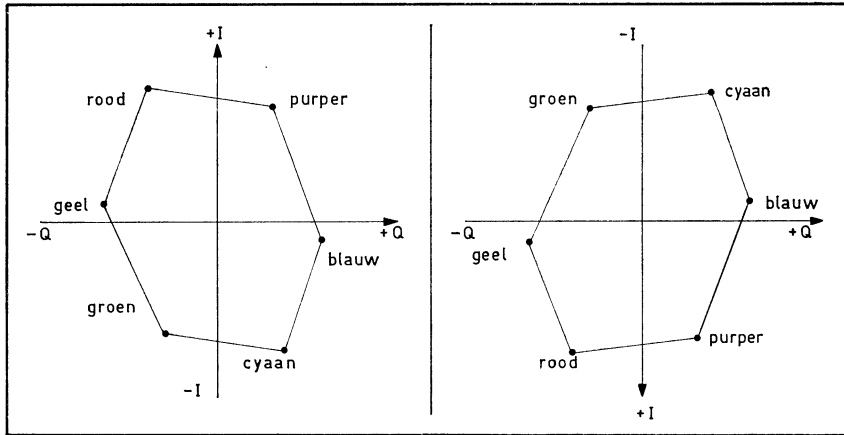


Fig. IX.10. Het chrominantievlak in het PAL-systeem, dat van lijn tot lijn verschillend is (links: $+I$ naar boven gericht; rechts wijst $+I$ naar beneden. De Q -as wijst altijd naar rechts).

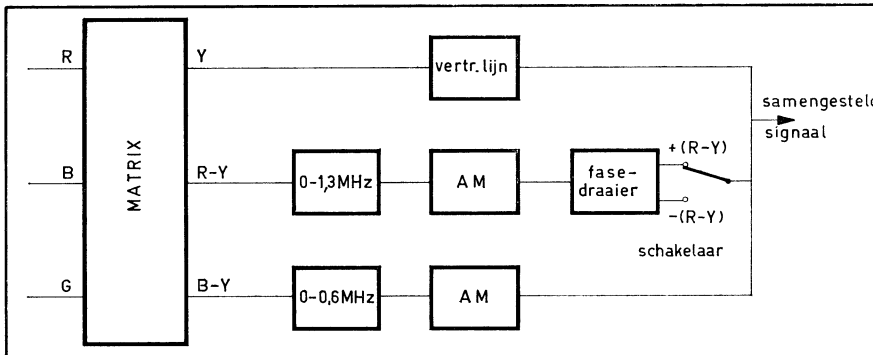


Fig. IX.11. Vereenvoudigd blokschema van een PAL-encoder.

de polariteit van de $(R - Y)$ -component omgedraaid, de polariteit van de $(B - Y)$ -component blijft echter ongewijzigd.

In het vervolg van deze uiteenzetting en uitsluitend met het oog op vereenvoudiging van de aanduidingen, zullen we $I = (R - Y)$ en $Q = (B - Y)$ stellen. *We mogen dus niet vergeten, dat deze signalen I en Q bij PAL niet dezelfde zijn als bij NTSC. Ze worden namelijk – net zoals in het SECAM-systeem – overgedragen met dezelfde bandbreedte.*

We zullen zien, dat de decoder de polariteit van de I -draaggolf noodzakelijkerwijze moet „weten” (90° of 270°); hiervoor wordt een *salvo* of *burst* overgebracht, waarvan de fase afwisselend ($180^\circ - 45^\circ$) en ($180^\circ + 45^\circ$) is (de zgn. alternerende burst, hier 13 perioden van F_k).

2. Decodering

a. PAL-standaard (afgekort PAL-DL)

Laten we even aannemen, dat we op hetzelfde ogenblik twee draaggolfdiagrammen, die overeenkomen met de chrominantievlakken van de even en de oneven lijnen, ter beschikking hebben. Om dit in de praktijk te bereiken, gebruikt men een *vertragslijn* met een looptijd van $64 \mu\text{s}$, gelijk aan de afbuigingsperiodetijd van één lijn (Europese standaard met 625 lijnen). De vertragslijn houdt de draaggolf in het geheugen vast en geeft het signaal weer af na een tijdsverloop, dat precies gelijk is aan één lijntijd.

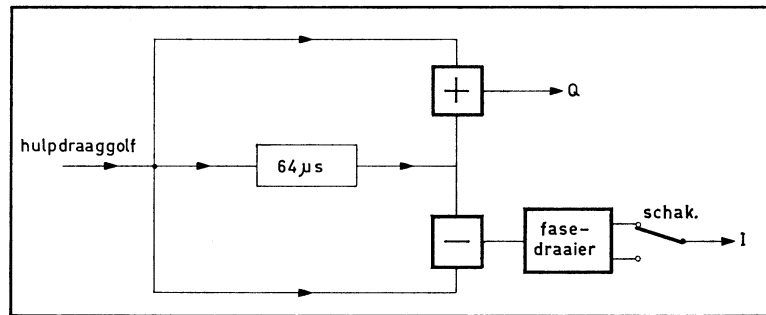
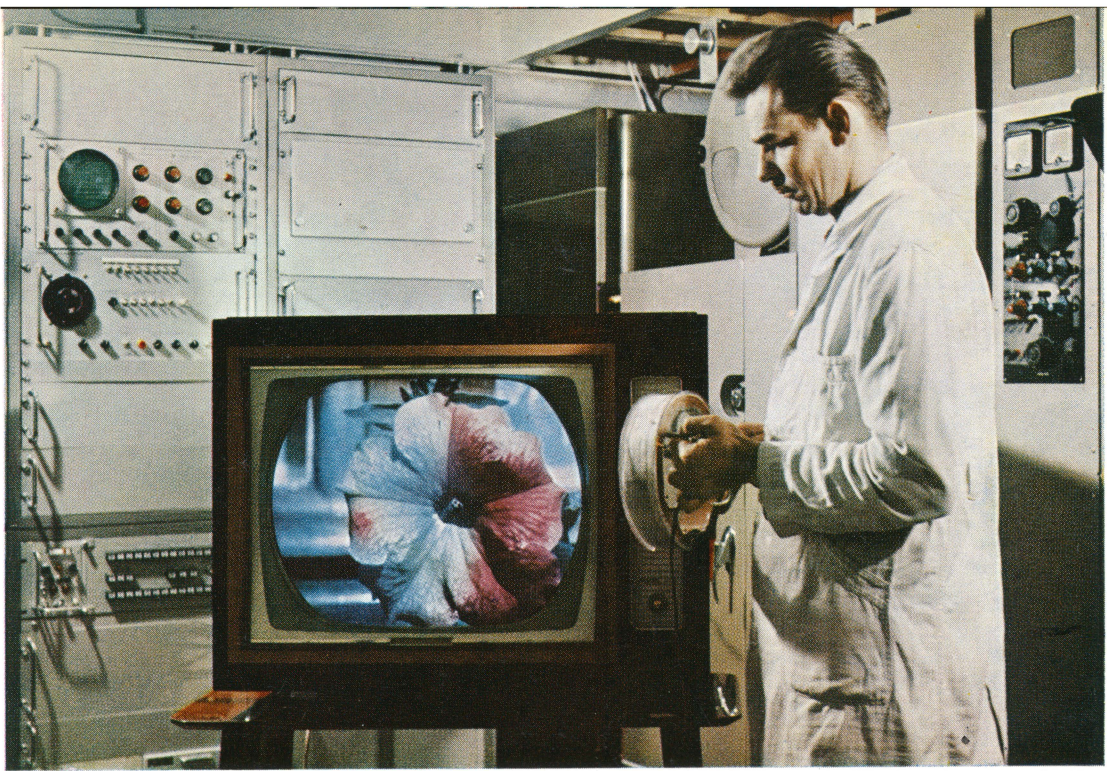


Fig. IX.12. Vereenvoudigd blokschema van een PAL-DL-decoder.

Het zal in fig. IX.13 duidelijk zijn, dat de *som* van vector V_1 (overeenkomend met een bepaalde lijn) en van vector V_2 (overeenkomend met de volgende lijn) gelijk is aan $2 Q'$, terwijl het *verschil* afwisselend gelijk is aan $+2 I'$ en $-2 I'$ (men verkrijgt het verschil van de vectoren door de ene op te tellen bij de andere, waarvan het teken werd omgekeerd).

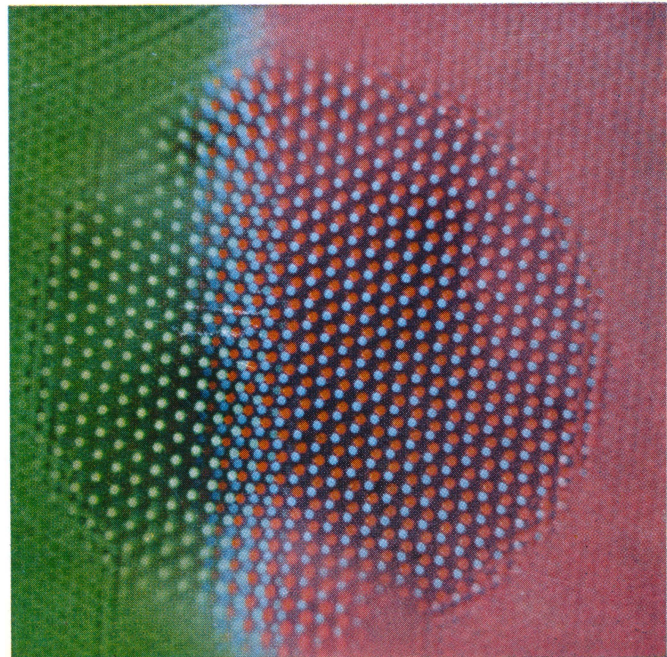
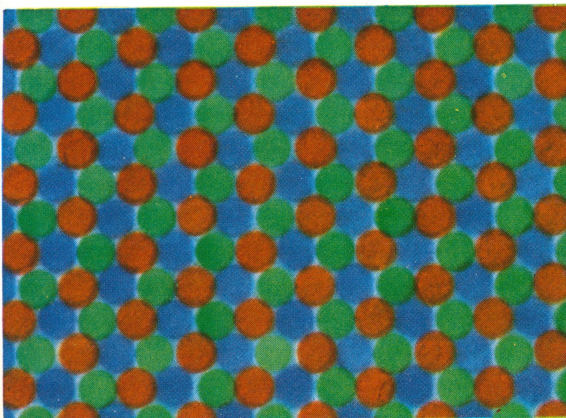
Veronderstellen we vervolgens, dat vector V_1 , die de kleur voorstelt van een beeldelement van de eerste lijn, als hoekargument φ heeft. Wordt de vectorstand gewijzigd door een fase-distorsie, overeenkomende met hoek α , dan zal hij worden verplaatst naar V_2 (fig. IX.14a). Bij de volgende lijn (b) wordt de I -as om de Q -as gespiegeld. Vector V_1 , die dezelfde fase-distorsie α zal ondergaan, wordt naar V_2 verplaatst. In de ontvanger zal de omschakelaar van de I -as, deze vector in een symmetrische stand t.a.v. de Q -as brengen (c). Dit signaal zal worden opgeteld (d) bij het signaal van de voorgaande lijn, dat gedurende $64 \mu\text{s}$ in het geheugen werd vastgehouden (vertragslijn). Wat is nu het resultaat van deze optelling? De differentiële fasen van deze twee vectoren hebben dezelfde waarde, maar ze hebben een *tegengesteld teken*. Onder deze voorwaarden heffen ze elkaar op! Daar ligt nu het overzicht



A. De uitwerking van een magnetisch veld, dat de richting van de elektronen in een drie-kleurenbus verstoort, waardoor de tinten op het scherm worden veranderd.

De technicus staat op het punt, de bus te demagnetiseren met behulp van een spoel, die hij voor de bus houdt. (Zie ook hoofdstuk VI).

B. Een vergroting van een detail van het scherm van de schaduwmaskerbuis. Links de fosfortripels R, G en B. Rechts een kleurenovergang van groen naar magenta in horizontale zin.



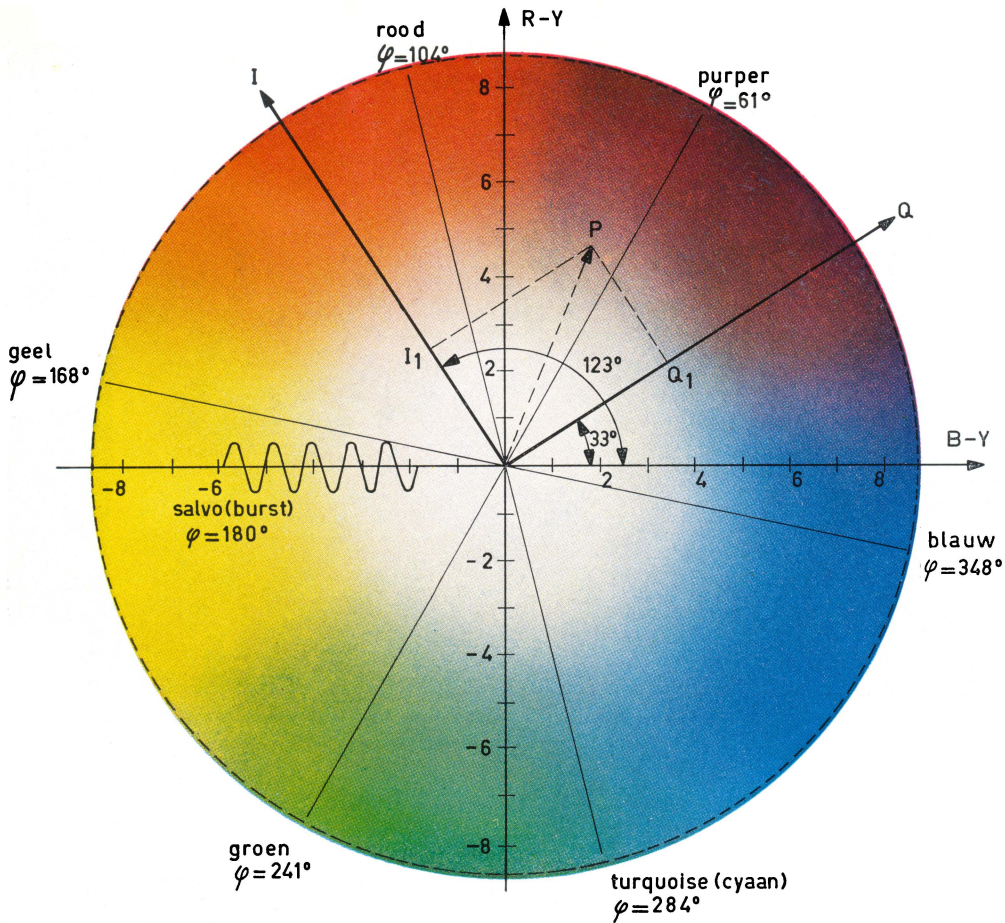


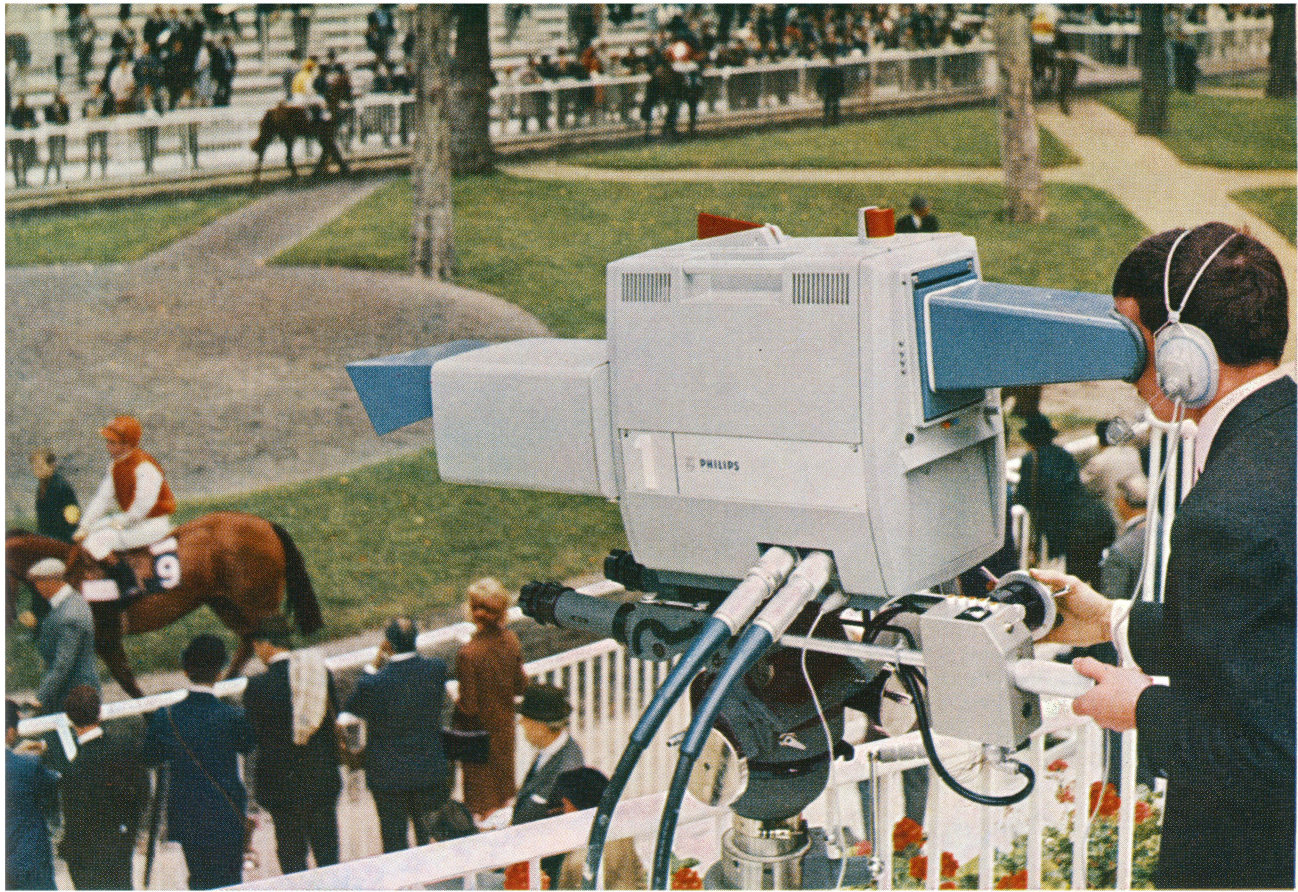
Fig. IX.1. *Het chrominantievlak*, waarop het volgende is te zien: de modulatie-assen I en Q bij NTSC; het „kleurensalvo” (de burst) voor fasesynchronisatie; de kenmerkende plaatsen van de primaire en de complementaire kleuren; de manier waarop een punt voor kleur P kan worden bepaald door de amplitude en de fase van de sinusoiden.

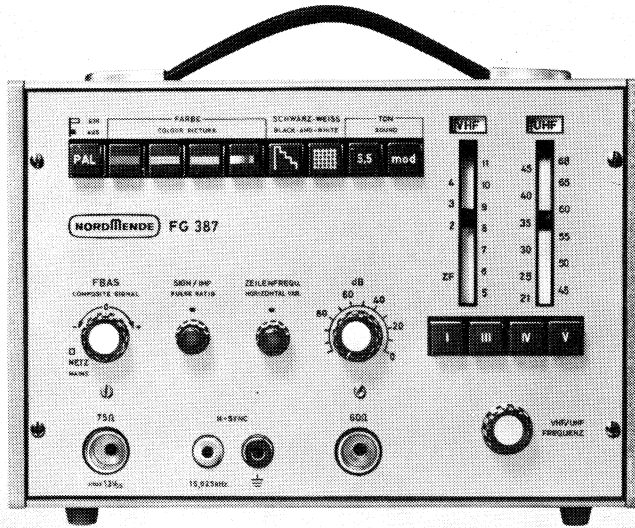
C. *Kleurentelevisie-installatie* op de paardenrenbaan te Longchamp (Parijs).

Boven: een kleurencamera in bedrijf.

Onder: de beeldregie, waar de beelden van de verschillende camera's gelijktijdig samenkomen en worden bekeken, zodat de mogelijkheid bestaat, op elk willekeurig ogenblik het meest interessante beeld op de zender te schakelen.

→





D. De Nordmende FG 387, een beeldpatroongenerator voor de service van PAL- en NTSC-kleurenontvangers. Het apparaat is voorzien van een 75 Ω video-uitgang en een 60 Ω HF-uitgang voor de banden I, III, IV en V. (Foto Nordmende).



E. De Philips service-kleurenoscillator voor het PAL-systeem. Ook hier een video-uitgang en een HF-uitgang voor alle CCIR-TV-banden. De afstemming geschiedt met behulp van druktoetsen. De HF-uitgangsverzwakker is gecalibreerd. (Foto Philips).

van PAL ten opzichte van NTSC. Dit systeem maakt het mogelijk, bij ontvangst de juiste tint van het beeld samen te stellen.

En de verzadiging? Als we echt spijkers op laag water willen gaan zoeken, kunnen we zeggen, dat de verzadiging als gevolg van de faseverschuiving een lichte wijziging heeft ondergaan. Fig. IX.14d toont aan hoe de resulterende vector wat korter wordt dan het dubbele van V_1 ;

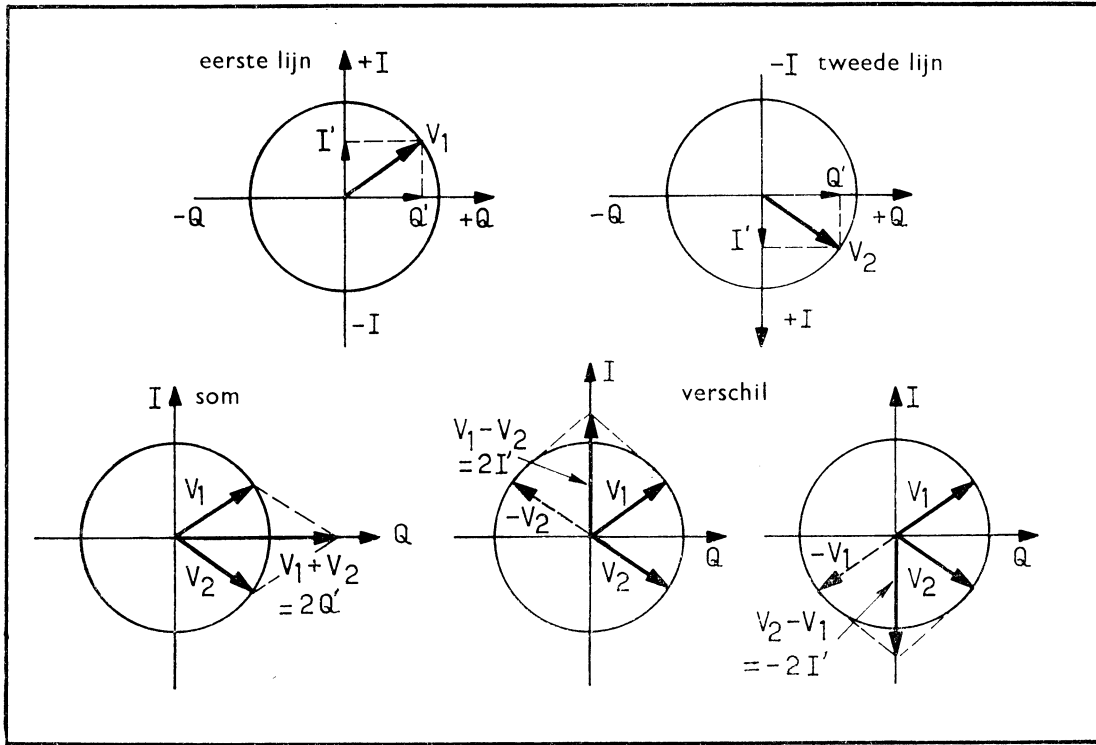


Fig. IX.13. Optelling en aftrekking van de Q- en I-signalen van twee in tijd opeenvolgende lijnen.

aangezien hij gelijk is aan de diagonaal van een parallellogram, waarvan de zijden gelijk zijn aan $V_1 (= V_2)$. Voor de toegelaten waarden van de faseverschuiving α , is het verzadigingsverschil S praktisch onzichtbaar.

De kleurenhulpdraaggolf moet hier, net zoals voor NTSC, opnieuw worden opgewekt (ge-regeneerd) om detectie mogelijk te maken. Men past voor de kleurendraaggolf synchroon-demodulatie toe, waarbij een constante polariteit van het I-signaal wordt verkregen door een elektronische omschakelaar te gebruiken, die wordt gesynchroniseerd door de alternerende burst (wisselalvo).

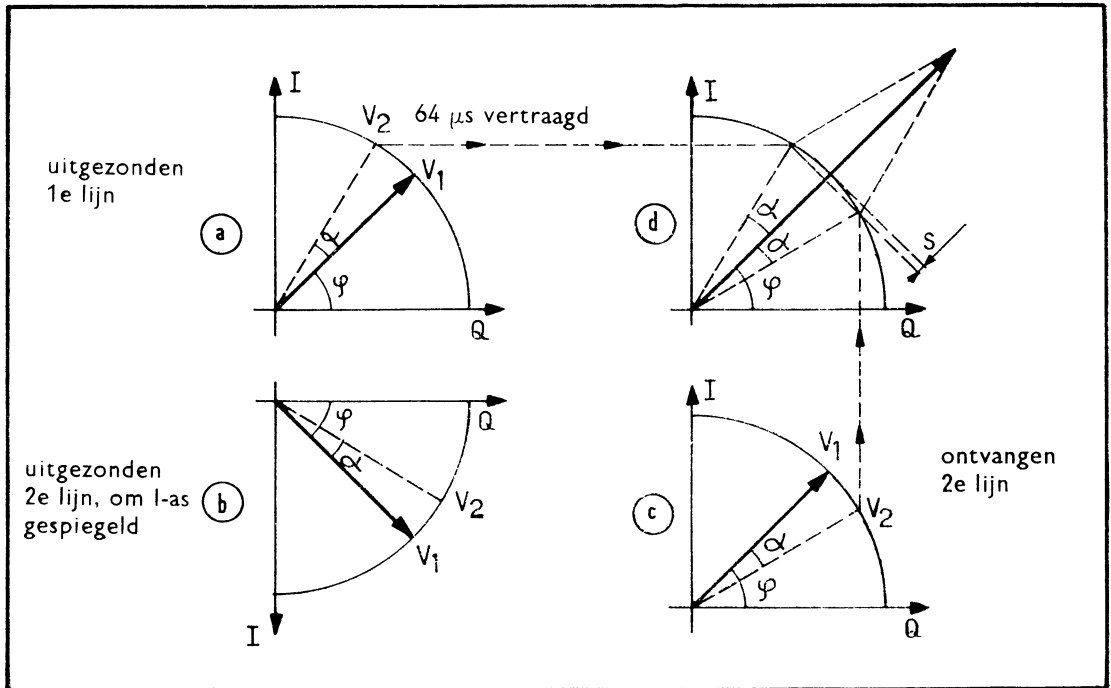


Fig. IX.14. Als vector V_1 tijdens de eerste lijn (a) aan fasedistorsie onderhevig is, zal hij over een hoek α naar V_2 worden verplaatst. Hetzelfde zal plaatsvinden gedurende de tweede lijn (b), waarvan de I -as echter om Q gespiegeld is. In de decoder van de ontvanger ondergaat het signaal van de tweede lijn een nieuwe spiegeling van de I -as (c), waarna het bij het signaal van de tweede lijn wordt opgeteld (d).

b. PAL-S (zonder vertragslijn)

Het betreft hier een NTSC-decoder waaraan men een polariteitsomschakelaar voor het gedetecteerde I -signaal heeft toegevoegd, die door de alternerende burst wordt gesynchroniseerd.

Merken we ook nog op, dat het PAL-standaardsysteem in de vakliteratuur meestal PAL-DL (Delay-Line = vertragslijn) wordt genoemd en het door sommigen onjuist als „PAL de luxe” wordt betiteld.

3. Eigenschappen

a. Differentiële versterking

De amplitudemodulatie van de kleurenhulpdraaggolf is dezelfde als voor NTSC, zodat de eigenschappen van PAL, wat de amplitudevervorming betreft, precies dezelfde zijn als die van NTSC.

b. Differentiële fase

1. PAL-DL. Zoals we tijdens de analyse van het PAL-principe hebben gezien, wordt een

fasefout α gecompenseerd door het werkingsprincipe zelf, op voorwaarde althans, dat de waarde ervan niet verandert voor twee in tijd opeenvolgende lijnen.

Behoudens een technische storing blijft deze waarde constant in een gegeven overdrachts-circuit of hij varieert slechts langzaam. We mogen dus in het algemeen zeggen, dat PAL een getrouwe weergave van de tinten mogelijk maakt.

2. *PAL-S*. De tintfout, die wordt veroorzaakt door fasedistorsie uit zich door een draaiing van het chrominantievlak in tegengestelde zin van lijn tot lijn, ten gevolge van de periodieke polarisatieompoling van I . Voor zwakke vervormingen is het oog in staat, deze afwisselende en symmetrische tintfouten te integreren; wordt de distorsie te groot (hetgeen bij NTSC verkleuring tot gevolg heeft), dan zal men horizontale lijnen met verschillende kleuren kunnen onderscheiden die zich, als gevolg van de interliniëring, van onderen naar boven schijnen te bewegen (Venetian blinds of jaloezie-effect).

c. *Magnetische registratie*

In het volgende zullen we uitsluitend het PAL-DL-systeem bespreken, omdat het PAL-S-systeem minder goede of op zijn hoogst dezelfde resultaten levert als NTSC. Wat betreft de faseverschuivingen die te wijten zijn aan bandsnelheidsongelmatigheden, geldt het volgende.

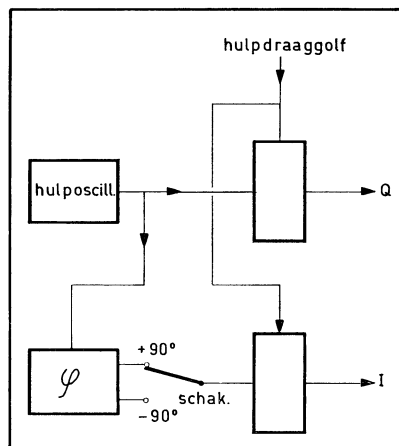


Fig. IX.15. Vereenvoudigd blokschema van een PAL-S-decoder.

Vooropgesteld dat het apparaat, zoals voor NTSC, wordt gesynchroniseerd met de lijnfrequentie, zullen de resultaten qua differentiële fase dezelfde zijn. Er wordt inderdaad aan de hypothese, dat de fasedistorsie gelijk is voor twee in tijd opeenvolgende lijnen, niets veranderd. Onder deze voorwaarden zal de differentiële fasedistorsie worden gecompenseerd. De overschakelingsfouten van de 4 weergeefkoppen kunnen alleen nog verzadigingsfouten veroorzaken en geen tintfouten meer, want de decoder bezit geen kristal voor de regeneratie van de hulpdraaggolf, doch wel een meesleposcillator.

Nochtans is het Moiré-effect, dat uitsluitend te wijten is aan grote amplituden van de kleuren-hulpdraaggolf, bij PAL zowel als bij NTSC zichtbaar.

Ook voor PAL zal men dus magnetoscopen dienen te gebruiken, samen met de hulpapparatuur van het type Colortec, die voor NTSC werd ontwikkeld. Het resultaat kan over het algemeen bevredigend worden genoemd.

d. Bandbegrenzing

Het feit, dat het $+I$ -signaal gedurende elke tweede lijn wordt overgedragen en tijdens de andere lijnen het $-I$ -signaal (symmetrisch t.o.v. het voorgaande), betekent dat de zijbandspectrumlijnen van I ook worden gesymmetreerd. Er zal uitwisseling bestaan tussen de bovenste en de onderste zijbandinformatie.

De kwadratuurfout β , die er de oorzaak van is, dat de hoek tussen de assen I en Q gelijk is aan $(90^\circ + \beta)$, wordt tijdens de volgende lijn omgevormd in een fout gelijk aan $(-\beta)$ en de hoek tussen de twee assen wordt dan $(90^\circ - \beta)$. Door deze twee hulpdraaggolven te

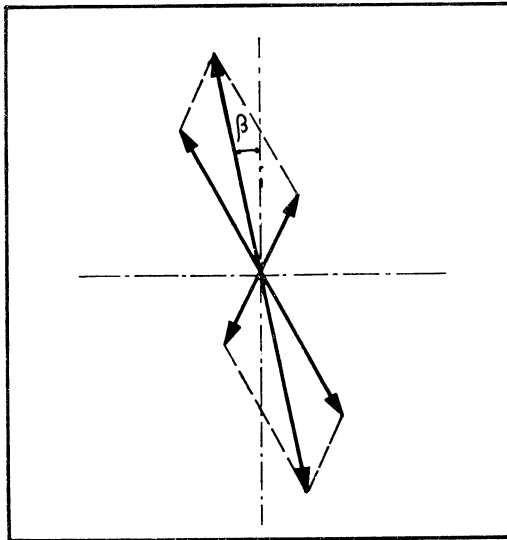


Fig. IX.16. Eliminatie van de kwadratuur fouten bij het PAL-systeem.

sommen en af te trekken, wordt de fout β geneutraliseerd. Bij PAL-DL ontstaat dus geen kleuroverspraak tussen de chrominantiesignalen als er bandbegrenzing aanwezig is; men constateert slechts een vermindering van de verzadiging (desaturatie) voor de gedeeltelijk begrensde band, d.w.z. een daling van de kleurendefinitie.

e. Reflecties

Omdat het kristal in de decoder wordt vervangen door een meesleposcillator, zal het bekende NTSC-reflectieverschijnsel verdwijnen bij toepassing van PAL.

f. Bijzonderheden van het PAL-systeem

Het PAL-DL-systeem is dus wel degelijk beter dan NTSC bestand tegen propagatie- en overdrachtsonregelmatigheden. Men heeft PAL wel eens verweten, dat de verticale kleuren-

definitie wordt verlaagd (aangezien dezelfde kleureninformatie tweemaal wordt gebruikt, tijdens twee opeenvolgende lijnen). Dit verwijt mist echter elke grond. Men bedenke nl. dat de horizontale kleurendefinitie reeds 4 tot 5 maal lager is dan de luminantiedefinitie. We zullen verder nog zien, dat deze overdaad van definitie bij SECAM reeds sinds lang wordt uitgebuit om de onafhankelijkheid van de kleureninformatie te bevorderen.

Daartegenover staat, dat men met de PAL-DL-ontvanger, die door het werkingsprincipe de fase-distorsie neutraliseert (op voorwaarde dat deze niet verandert vanaf de beschouwde lijn tot de volgende) het risico loopt, nieuwe fouten in te voeren, die niet gecorrigeerd kunnen worden.

De looptijd van de vertragingsslijn, die dient om de kleurenhulpdraaggolf gedurende één lijntijd vast te houden, moet exact en constant zijn, zodat men een volmaakte overeenkomst verkrijgt tussen de directe en vertraagde draaggolf Q . Een faseverschuiving hierin veroorzaakt dezelfde tintfouten als bij NTSC.

Conclusies inzake het PAL-systeem

Het is gemakkelijker in gebruik dan het NTSC-systeem (wat betreft beeldbandregistratie; het is mogelijk gebruik te maken van apparatuur die zelf fasefouten introduceert). PAL levert over het algemeen beelden met betere kwaliteit, maar de ontvanger is ingewikkelder, dus kwetsbaarder. De televisiekijker heeft nu nog slechts één enkele extra regelknop, vergeleken met de klassieke zwartwit-ontvanger: de instelling van de *kleurverzadiging*.

Tenslotte zij nog opgemerkt, dat het kenmerk *PAL* toepasselijk is op zeer verschillende klassen van ontvangers: de PAL-standaard of PAL-DL bezit alle opgesomde voordelen, terwijl PAL-simpel (PAL-S) dezelfde of zelfs slechtere resultaten kan geven dan NTSC-ontvangers.

III. HET SECAM-SYSTEEM

1. Codering

Bij het SECAM-systeem wordt de kwadratuurmodulatie niet toegepast. Het principe kan als volgt worden samengevat: als men wil vermijden, dat er onderlinge beïnvloeding tussen de kleursignalen ontstaat, dan moet men ze niet gelijktijdig overdragen; wil men vermijden dat er onderlinge beïnvloeding ontstaat tussen de luminantie en de chrominantie, dan moeten, daar de luminantie de hoofddraaggolf in amplitude moduleert, de chrominantiesignalen de hulpdraaggolf in frequentie moduleren.

De hulpdraaggolf brengt op een bepaald ogenblik één van de chrominantiesignalen over, bijv. ($R - Y$); het volgende ogenblik draagt hij *het andere* chrominantiesignaal over: ($B - Y$). De omschakeling dient, opdat de stoorspanning niet op het scherm zichtbaar zal worden, te geschieden tijdens een onderdrukingsinterval. Verder moet de periode van de omschakeling van ($R - Y$) naar ($B - Y$) zo kort mogelijk zijn, om een maximum aan informatie over te kunnen brengen. Het *modulatiesignaal zal bijgevolg voor elke nieuwe lijn worden gewijzigd.*

De keuze van de centerfrequentie van de hulpdraaggolf beantwoordt aan criteria, die totaal verschillen van die voor NTSC. De structuur van het stilstaande puntenpatroon wordt door toepassing van FM geheel anders. Een diepgaande experimentele studie heeft tot het meest voordelige compromis geleid.

De centerfrequentie is gelijk aan een geheel veelvoud van de lijnfrequentie, 282 voor ($R - Y$)

en 272 voor $(B - Y)$, bij afwezigheid van modulatie worden de punten verticaal onder elkaar afgebeeld, zodat ze duidelijk zichtbaar worden. Men bewerkstelligt nu een kunstmatige „offset”, door de fase van de hulpdraaggolf voor één van elke drie lijnen en bij elke rasterwisseling om te keren. Deze *vervlochten* van de punten leidt tot een minimum aan zichtbaarheid, onafhankelijk van de modulatie.

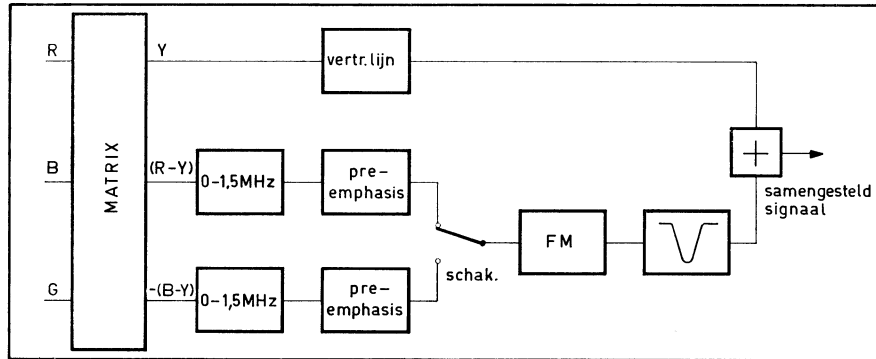


Fig. IX.17. Vereenvoudigd blokschema van een SECAM-encoder.

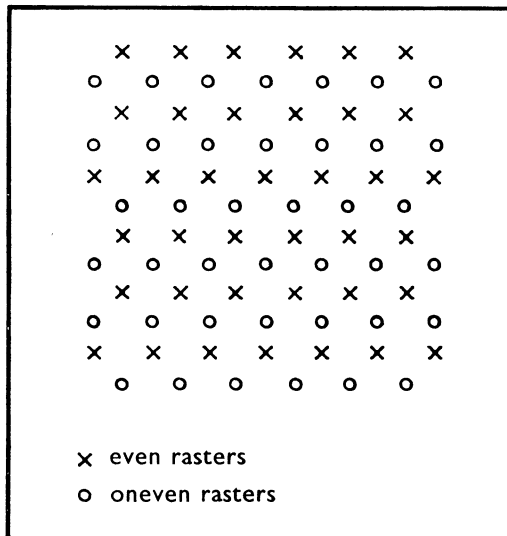


Fig. IX.18. Vervlochten van de punten, die het gevolg zijn van de hulpdraaggolf, zoals die in het SECAM-systeem wordt toegepast.

Op de chrominantiesignalen wordt pre-emphasis toegepast en aan de gemoduleerde kleuren-hulpdraaggolf wordt een bepaalde vorm gegeven door een filter, waarvan de doorlaatkromme doet denken aan een op zijn kop staande kerkklok (antiklokfilter). De bedoeling hiervan wordt later besproken.

Merken we ook nog op, dat de signalen $(R - Y)$ en $(B - Y)$ met tegengestelde polariteit worden overgedragen. Dit betekent, dat de frequentiezwaai, die het gevolg is van een $(R - Y)$ -signaal met een bepaald teken in tegengestelde richting gaat als de zwaai die wordt veroorzaakt door een $(B - Y)$ -signaal met hetzelfde teken. Theoretische studie, waarvan de resultaten door experimenten werden bevestigd, heeft aangetoond, dat op deze wijze de zichtbaarheid van de kleurenhulpdraaggolf in het compatibele beeld gereduceerd wordt, terwijl de invloed van ruis op het chrominantiesignaal wordt verminderd. We zullen verder nog zien, dat de decoder – net zoals bij PAL – moet „weten” welke informatie wordt overgebracht, $(R - Y)$ of $(B - Y)$. Daarom wordt er een extra informatie overgebracht, die de alternerende burst vervangt. Het betreft een signaal voor de identificatie van de kleuren, samengesteld uit een hulpdraaggolf, die door „groen” gemoduleerd wordt.

$$\begin{aligned} R - Y &< 0 \\ B - Y &< 0 \end{aligned}$$

(Zie de positie van groen in het chrominantievlak, bijv. in fig. IX.1 of fig. IX.8.) Dit identificatiesignaal heeft een tijdsduur van negen lijnen, die zich in het rasteronderdrukingsignaal bevinden. De overgebrachte chrominantiesignalen zijn dan:

$$\begin{aligned} C_r &> 0 \\ C_b &< 0 \end{aligned}$$

aangezien deze signalen, zoals hiervoor reeds werd gezegd, met tegengestelde polariteit worden uitgezonden.

2. Decodering

In het chrominantiegedeelte van de decoder vindt men eerst een „klofilter”, dat de amplitude- en fasebeïnvloeding van het „antiklofilter” in de encoder compenseert; anders gezegd: de functies van de twee filters heffen elkaar op. Waarom heeft men ze dan nodig? Als men tussen de twee filters in, bijv. in de transmissieweg, een vreemd stoorsignaal invoert (ruis, interferentie, ontsteking van auto’s), dan zal de doorlaatband van de ontvanger voor dit stoorsignaal overeenkomen met de bandbreedte van het klofilter (dus smal), terwijl voor het nuttige signaal, dat volgens de antiklokvorm voorgecorrigeerd werd, globaal gezien de normale doorlaatband ter beschikking zal zijn. Men verhoogt op die manier de kwaliteit van de chrominantiesignalen door ze te beschermen tegen de invloed van stoorsignalen. De invloed van de „klokvorm” versterkt dus het effect van de de-emphasis.

De kleurenhulpdraaggolf wordt vervolgens aan een vertragslijn toegevoerd, waarvan de looptijd gelijk is aan één lijntijd ($64 \mu\text{s}$ voor een beeld met 625 lijnen). Men weet dat SECAM de afkorting is van *SEquences de Couleurs Avec Mémoire* (Kleursequentie met geheugen). We hebben reeds gezien hoe de chrominantiesignalen *sequentieel* worden overgedragen en niet gelijktijdig; een vertragslijn vormt *het geheugen*. Dit heeft tot gevolg dat, als de kleurenhulpdraaggolf *aan de uitgang* van het geheugen gemoduleerd is door bijv. C_r , de kleurenhulpdraaggolf *aan de ingang* ervan door C_b zal zijn gemoduleerd en omgekeerd. Een elektronische omschakelaar, die automatisch door de lijnterugslagimpulsen wordt gestuurd, voert de ingangssignalen en de uitgangssignalen van de vertragslijn afwisselend naar de $(R - Y)$ - en $(B - Y)$ -demodulatoren, die samengesteld zijn uit begrenzers, discriminatoren en de de-emphasiscircuits. Het spreekt vanzelf, dat de decoder moet „weten” welke kleur-

informatie wordt overgebracht (anders loopt men het risico, dat hij C_r en C_b systematisch verwart). Ook moet hij weten of het ontvangen programma achroom of in kleuren wordt uitgezonden. Bij afwezigheid van de kleurenhulpdraaggolf produceren de begrenzers, die werden ontworpen om een constant vermogen af te leveren, onafhankelijk van het ingangssignaal een sterke ruis, die naar de *discriminatoren* wordt gevoerd. Om dit te beletten, wordt

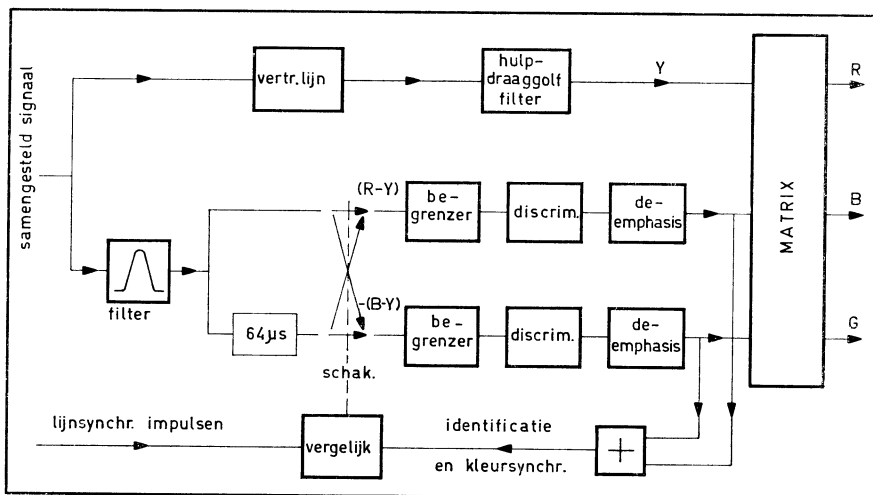


Fig. IX.19. Vereenvoudigd blokschema van een SECAM-decoder.

een beroep gedaan op het kleuridentificatiesignaal, waarover reeds in het kort werd gesproken. Deze signalen worden gedemoduleerd en hieruit wordt het kleursynchronisatiesignaal gevormd:

$S = (C_r - C_b)$ dat in de tijd wordt geïntegreerd. Het kleursynchronisatiesignaal is positief, als de omschakelaar behoorlijk functioneert, nul als er geen kleur is en negatief als de decoder C_r en C_b verwisselt.

De polariteit van het S -signaal maakt het mogelijk, de omschakelaar te synchroniseren, terwijl de afwezigheid van S het chrominantiegedeelte van de decoder blokkeert.

3. Eigenschappen

a. Differentiële versterking

De amplitude van de kleurenhulpdraaggolf brengt geen informatie over. Bovendien wordt hij begrensd door de begrenzer in de decoder. Bijgevoeg heeft een differentiële versterkingsfout niet de minste uitwerking op de getrouwheid van de kleuren.

b. Differentiële fase

De chrominantie-informatie wordt overgedragen door middel van frequentiemodulatie. De faseverschuiving van het geheel van de overdrachtsketen verloopt door differentiële

fase van φ naar $(\varphi + \Delta\varphi)$ gedurende de tijd Δt . Er ontstaat dus een storende extra-frequentiezwaai:

$$\Delta F = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Aangezien deze zwaai in feite met één storing overeenkomt, zal hij niet volledig door de decoder worden gedemoduleerd, maar zal hij de dubbele invloed van de klok en de demphasis ondergaan. Bij SECAM kan de differentiële fasefout slechts de kleurovergangen aantasten en niet de grote kleurvlakken. Men neemt over het algemeen aan, dat een totale afwijking van $\pm 25^\circ$ een juist waarneembare fout veroorzaakt (d.i. een tolerantie die vijfmaal hoger ligt dan bij NTSC en bovendien is het verschijnsel totaal anders, daar het bij SECAM niet het gehele beeld aantast).

c. Magnetische registratie

Dank zij de toepassing van frequentiemodulatie is SECAM het meest ideale systeem voor magnetische registratie:

De snelheidsnauwkeurigheid Δv brengt een storende frequentiezwaai ΔF voort:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta v}{v}$$

Het effect is echter niet cumulatief, omdat de storende zwaai niet in zijn geheel wordt gedemoduleerd. De gebruikelijke snelheidsnauwkeurigheid van 0,3% is ruimschoots voldoende. De omschakeling van de ene kop naar de andere gaat ook niet vergezeld van distorsieverschijnselen, aangezien de chrominantie uitsluitend door FM wordt overgebracht en hierdoor ongevoelig is voor fase- en amplitude-onregelmatigheden.

Tenslotte is de amplitude van de kleurenhulpdraaggolf zwak en hij varieert weinig, waardoor Moiré-effecten worden vermeden.

Voor SECAM gebruikt men de gewone zwartwit-studiobeeld-magnetoscopen, zonder enige wijziging of toevoeging. Men gebruikt zelfs half-professionele, draagbare apparaten met beperkte kwaliteiten. Deze laatste leveren voor vrij weinig geld uitstekende kleurenbeelden.

d. Fouten in de doorlaatband

In geen geval kan bij SECAM kleuroverspraak tussen de chrominantiesignalen ontstaan. Een fout in de doorlaatband veroorzaakt natuurlijk een vermindering van de definitie, maar dan moet de fout alleszins groter zijn dan de begrenzing, die het signaal ondergaat bij het passeren van het klokfilter. Voor de gebruikelijke fouten (verouderde zenders, slecht afgeregelde ontvangers) zal de uitwerking nauwelijks zichtbaar zijn.

e. Reflecties

De uitwerking van reflecties op een SECAM-beeld is identiek aan de uitwerking ervan op een achroom beeld.

f. Gevoeligheid voor ruis

Het feit, dat de verhouding van frequentiezwaai tot maximale modulatie-frequentie (modulatie-index) klein is, vermindert de ongevoeligheid voor ruis. Om dit te verhelpen, gaat men

bij de uitzending over tot een „antiklok“-vormgeving van de kleurenhulpdraaggolf (zie hierboven het „antiklofilter“). Dit betekent dat men, wanneer men zich aan de grens van het verzorgingsgebied van de zender bevindt, er goed aan doet, antennes met hoge versterkingsfactor op te stellen.

Conclusies inzake het SECAM-systeem

Het SECAM-systeem heeft vele goede zijden; zo dient benadrukt te worden, dat het onderhoud van de professionele uitrusting geen bijzondere eisen stelt t.o.v. de zwartwit-apparaten (behalve dat er natuurlijk meer onderdelen zijn) en dat de service voor de ontvangers, wat het SECAM-gedeelte aangaat (d.w.z. het chrominantiegedeelte in de decoder) vrij beperkt is, omdat dit eenvoudiger is dan dat van de concurrerende systemen.

Er zit geen geheim en ook geen wonder in dit systeem verscholen. Het werd langdurig bestudeerd en eminente specialisten zoals De France, Cassagne en Melchior hebben regelmatig verbeteringen aan dit systeem aangebracht dat, sedert de uitvinding in 1956, veel varianten heeft gehad.

De versie die we hebben besproken is *SECAM III-optimaal*.

Professor Fagot heeft door zijn uitgebreide kennis van de telecommunicatietechniek veel verbeteringen aangebracht. Het is dus een volledig gerijpt systeem. Alle mogelijke proeven heeft het ondergaan en het is experimenteel toegepast, zodat het SECAM-systeem in bepaalde landen de officiële norm is geworden.

Het is ook het eenvoudigste systeem en die eenvoud is een essentiële factor van economie en stabiliteit. Maar, zoals het ei van Columbus, men diende er maar op te komen!

Geen van de drie systemen is volmaakt, omdat de perfectie niet van deze wereld is. Onder heel normale exploitatievoorwaarden garanderen ze alle drie een uitstekende weergave van de kleurenbeelden. Hun eigenschappen verschillen echter, als het overdrachtstraject aan storingen onderhevig is. Dit alles belet ons echter niet, de schatten van vernuft te bewonderen die de ontwerpers aan de dag hebben gelegd bij de ontwikkeling van NTSC, PAL en SECAM, die we in chronologische volgorde hebben besproken.

HOOFDSTUK X

Dank zij de kennis, die onze twee vrienden tijdens de studie van de voorgaande hoofdstukken hebben verworven, kunnen ze nu met de details van een kleurentelevisie-ontvanger beginnen. Ze zullen daarbij achtereenvolgens de volgende onderdelen onderzoeken:

Middenfrequentversterker – Vertraginglijnen – Regeneratie van de hulpdraaggolf – Synchronodemodulatoren – Videoversterkers – Onderdrukking van de kleur – Transistorisering – Automatische versterkingsregeling voor de verzadiging.

DETAILS VAN EEN PAL-ONTVANGER

Het begint al bij de middenfrequentversterker

Vr. – De voordracht van prof. Radiolus heb ik geweldig interessant gevonden, maar naar mijn mening ontbrak er toch wat aan.

W. – Ik meen te weten waar je heen wilt, maar vertel het maar eens.

Vr. – Wel, ik heb een heleboel theoretische dingen geleerd over de verschillende compatibele televisiesystemen en hun eigenschappen. Ik zou echter graag wat dieper willen ingaan op de schakelingen van de ontvanger, die ons het meest interesseert, ik bedoel de PAL-ontvanger (zie fig. X.1).

W. – Je wist toch dat het gisteren een informatieve voordracht zou zijn, die bestemd was voor een groot publiek, zodat prof. Radiolus niet in details kon of mocht treden?

Vr. – Natuurlijk. Maar in feite verschilt een kleurenontvanger toch alleen van een zwartwit-ontvanger in het videogedeelte, als men de beeldbuis buiten beschouwing laat?

W. – Ja en nee.

Vr. – ???

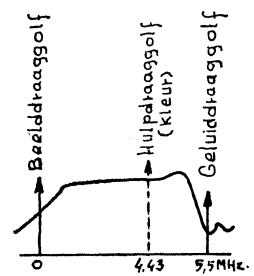
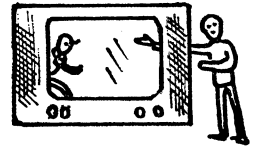
W. – Theoretisch is er tot aan de detectie geen verschil tussen de twee ontvangers. De constructeurs dienen evenwel een paar voorzorgsmaatregelen te nemen voor de middenfrequentversterker.

Vr. – Welke voorzorgsmaatregelen?

W. – Voor de monochrome televisie is de vorm van de MF-doorlaatkromme niet erg kritisch; het belangrijkste is, dat de geluidsdraaggolf voldoende onderdrukt wordt. Maar bij de kleurentelevisie is deze zone in het frequentiespectrum, juist het gebied waar zich de kleuren-hulpdraaggolf bevindt; de doorlaatkromme van de MF-versterker mag dus niet te vroeg en te abrupt dalen; het is zelfs wenselijk, dat de versterking over de gehele chrominantieband constant blijft.

Vr. – Als ik het goed begrijp, zal de MF-versterker moeilijker te realiseren zijn?

W. – Inderdaad, want de doorlaatkromme zal uiteraard in de omgeving van 5,5 MHz een steile daling vertonen, omdat zich daar de geluidsdraaggolf bevindt. Men loopt dus het risico, dat de bovenzijband van de chrominantie daardoor wordt aangetast. We hebben al gezien (hoofdstuk IX) dat met het PAL-systeem de eventueel optredende kwadratuurfouten worden gecompenseerd. Dit geschiedt echter ten koste van de verzadiging. Voor het geval dat de



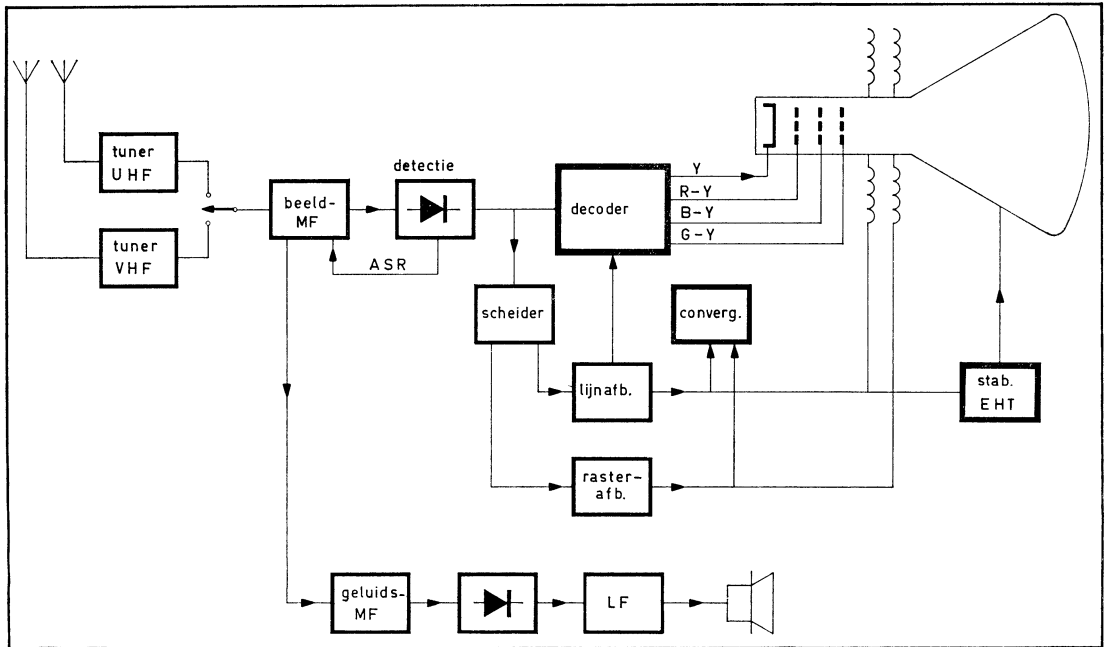


Fig. X.1. Funcieschema van een PAL-kleurenontvanger. De onderdelen, die t.o.v. een achrome ontvanger zijn toegevoegd en speciaal voor kleurfuncties zijn bestemd, zijn dik getekend.

afstemming aan drift onderhevig is, zal men *verzadigingsfouten* vaststellen, wat echter veel minder storend is dan het verschijnsel van *kleuroverspraak*, zoals bij NTSC.

Vr. – Maar dan kan toch een automatische versterkingsregeling (AVR) worden ingebouwd, die speciaal de kleurendraag golf beïnvloedt en bijv. kan worden gestuurd door de amplitude van de burst?

Decoder = luminantie + chrominantie

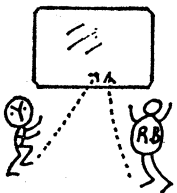
W. – Laten we naar de decoder overgaan, als je wilt. We zullen natuurlijk de PAL-DL-uitvoering onderzoeken (fig. X.2).

Vr. – Ik heb de werking ervan begrepen. Kun je me verklaren hoe hij wordt verwezenlijkt?

W. – Het probleem „dit is de functie, hoe kan die worden gerealiseerd met behulp van schakelingen?” behoort tot het domein van de algemene radiotechniek. We zullen het schema van een decoder hier dus niet ontleden. Hij bestaat hoofdzakelijk uit twee delen: het *luminantie-* en het *chrominantiegedeelte*.

Vr. – Dat spreekt vanzelf. We kunnen het luminantiegedeelte wel links laten liggen, aangezien dat een klassieke videoversterker is.

W. – Mis, beste vriend; hij is helemaal niet klassiek, want hij dient een aantal nieuwe functies te verwezenlijken, in het bijzonder moet hij de luminantie-informatie ongeveer $0,7 \mu\text{s}$ *vertragen*, om die luminantie gelijktijdig met de chrominantie op het beeldscherm te laten verschijnen, daar de laatstgenoemde met smalle bandbreedte wordt overgedragen.



Vr. – Nee toch! Het is de encoder van de zender, die deze vertraging invoert en niet de decoder van de ontvanger.

W. – Je hebt het niet helemaal mis, Vraagal, de encoder bevat inderdaad een vertraginglijn in het luminantiekanaal. Aan de uitgang zijn dan luminantie- en chrominantie-signalen in fase. Dat neemt niet weg, dat de decoder in de ontvanger *ook een vertraginglijn* moet bevatten, nl. voor het luminatiesignaal.

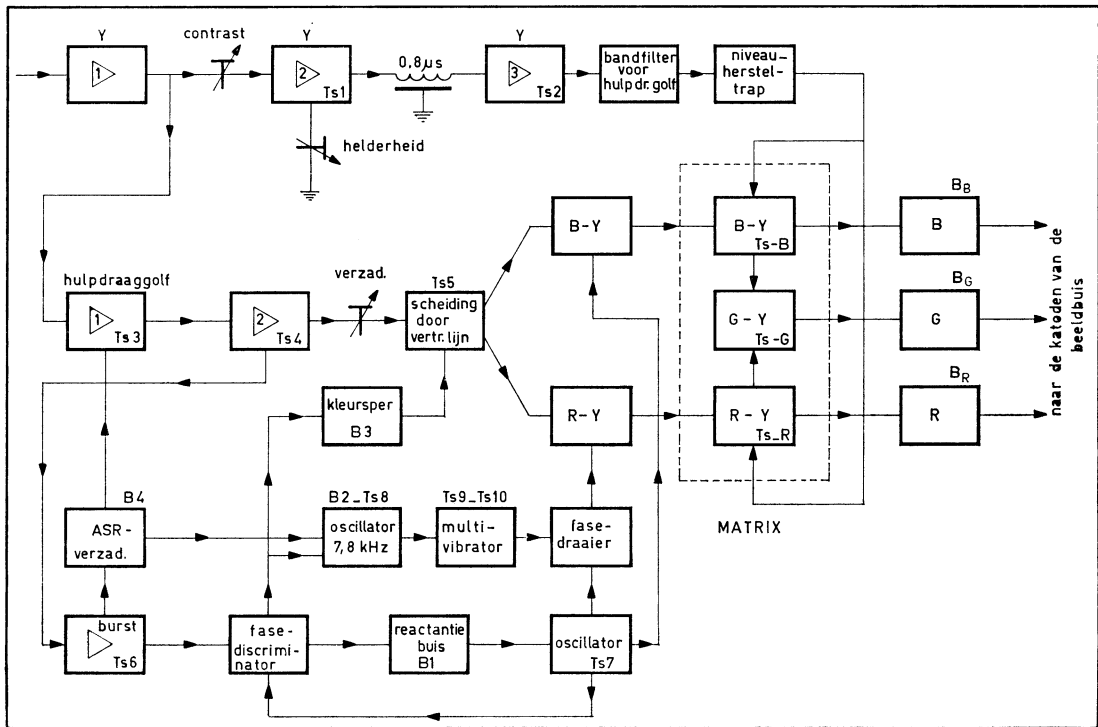


Fig. X.2. Blokschema van een PAL-decoder. De nummering van de transistoren en buizen correspondeert met de hiernavolgende detailschema's.

Vr. – Maar had men dan niet beter in de encoder een vertraginglijn kunnen plaatsen met een tweemaal langere looptijd, teneinde in de ontvanger een dergelijke lijn uit te sparen?

W. – Dat idee ligt voor de hand, beste vriend, men heeft het dan ook al veel vroeger voorgesteld.

Vr. – En zoals gewoonlijk wees de praktijk uit, dat het volslagen onzin is!

W. – Maak je niet boos, Vraagal, weet wel, dat eminente wetenschapsmensen dit idee ook hebben gehad!

Vr. – Ga je gang! Breek het maar af!

W. – Deze methode zou zeker met succes toegepast kunnen worden, indien de kleurenhulp-



draaggolf niet in amplitude zou zijn gemoduleerd. Een kleurovergang gaat vaak samen (bijna altijd) met een helderheidssprong. Als je de luminantie met $0,7 \mu\text{s}$ vertraagt, zal alles voor de kleurenontvanger goed verlopen, maar dan vergeet je de ongelukkige bezitter van een monochrome ontvanger. Wat zal die te zien krijgen?

Vr. – Ik snap het al. In het compatibele beeld komt het chrominantiesignaal gelijktijdig aan met het luminantiesignaal (aangezien er geen decoder aanwezig is). De „vooraf vertraagde” luminantie in de encoder zal naar de rechterkant van het beeld zijn verschoven over ongeveer $\frac{0,7 \mu\text{s}}{64 \mu\text{s}} \cdot 40 \text{ cm}$, dus ongeveer 4 mm voor een scherm met een breedte van 40 cm.

W. – Indien de kleurenhulpdraaggolf niet in amplitude zou zijn gemoduleerd, zou dit van geen enkel belang zijn. Men zal nu echter zeer duidelijk twee sprongovergangen, die op 4 mm afstand van elkaar liggen in, het zwartwit-beeld te zien krijgen.

Vr. – Ongeveer zoals bij een reflectie.

W. – Ja, of juist zoals het omgekeerde van een reflectiestoring, want het hoofdbeeld (luminantie) bevindt zich *rechts* van het geestbeeld (kleurenhulpdraaggolf). De luminantie-versterker heeft echter nog een andere functie te vervullen. Hij moet de kleurenhulpdraaggolf onderdrukken, want de aanwezigheid daarvan zou het kleurenbeeld storen.

In de kronkels van de luminantie

Vr. – Prof. Radiolus heeft dit onderwerp even aangeroerd, maar ik heb het niet goed be-

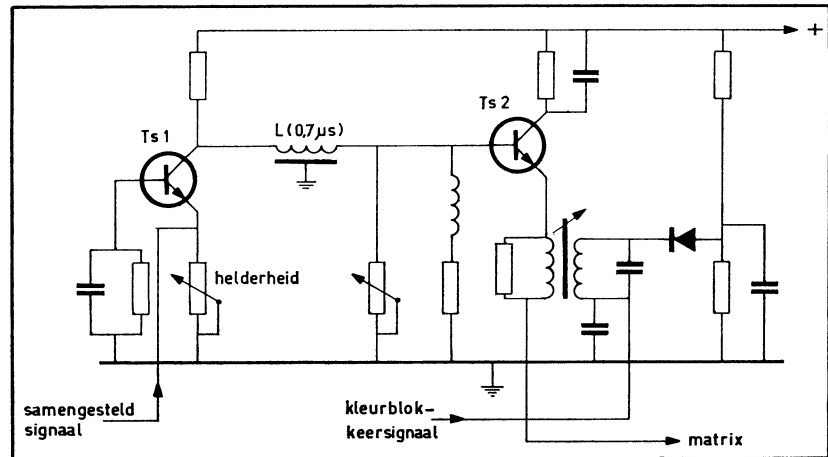


Fig. X.3. Luminantieversteker van de PAL-ontvanger.

grepen. Men zegt dat het systeem compatibel is, d.w.z. dat de zichtbaarheid van de kleurenhulpdraaggolf verwaarloosbaar is.

W. – Dat is waar voor de monochrome ontvangers, waarin de MF-versterker een zekere

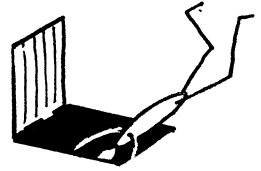
verzwakking van de kleurenhulpdraaggolf veroorzaakt. In de kleurenontvangers heeft genoemde versterker voor de kleurendoorlaatband een vlakke frequentiekromme. Daar hij toch speciaal wordt ontworpen, kost het niets, het beeld perfect te maken, door er een *kleuren-hulpdraaggolfsper* in aan te brengen.

Vr. – Dus de luminantieversterker is een videoversterker, waarin men een vertragsingslijn van $0,7 \mu\text{s}$ heeft aangebracht en een kringfilter voor het blokkeren van de kleurenhulpdraaggolf?
 W. – Dat is het bijna. Kijk even naar het schema (fig. X.3). Het complexe gedetecteerde signaal wordt voorversterkt door transistor Ts1, nadat de geluidsdraaggolf werd uitgefilterd en in de onontbeerlijke impedantie-aanpassing werd voorzien door middel van een transistor in geaarde-collectorschakeling. Na de vertragsingslijn L te hebben doorlopen, wordt de kleurenhulpdraaggolf uit het luminantiesignaal verwijderd door een afgestemde kring in de emitter van transistor Ts2. Merk op, dat deze „kleursper” slechts in werking wordt gesteld, als de kleurenhulpdraaggolf aanwezig is. Bij overdracht van een achroom programma wordt hij uitgeschakeld, zodat het luminantiekanal het signaal met de hoogst mogelijke definitie zal overbrengen. De in- en uitschakeling gebeurt natuurlijk automatisch. Het Y-signaal wordt vervolgens naar de matrix gevoerd voor het vormen van de signalen R, G en B.

Vr. – En wat gebeurt er met de kleurenhulpdraaggolf?

W. – Die werd reeds afgetakt bij de geaarde-collectorschakeling, die aan de tweede luminantieversterker (Ts1) voorafgaat. Hij wordt dan naar het chrominantiegedeelte van de decoder gevoerd.

Vr. – Dat deel van de decoder lijkt me verdraaid gecompliceerd . . .



Anatomie en Fysiologie van vertragsingslijnen

W. – Je kunt hierin de volgende functies herkennen: versterking van de kleurenhulpdraaggolf, aftakking van het salvo, scheiding van de chrominantiesignalen door een vertragsingslijn van $64 \mu\text{s}$, regeneratie van de kleurenhulpdraaggolf, synchroonmodulatie, matrixen voor het vormen van de primaire signalen, uitgangstrappen, kleursynchronisatie- en kleursperschakelingen. Laten we ze in dezelfde volgorde analyseren.

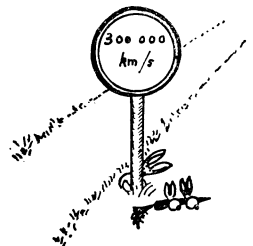
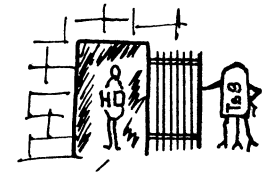
De kringen die bij de transistoren Ts3 en Ts4 behoren (zie fig. X.4), filteren de kleurenhulpdraaggolf uit het samengestelde signaal. Aan de uitgang van het laatste filter wordt het salvo afgetakt, versterkt en fasegedetecteerd. Dit signaal zal dienen voor de kleursynchronisatie en de blokkering van de chrominantiekringen. Via een *verzagings*potentiometer wordt aan de separatieschakeling, die een vertragsingslijn bevat (fig. X.5), een bepaald gedeelte van de kleurenhulpdraaggolf toegevoerd. Na versterking door transistor Ts5 wordt de kleurenhulpdraaggolf aan de ingang van de $64 \mu\text{s}$ -vertragsingslijn gelegd, door tussenkomst van een impedantietransformator.

Vr. – Hoe maakt men een dergelijke vertragsingslijn? Als ik me goed herinner, bepaalt het product van de doorlaatband en de vereiste vertraging het aantal elementen zelfinductie/capaciteit van de lijn. Dat aantal zal hier wel enorm groot zijn?

W. – Indien zo'n lijn uit dergelijke LC-elementen bestond, zou dat waar zijn. In feite past men een heel andere techniek toe. De elektromagnetische golven zijn moeilijk te vertragen, omdat hun snelheid te hoog is.

Vr. – Sneller kan het niet, omdat ze zich met $300\,000 \text{ km/s}$ voortbewegen.

W. – In het luchtledige wel. In een vertragsingslijn lopen ze echter niet zo snel. Men kan evenwel met nog veel tragere golven werken, die bijv. een snelheid van slechts enkele km per seconde hebben.



Vr. – Het verschil is vrij groot. Hoe legt men dat aan?

W. – Ken je dergelijke trage golven niet, Vraagal?

Vr. – Toch wel, geluidsgolven bijv. . . .

W. – Inderdaad, en meer in het algemeen: mechanische golven. Nu bestaan er grondstoffen, die piëzo-elektrisch worden genoemd, die in mechanische zin worden gedeformeerd als ze elektrisch worden aangestoten.

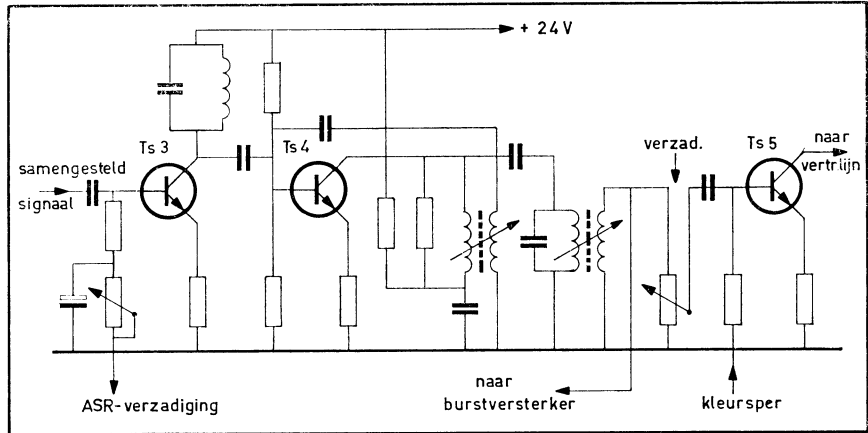


Fig. X.4. Kleurenhulpdraaggolversterker, 4,43 MHz.

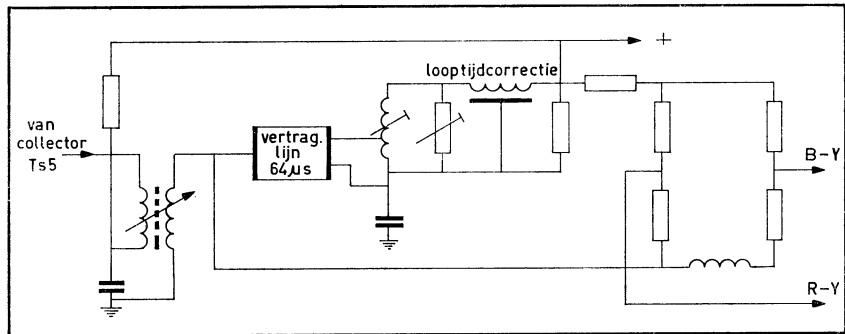
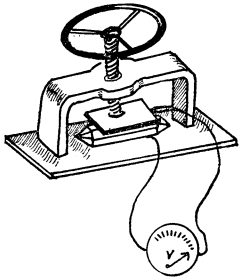


Fig. X.5. Scheiding van de twee hulpdraaggolven in (B-Y)- en (R-Y)-signalen m.b.v. een 64 μs-vertragslijn.



Vr. – Ik veronderstel, dat je het membraan van een luidspreker bedoelt?

W. – Dat beantwoordt wel aan de definitie, maar het is geen grondstof. Het zijn gefabriceerde voorwerpen. Nee, ik bedoelde het kwartskristal en een reeks keramische grondstoffen, waaronder de gepolariseerde titanaten. Omgekeerd geldt ook dat, als ze mechanisch worden vervormd, ze zich als elektriciteit-opwekkende generatoren gaan gedragen.

Vr. – Ik had er aan moeten denken. Daarom bouwt men ook kristaloscillatoren, want de mechanische kristalsystemen veroorzaken veel minder demping dan de zuiver elektrische systemen: men kan daardoor zeer hoge kwaliteitsfactoren verkrijgen.

W. – Voor ons geval zijn hoge kwaliteitsfactoren niet zo belangrijk. Men gebruikt de piëzo-elektrische grondstof slechts om de *elektrische golf in een mechanische om te zetten*. De mechanische trilling met de kleurenhulpdraaggolffrequentie is een *ultrasone trilling*, die volstrekt onhoorbaar is (fig. X.6). Deze trilling stoot dan een glasstaaf aan die een lengte van circa 20 cm heeft, waarin hij zich voortplant. Aan het andere uiteinde heeft men een tweede piëzo-elektrisch element, dat identiek is aan het eerste. Dit zijn de zogenoemde „transductoren” of *omzetters*.

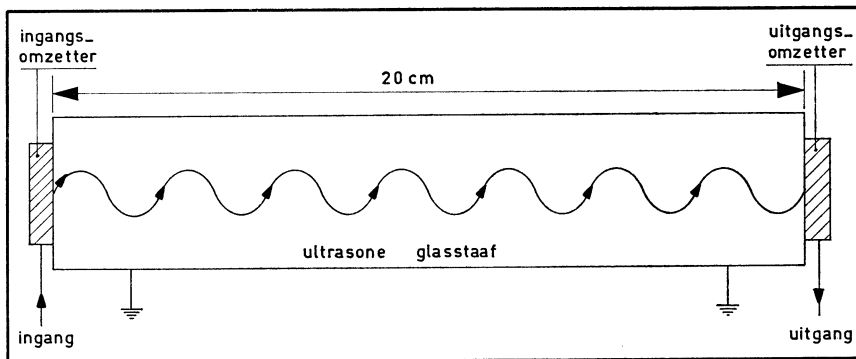


Fig. X.6. Transductoren en de ultrasone golf in de vertragslijn.

Vr. – Hoe bevestigt men het kristal op het glas?

W. – Men gebruikt bij voorkeur bariümtitanaat en men lijmt het op de uiteinden van de glasstaaf, die eerst gladgeslepen is. De samenstelling van het glas werd bestudeerd om een verhoging van de voortplantingssnelheid te verkrijgen als de temperatuur stijgt, waardoor de toename van de looptijd door de uitzetting van het glas wordt gecompenseerd. De vertraging blijft dus constant.

Vr. – Samengevat kan ik dus zeggen, dat een vertragslijn bestaat uit een glasstaaf van 20 cm lang, aan beide uiteinden voorzien van transductoren van bariümtitanaat.

W. – En de lengte van 20 cm komt overeen met het traject van de ultrasone golf. In het luchtledige zou het overeenkomende traject voor een elektromagnetische golf 20 km bedragen!

Vr. – Een dergelijke vertragslijn heeft toch geen zin?

W. – Wat bedoel je daarmee?

Vr. – Hij bezit ingang noch uitgang; men kan hem in beide richtingen gebruiken.

W. – Dat is toch het geval met alle passieve lineaire componenten!

Vr. – De lengte van de *luminantievertragslijn* zal dus

$$\frac{20 \text{ cm} \cdot 0,7 \mu\text{s}}{64 \mu\text{s}} = 2,2 \text{ mm}$$

moeten bedragen. Er is dan niet veel plaats over om te solderen!



W. – Helemaal niet! De vertragslijn in de luminatieversterker is *niet* van hetzelfde type: het is hier weer een *elektrische* vertragslijn met gespreide constanten. Hij moet een *brede* doorlaatband bezitten en niet slechts een smal frequentiegebied doorlaten, dat gecentreerd is op de frequentie van de kleurenhulpdraaggolf. Je zult dus geen moeilijkheden hebben met het solderen van de aansluitingen, want de zgn. „Y”-vertragslijn is circa 10 cm lang.

Demodulatie

Vr. – Wat gebeurt er met de uitgangsspanning?

W. – De fase en amplitude van het uitgangssignaal van de vertragslijn worden zodanig

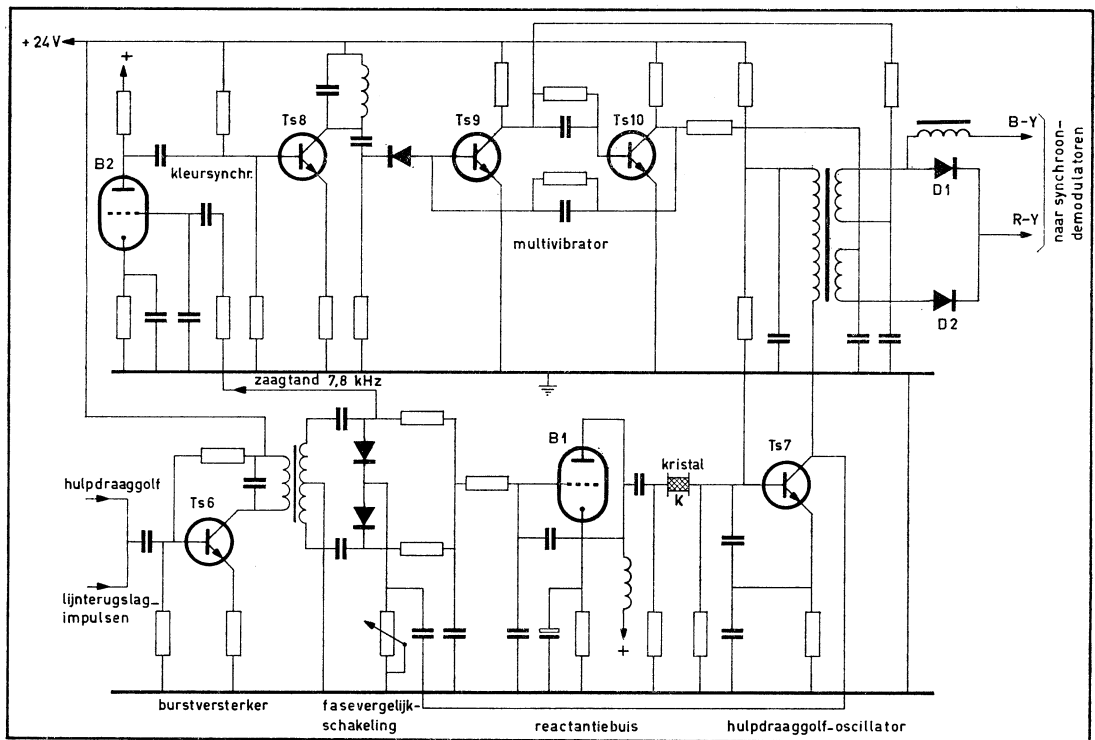


Fig. X.7. Regeneratie van de PAL-kleurenhulpdraaggolf in de ontvanger.

afgeregeld, dat een zeer nauwkeurige overeenkomst met die van het ingangssignaal wordt verkregen. De HF-signalen ($R - Y$) en ($B - Y$) worden teruggewonnen door *somming* van de kleurenhulpdraaggolven aan ingang en uitgang van de vertragslijn. De juiste faseverschuiving voor ($B - Y$) wordt verkregen door een variabele inductantie (fig. X.5).

De amplitudemodulatie door ($R - Y$) en ($B - Y$) vindt plaats met onderdrukte draaggolf. De detectie zal een synchroon-detectie zijn, omdat de regeneratie van de kleurenhulpdraag-

golf die vereist. Bekijken we nu fig. X.7. Voor die regeneratie wordt een kristaloscillator Ts7 gestuurd door een reactantietrap B1 (de gemiddelde frequentie wordt bepaald door het kristal K); de fase van het oscillatorsignaal wordt vergeleken met de burstfase met behulp van een comparator (vergelijkschakeling), waarvan het verschilsignaal aan de reactantiebuis B1 wordt gelegd.

De aldus fasegeregelde referentietrilling wordt met een onderlinge faseverschuiving van 90° naar de detectoren ($R - Y$) en ($B - Y$) gevoerd. Verder is het noodzakelijk, de referentietrilling van lijn tot lijn om te polen voor het sturen van de ($R - Y$)-demodulator, daar dit signaal volgens het PAL-principe in de encoder ook lijn om lijn over 180° wordt verschoven. Om dit te bereiken blokkeert een bistabiele multivibrator, die uit de transistoren Ts9 en Ts10 bestaat, de dioden D1 en D2, waardoor het signaal hetzij met de ene, hetzij met de andere

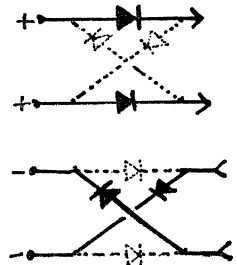
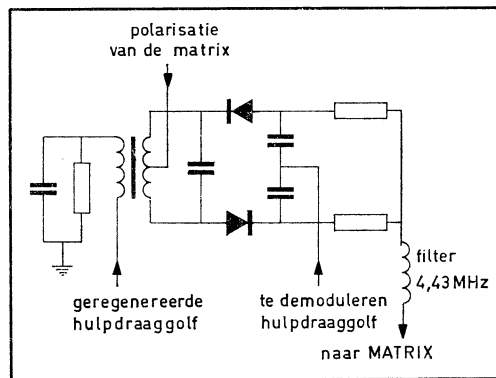


Fig. X.8. Synchroondemodulator in de PAL-ontvanger.



polariteit wordt doorgelaten. De multivibrator wordt via Ts6 getriggerd door de lijnterugslagimpulsen, terwijl het „in de pas brengen” wordt verzekerd door een signaal, dat is afgeleid uit de alternerende burst (kleursynchronisatie, B2 — Ts8).

De synchroondemodulatoren (fig. X.8) worden door de aldus opgewekte sterke referentiehulpdraaggolf gevoed, terwijl ze anderzijds de zwakke, door ($R - Y$) en ($B - Y$) gemoduleerde kleurenhulpdraaggolf krijgen toegevoerd. Door transformatie worden deze twee kanalen qua niveau in evenwicht gebracht.

In het rijk van Video

Vr. – Hoe krijgt men het „groene” signaal weer terug?

W. – De signalen ($R - Y$) en ($B - Y$) worden na de detectie en de filtering naar een matrix geleid (fig. X.9). Deze bestaat uit drie transistoren T_R , T_G , T_B . Aan de emitter van elke transistor wordt het Y -signaal gelegd via weerstandscircuits, die zodanig zijn ingesteld, dat aan de uitgang dezelfde signaalwaarden worden verkregen. Aan de basis van T_R en T_B worden de gedemoduleerde chrominantiesignalen toegevoerd en op de basis van T_G komt het signaal ($G - Y$) dat in een weerstandsmatrix wordt samengesteld, vanuit de bases van T_B en T_R .

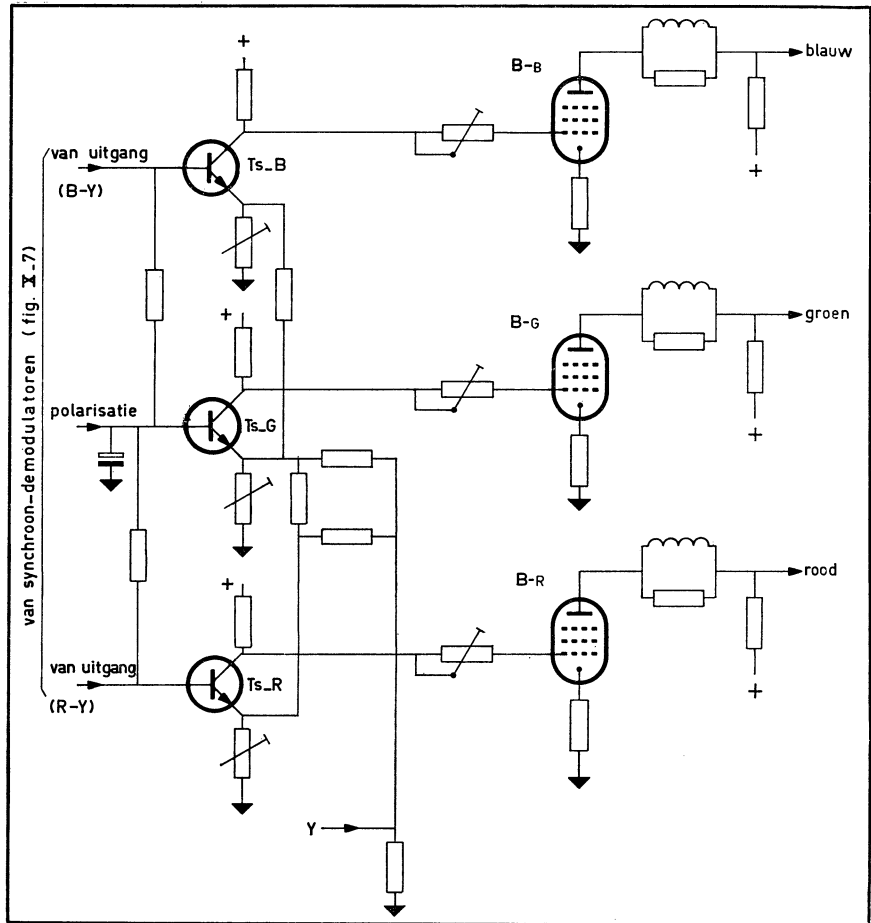


Fig. X.9. Matrix en uitgangstrappen voor blauw, groen en rood in de PAL-ontvanger.

Vr. – Ik meen daarin het schema van de matrix te herkennen, die de volgende bewerking uitvoert

$$-(G - Y) = \frac{1}{2} (R - Y) + \frac{1}{6} (B - Y)$$

Ik blijf na dit alles toch volhouden, dat de kleurentelevisietechniek verdraaid moeilijk is, wat jij ook mag beweren.

W. – Kom nou. Je raakt met al deze zaken, die nu nog nieuw voor je zijn, vlug genoeg vertrouwd. We zijn echter nog niet klaar!

Vr. – Zie je, daar heb je 't weer.

W. – We moeten nog over de uitgangsversterkers praten.

Vr. – Fijn. Als je uitgang zegt, dan is het einde van mijn zorgen nabij.

W. – Maak je maar geen illusies, Vraagal. Ik zal je ook nog vertellen over de kleursper en de automatische regeling van de verzadiging. Houd dus nog even vol!

De uitgangscircuits zijn hoofdzakelijk samengesteld uit drie pentoden B_R , B_G en B_B , die onmiddellijk op de drie transistoren T_R , T_G en T_B volgen. Zoals je zelf ziet, geschiedt de overdracht van de signalen, vanaf de synchroondemodulators tot aan de drie katoden van de beeldbuis door een *gelijkspanningsversterker*.

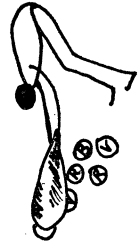
Vr. – Dat is nu echt weer eens wat men „moeilijkheden zoeken” zou kunnen noemen. Waarom gaat men niet tot een eenvoudige herstelling van de nulcomponent over, zoals in alle TV-ontvangers?

W. – Dat kan alleen worden toegepast op het Y-signaal, dat synchronisatiesignalen bevat. Voor de chrominantiesignalen zou men een kostbare klemschakeling moeten bouwen, zodat men uiteindelijk verkiest, de chrominantiesignalen door een gelijkspanningsversterker te sturen.

Vr. – Leg me nu de „kleursper” eens uit, want daar snap ik ook niets van.

W. – Dat is toch eenvoudig: bij afwezigheid van de kleurenhulpdraaggolf (dus als een achroom programma wordt ontvangen) moet men de decoder en de kleurenhulpdraaggolf-sper in de luminantieversteker uitschakelen.

Vr. – Akkoord voor dat kleurfilter (emitter Ts2), omdat ik op die manier een betere definitie verkrijg, maar hoe moet dat nu met de decoder?



De kleuren verzwakken of versterken

W. – Omdat er via de decoder storingen, ruis en zelfs luminantiecomponenten kunnen door-

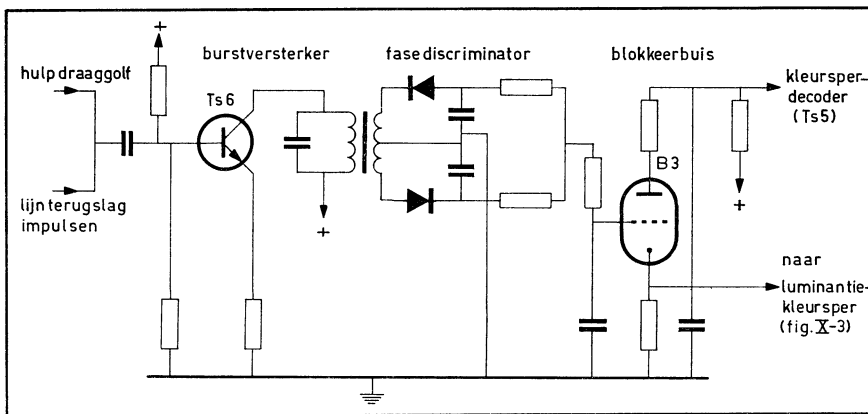


Fig. X.10. Blokkeerschakeling voor de kleurfuncties bij PAL.

dringen, als deze laatste zich in de nabijheid van de chrominantiedoorlaatband bevinden, moet ook hij worden uitgeschakeld.

Vr. – Hoe doet men dat?

W. – Men gebruikt weer eens het gedetecteerde salvo (burst, fig. X.10). Als het afwezig is (achroom programma) zal de triode B3, die normaal is afgeknepen, geleidend worden en

zijn anodespanning zal de derde transistor in de kleurenhulpdraaggolfversterker blokkeren (Ts5 in fig. X.4). Dezelfde spanning schakelt ook de kleursper in de luminantieversterker (fig. X.3) via de diode uit.

Vr. – Je hebt ook nog over een AVR voor de verzadiging gesproken. Hoe realiseert men die?

W. – Hiervoor wordt nogmaals een beroep gedaan op het alternerende salvo.

Vr. – Die alternerende burst is werkelijk het „manusje-van-alles” in het PAL-systeem!

W. – Laten we zeggen dat zijn mogelijkheden tot het uiterste worden uitgebuit. De amplitude van het salvo wordt gedetecteerd door een gelijkrichter (fig. X.11). De gelijkgerichte spanning wordt aan het rooster van de triode B4 gelegd. De katode van deze laatste is verbonden met de basis van de eerste kleurenhulpdraaggolfversterker (Ts3 in fig. X.4). De versterking van deze trap zal dalen als de gelijkgerichte spanning stijgt.

Vr. – We hebben nu dus praktisch gesproken de hele ontvanger onderzocht.

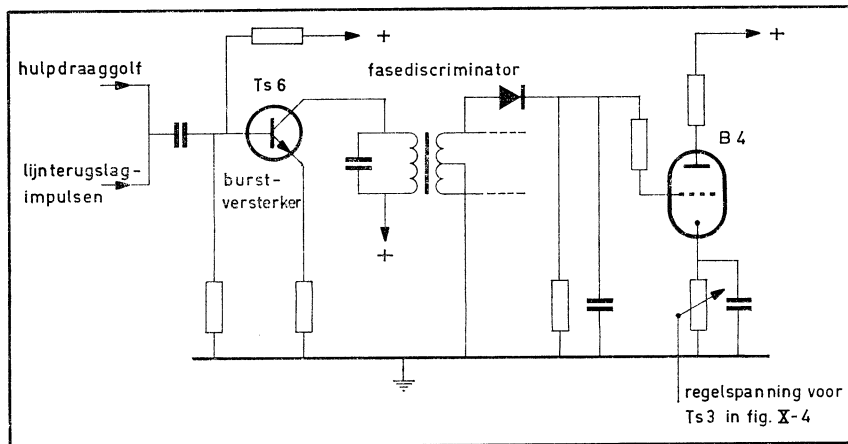


Fig. X. 11. ASR-schakeling voor de verzadiging bij PAL.

W. – Eigenlijk niet. We hebben de decoder vrij gedetailleerd besproken, omdat de studie ervan fundamenteel is voor het begrijpen van zijn werking. We hebben echter helemaal niet gesproken over de afbuigingen en de voeding.

Vr. – Kom nou. Dat weet ik toch al sedert ik me met de achrome televisie bezighoud!

W. – Niet helemaal, beste jongen. Je zult in de praktijk snel ervaren, dat de kleurentelevisieschakelingen veel complexer zijn en meer vermogen vereisen.

Vr. – Er zit mij in dit alles toch iets dwars.



Vaste stoffen in plaats van het luchtledige

W. – Laat es horen.

Vr. – Je zult moeten toegeven dat, in onze moderne tijd, een nieuw ontvangerontwerp dat nog met buizen is uitgerust, enigszins ouderwets aandoet.

W. – Je moet rekening houden met het feit, dat de schema's, die ik je heb getoond slechts

schakelvoorbeelden waren. Als ze transistoren en buizen gemengd toepassen, is dat hoogstwaarschijnlijk omdat het tegenwoordig nog niet anders kan. In sommige gevallen bestaan de transistoren wel (bijv. voor de eindtrappen) maar ze zijn dan veel te duur. Je dient ook nog te weten, dat er op dit moment nog geen *volledig* getransistoriseerde ontvangers bestaan, in ieder geval niet voor de grote beeldformaten.

Vr. – Waarom niet?

W. – Wegens de lijnafbuigingen, die een veel groter vermogen vereisen dan bij de achrome ontvangers. Ook de aanzienlijke stroom, die door de EHT-bron wordt geleverd, vereist een regulatie die slechts met een vermogensbuis kan worden bereikt.

Vr. – Maar waarom wil je nu de EHT gaan reguleren?

W. – Je herinnert je toch nog wel, dat de trajecten van de elektronen in een schaduwmaskerbuis zeer stabiel moeten zijn, zodat de elektronen zich niet in de fosforstippen kunnen vergissen?

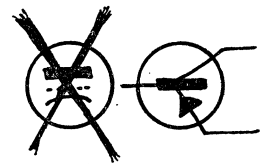
Vr. – Ik heb het door! Als de EHT varieert als functie van de elektronenstraalstroom (d.w.z. als functie van de beeldinhoud) dan loopt men het risico kleurzuiverheidsfouten op te wekken.

W. – Inderdaad.

Vr. – Anders gezegd, de kleurentelevisie wordt gekenmerkt door een achteruitgang, wat de technologie van de gebruikte onderdelen betreft.

W. – Ja en nee. De halfgeleidertechniek gaat met reuzeschreden vooruit en alles wat ik je heb verteld, heeft alleen betrekking op de schaduwmaskerbuis. Een nieuwe constructie van de kleurenbeeldbuis zal weldra leiden tot een volledig getransistoriseerde ontvanger.

Vr. – Je bedoelt de ontwikkelingen, die door de rondleider van het „Museum van de Elektronenbuis” werden aangekondigd? Laten we hopen, dat ze zich binnen afzienbare tijd zullen voltrekken, want het compromis tussen een koploper van de vooruitgang – de kleurentelevisie – en de techniek van de elektronenbuizen, die weliswaar het bewijs van hun bruikbaarheid hebben geleverd, maar die nu toch wel voorbijgestreefd zijn, hindert me meer dan je denkt!



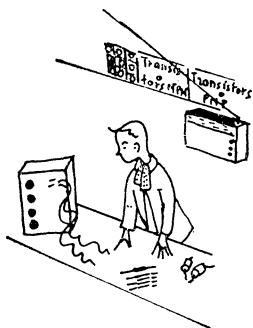
HOOFDSTUK XI

De ingewikkelde constructie van een kleurentelevisie-ontvanger vereist uiteraard een zeker aantal specifieke instellingen. Weetal zal proberen zijn jonge vriend ervan te overtuigen dat, als men methodisch te werk gaat en als men in het bezit is van de juiste beeldsignaalgenerator, men een dergelijke ontvanger in circa 20 minuten kan afregelen. Hij zal de volgende onderwerpen bespreken:

Instelling van de kleurzuiverheid – Statische convergentie – Dynamische convergentie – Instelling van de grondtint – Kleurbalken-toetsbeeld – Is het je nu duidelijk?

INSTALLATIE EN AFREGELING VAN KTV-ONTVANGERS

SPECIALE MEET- EN CONTROLE-APPARATUUR



Vraagal verwacht moeilijkheden

W. – Goeie morgen, Vraagal. Je „lab” is goed ingericht, zeg.

Vr. – Hallo, Weetal. Is het de eerste keer dat je in mijn werkplaats komt?

W. – Ja. Ik stel met genoeg vast, dat je na onze veelvuldige discussies over radio- en televisietechniek, nu tot de technische middenklasse bent gaan behoren.

Vr. – Dank zij jou. Jij hebt me geestdriftig voor de elektronika gemaakt, zodat ik me als radiotechnicus heb ingericht. Ik doe het echter hoofdzakelijk voor het genoeg, dat ik eraan beleef. Ik verkoop en repareer radio- en televisie-ontvangers. Maar om eerlijk te zijn moet ik toegeven, dat ik minder en minder knutsel, omdat het allemaal niet zo gauw defect raakt.

W. – Dát is nu de technische vooruitgang.

Vr. – Het resultaat is, dat ik veel vrije tijd heb, die ik in mijn studeerkamer doorbreng. Ik vind de kleurenontvangers veel gecompliceerder dan de klassieke zwartwit-ontvanger. Ik heb zo de indruk, dat ik straks heel wat meer werk zal hebben, want ik neem aan, dat er veel ingewikkelde instellingen moeten worden verricht.

W. – Overdrijf toch niet zo! De instellingen aan een kleurenontvanger zijn natuurlijk talrijker en kwetsbaarder dan die aan een achrome-ontvanger. Je hoeft echter toch geen supermens te zijn om ze behoorlijk onder de knie te krijgen. Een radiotechnicus, die zijn vak goed kent, zal heel vlug aan deze nieuwe techniek gewend raken en dit des te meer daar er toetsbeelden bestaan, welke speciaal voor de kleurentelevisie werden ontwikkeld. Tenslotte is een kleurenontvanger niets anders dan een zwartwit-ontvanger, waarin men een gedeelte van de videocircuits en de beeldbuis door iets nieuws heeft vervangen. Alles wat betrekking heeft op de antennes, de afstemming, MF-versterkers, detectie en geluid blijft onveranderd, zodat je hiermee al vanaf het begin vertrouwd bent. Waar je waarschijnlijk de meeste moeite mee zult hebben, is de beeldbuis en de bijbehorende schakelingen.

Op zoek naar kleurzuiverheid

Vr. – Zou je me enkele richtlijnen kunnen geven, bijv. over de instelling van de kleurzuiverheid?

W. – Dat kan. Je dient je ervan te overtuigen, dat de elektronen uit een bepaald kanon (we zullen als voorbeeld rood nemen, omdat tintafwijkingen hier het best zichtbaar zijn) uitsluitend de desbetreffende fosforstippen treffen. Daarom stellen we de twee andere kanonnen even buiten werking. De meeste ontvangers bezitten schakelaars voor het onderbreken van de straalstroom. Is dit niet het geval, dan kun je het afknippen van het straalstroomsysteem bewerkstelligen door de wehneltspanningen klein genoeg te maken. Om eventuele afwijkingen goed waar te nemen, mag geen beeld worden opgewekt, d.w.z. dat het signaal, dat aan de ontvanger wordt toegevoerd alleen synchronisatiesignalen mag bevatten. Dat kan gemakkelijk worden verkregen met behulp van een elektronische toetsbeeldgenerator voor zwart-wit. Wat zul je op het scherm zien?

Vr. – Helemaal niets.

W. – Goed. En als je de wehneltspanning van het rode kanon boven zijn normale waarde instelt?

Vr. – Dan zou het scherm geheel rood moeten worden.

W. – Dat hoop ik, want in dat geval zou de kleurzuiverheid volmaakt zijn. Als je echter een gele vlek ziet, wat betekent dat dan?

Vr. – Als ik me de driehoek van Maxwell goed herinner en de proefnemingen in het Uitvindersmuseum, wordt geel verkregen door menging van rood en groen.

W. – Juist. In een ontvanger betekent dit verschijnsel, dat de elektronen uit het rode kanon ook de groene luminoforen treffen.

Vr. – Kan ik daar wat aan veranderen?

W. – Ja. Eerst en vooral zorgvuldig de ontvanger demagnetiseren met een inductiespoel, die door wisselstroom wordt gevoed. Overtuig je ervan, dat de kleur in het midden van het scherm zuiver is, dus dat de lichtvlek in het centrum een rode cirkel is.

Vr. – En als dat niet zo is?

W. – Dat kan voorkomen en dat betekent, dat het afbuigjuk niet meer op zijn plaats zit. Waarschijnlijk is het tijdens het transport verschoven.

Vr. – Nou goed. Dan schuif ik het weer op zijn plaats, maar daarvoor moet je met z'n tweeën zijn.

W. – Waarom? Zo moeilijk is dat toch niet?

Vr. – Maar hoe kan ik weten of het juk op zijn juiste plaats staat als ik de rode vlek in het centrum niet kan zien. Je moet met z'n tweeën zijn, één voor en één achter de ontvanger.

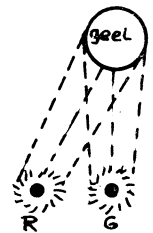
W. – Mij goed, als je je een hulp kan veroorloven, zoniet, dan zou je ook een spiegel kunnen gebruiken.

Vr. – Verdraaid, dat is waar ook. Daar had ik eerder aan moeten denken ... dus mijn scherm is nu, door een eenvoudige instelling egaal rood.

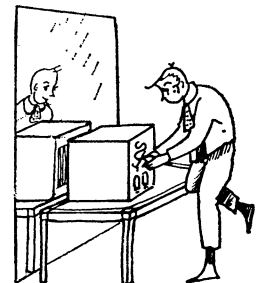
W. – Loop toch niet zo vlug van stapel, het scherm is in *het midden* volmaakt rood maar het kan aan *de kanten* nog vlekken vertonen.

Vr. – Mooi zo. Moeten we nu ook nog de spoelen gaan verwringen?

W. – Dat raad ik je niet aan, des te minder, omdat de beeldbuizen voorzien zijn van een *kleurzuiverheidsring*, een magneetje dat men gewoon dient te draaien tot het scherm geheel rood is en zonder vlekken. Het gaat hier om twee magneetringen: door ze onderling te verdraaien, regelt men de sterkte van het magnetische veld; door ze samen te draaien wijzigt men de richting van het veld.



Rood + groen = geel



Vr. – Goed, ik heb het gesnapt. Ik regel de zuiverheid in het centrum en aan de kanten van het scherm af. Dan zet ik de ontvanger bij de andere in het magazijn, tot ik hem kan verkopen.
 W. – Dat zou ik maar niet doen. Regel je ontvangers niet af vóór je ze in het magazijn zet. Dat is verloren moeite.

Vr. – Bedoel je misschien, dat ik alle instellingen moet uitvoeren onder het spottende oog van de klant?

W. – Waarom niet? Hij zal je er later dankbaar voor zijn. Zie je, een kleurenbeeldbuis is zo gevoelig als een kompas. Als je hem afregelt voor een bepaalde waarde en richting van het aardmagnetisme, dan zal je instelling niet doeltreffend meer zijn als je de ontvanger enigszins draait.*

Vr. – Om je hoofd bij te verliezen . . . ! Ik denk dat ik mijn zaak ga verkopen.

Er is convergentie en convergentie

W. – Je hoeft niet te wanhopen, Vraagal, in twintig minuten regel je (bij de klant thuis) alles wat nieuw en speciaal is, en alles wat de kleuren betreft, af. Ik heb je vijf minuten gegeven voor de kleurzuiverheid. Nu krijg je er vijf voor *de convergentie*.

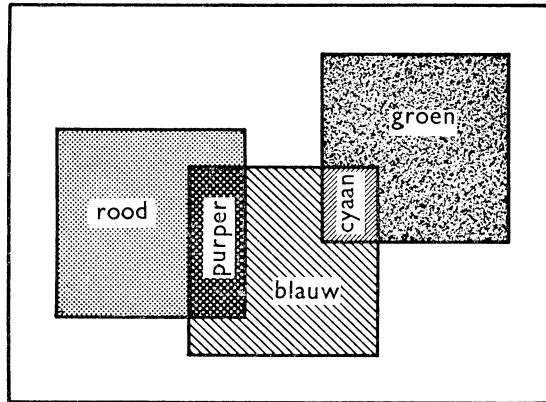


Fig. XI.1. Statische-convergentiefout, die kan worden vastgesteld door controle van het witte punt midden op het scherm. In feite ziet men drie punten, die elkaar slechts gedeeltelijk overlappen.

Vr. – Convergentie wil, als ik me niet vergis, zeggen de nauwkeurige meetkundige superpositie van de drie primaire kleurenbeelden? Hoe doet men dat?

W. – Aan de ingang van de ontvanger voert men een elektronisch toetsbeeldsignaal toe, waardoor op het scherm witte verticale en horizontale lijnen op een zwarte achtergrond verschijnen (ruitjespatroon). Beter nog is het, de lijnen te vervangen door witte vierkante punten (puntpatroon). Men controleert de kruising van twee lijnen (of het witte punt) *in het centrum van het scherm*. Men moet alleen een klein wit vierkantje zien; als de convergentie niet wordt ingesteld zal men in het algemeen *drie* vierkantjes waarnemen (rood, groen en blauw) die elkaar eventueel gedeeltelijk overlappen.

* Zie de voetnoot op blz. 66.

Vr. – Diezelfde fout zie je soms bij slechte kleurendruk.

W. – Met dit verschil, dat de drukker zijn tijdschrift niet voorziet van een stel magneten om de dekking te verbeteren.

Vr. – Wat is het doel van deze magneten?

W. – Ze zijn aangebracht rondom de hals van de beeldbuis, tussen de elektronenkanonnen en het afbuigjuk.

Vr. – Ik zal mijn spiegel maar weer tevoorschijn halen.

W. – Daar zul je goed aan doen! Je hebt vier magneten:

- de eerste verplaatst het rode vierkantje over 60° ;
- de tweede beïnvloedt het groene blokje en verschuift het in tegengestelde zin (dus eveneens over 60°);
- de derde doet het blauwe vierkantje stijgen of dalen;
- de vierde en laatste verschuift het blauwe punt horizontaal naar links en rechts.

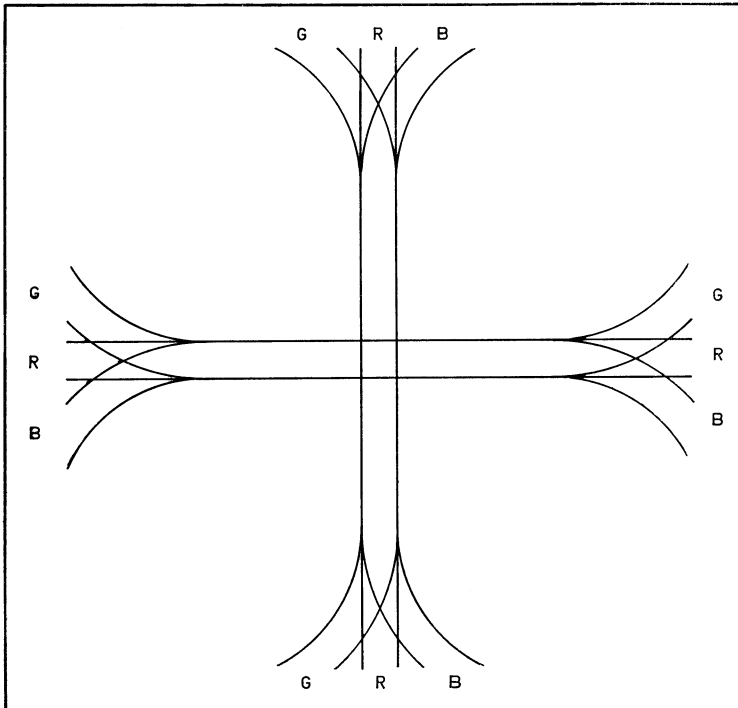
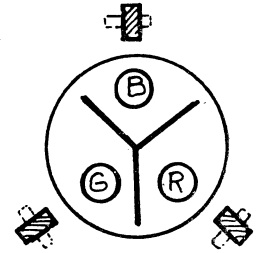
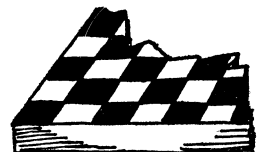


Fig. XI.2. Dynamische convergentiefout aan de randen van het beeld. In het midden is de dekking goed.

Vr. – Eigenlijk is het niet ingewikkelder dan het schaakspel. Alleen moet je weten, dat ik met moeite het damspel onder de knie heb gekregen.

W. – Maak je niet druk, Vraagal. Door eerst de eerste twee magneten in te stellen en het blauwe kanon te onderdrukken, kun je een zuiver geel vierkantje verkrijgen, zonder groene



of rode zomen. Je stelt het blauwe kanon nu weer in werking en je regelt de laatste twee magneetjes zodanig af, dat het blauwe punt boven op het gele wordt geplaatst, d.w.z. dat een wit vierkantje wordt verkregen, zonder gekleurde biesjes.

Vr. – En hoepla, de convergentie is ingesteld!

W. – Je vergeet één woord, beste vriend!

Vr. – Welk woord?

W. – Je had moeten zeggen: „de *statische* convergentie is ingesteld.” Want niets belet de rode, groene en blauwe lijnen, die vanuit dit vierkantje vertrekken, naar de randen toe uiteen te lopen!

Vr. – Dit betekent dat er bovendien nog een . . .

W. – . . . *dynamische* convergentieregeling bestaat. Jawel.

Vr. – Ik zal mijn zaak toch maar verkopen!

W. – Daarvoor is het nog niet het meest geschikte ogenblik! Wacht met je beslissing tot ik met mijn uitleg gereed ben. Trouwens, de dynamische convergentie is niet zo ingewikkeld als je wel denkt. Die wordt ingesteld door de stroom in kleine spoeltjes, die de baan van de elektronenstralen wijzigen, te variëren. Deze instelling gebeurt door middel van potentio-meters, die binnen in de ontvanger zijn geplaatst en waaraan uitsluitend door de technicus mag worden gedraaid. Je kunt je spiegel dus weer aan de kant zetten en blindelings de richtlijnen van de fabrikant, die in de servicedocumentatie zijn afgedrukt, volgen.

Vijf minuten voor het instellen van de grondtint

Vr. – Je hebt me twintig minuten gegeven voor de afregeling van een ontvanger. Er zijn er reeds tien voorbij; ik heb dus nog recht op tien minuten.

W. – Goed gerekend, Vraagal. Het spreekt echter vanzelf, dat je vooraf alle instellingen hebt uitgevoerd, die voor een zwartwit-ontvanger vereist zijn: instelling van de afbuig-frequentie, centrering en lineariteit. Ik zeg met nadruk: *vooraf*, want al deze instellingen beïnvloeden elkaar. Van de overblijvende tien minuten zullen we er vijf gebruiken voor de instelling van *de grondtint*.

Vr. – Wacht even, want nu begrijp ik het niet meer. Ik heb overal gelezen dat men met de moderne kleurentelevisiesystemen PAL en SECAM, de tint niet meer behoefde in te stellen.

W. – Je hebt alweer een woord over het hoofd gezien. Ik heb gezegd de *grondtint*.

Vr. – Een vrij subtiele nuance, moet ik zeggen.

W. – In de beeldbuis bevinden zich drie kanonnen. Je gaat er waarschijnlijk wel mee akkoord dat, als er geen videosignaal aanwezig is, het scherm zwart moet zijn. Dit betekent dat de elektronenstromen van de *drie* kanonnen *gelijktijdig* nul moeten worden.

Vr. – Dat ligt nogal voor de hand.

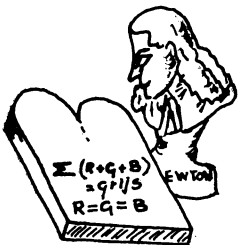
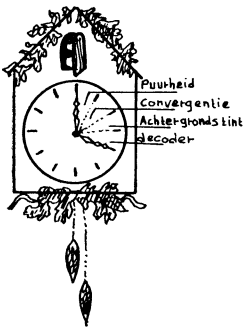
W. – Worden de drie kanonnen uitgestuurd door hetzelfde videosignaal, d.w.z. als $R = G = B$, dan moet het scherm een neutrale grijze kleur vertonen, en zelfs wit worden als de video-signalen de maximumwaarde bereiken.

Vr. – Dat klopt met de wet van Newton, die bepaalt dat de samenstelling van de drie pri-maire kleuren in gelijke hoeveelheden, neutraal grijs moet opleveren.

W. – Juist, maar ook, omdat de drie primaire kleuren voor dit doel werden gekozen. Voor de beeldbuis betekent dit, dat de stroom/helderheidskarakteristieken van de drie kanonnen over het gehele uitsturinggebied identiek moeten zijn, hetgeen een grijze gradatietrap zonder kleurdominanten zal opleveren.

Vr. – Hoe kunnen we dat te weten komen?

W. – Heel eenvoudig. Door eerst de rasterafbuiging te onderbreken, waardoor een zeer



heldere horizontale streep in het midden van het scherm verschijnt; dan regel je de schermroosterspanning van de beeldbuis af (g_2) tot je bijna het afknijppunt van de kanonnen bereikt. Vervolgens schakel je de rasterafbuiging weer in en regel je de wehneltspanning af, zodat het wit zo zuiver mogelijk wordt, zonder overheersende tinten. Deze instelling wordt veel gemakkelijker als je over een toetsbeeldgenerator beschikt, die een zaagtandsignaal aflevert, dat synchroon is met de lijn- of rasterfrequentie. Je ziet dan onmiddellijk welke kanonnen eventueel slecht zijn ingesteld, waardoor je dadelijk kunt ingrijpen.

Er bestaan voor de servicewerkplaats speciale generatoren van diverse fabrikaten, die o.a. een convergentiepatroon en een gradatietrap opwekken.

Vr. – Tot nog toe kon ik de instelling van de kleurzuiverheid, de convergentie en de grondtint uitvoeren met de meetapparatuur die ik reeds bezit.

Aan de kant van de encoder

W. – Dat kun je ook met het toetsbeeld dat door het Nationale Televisiecentrum wordt uitgezonden. We zullen overigens verderop nog zien, dat je heel wat minder werk zult hebben,

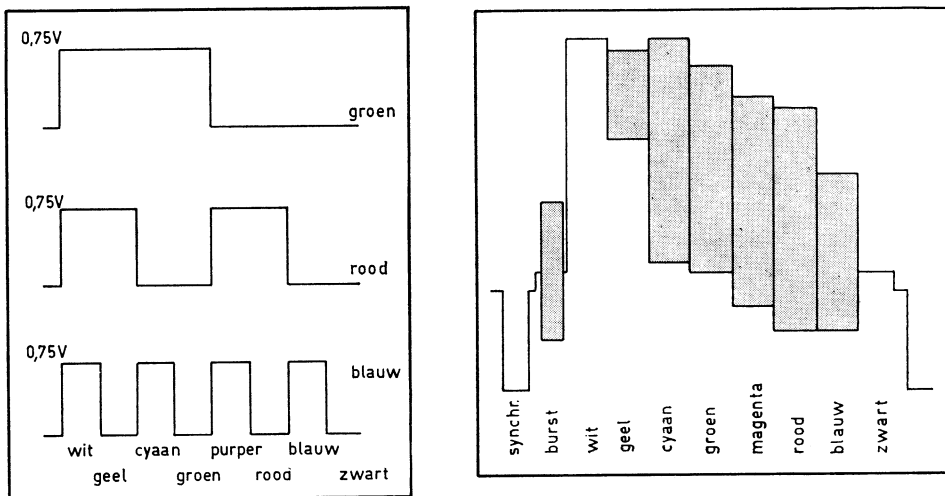


Fig. XI.3. Links: signaalvormen van de drie primaire kleurspanningen met 75%-amplitude. Optelling van deze signalen levert *het kleurenbalkensignaal*.

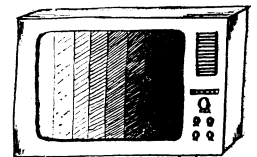
Rechts: samengesteld signaal met 75% amplitude, zoals dit op een oscilloscoop wordt weergegeven.

als je overgaat tot de aankoop van een servicegenerator of eventueel tot een kleurbalkengenerator, die een beeld opwekt, zoals dat van het Nationale TV-centrum.

Vr. – Waaruit bestaat dat toetsbeeld?

W. – Uit acht verticale balken, die van links naar rechts de volgende kleuren hebben:

wit, geel, cyaan, groen, magenta, rood, blauw en zwart.



Je hebt natuurlijk al gemerkt, dat de kleuren volgens afnemende helderheid werden gerangschikt. Ze zijn alle 100% verzadigd (behalve wit, denk aan de draaggolfversturing, fig. XI.3 rechts, en zwart natuurlijk). Men verkrijgt ze door menging van eenvoudige primaire kleursignalen. De amplitude van de primaire signalen kan ook 75% of 30% van de nominale waarde bedragen (d.w.z. dat het wit in feite een grijswaarde is van 75% of 30%, alhoewel het wit soms ook op 100% wordt ingesteld, terwijl de amplitude van de zeven andere balken op 75% of 30% zijn afgeregeld).

Vr. – Waarvoor kunnen die balken worden gebruikt?

W. – Om de goede werking van de decoder na te gaan. Je hebt er nog vijf minuten voor over want je hebt een kwartier voor de kleurenbeeldbuis nodig gehad.

Vr. – Laten we dan maar opschieten!

W. – Dat is helemaal niet nodig. Heb je de belangrijkste onderdelen van een decoder nog in je hoofd?

Vr. – Ik zal ze opnoemen en proberen er niet een te vergeten. Van ingang tot uitgang:

- het luminantiekanaal met de *Y*-vertragsingslijn en de kleuren-hulpdraaggolfblokkering;
- het kleurenhulpdraaggolffilter met de automatische regeling van de verzadiging;
- het separatiesysteem van de chrominantie-informatie met de vertragsingslijn;
- de regeneratie van de hulpdraaggolf met de regeling van de fase en de omschakeling;
- de synchroondemodulators;
- de matrix en de uitgangsversterkers.

W. – Wel alle drommels! Je zult er gauw net zoveel van weten als ik.

Vr. – Was het maar waar. Je wilt me dus laten geloven dat het mogelijk is, dat alles in vijf minuten af te regelen?

W. – Nee, niet afregelen, want dat is reeds in de fabriek gedaan. Maar daar je een gewetensvol radiotechnicus bent en je bovendien een kleurbalken- of een regenbooggenerator hebt, moet je nagaan of alles goed functioneert.

Vr. – Een gewetensvol radiotechnicus, die een regenboog heeft, is dat zoiets als een technicus die met zijn hoofd in de wolken loopt?

W. – Maar Vraagal toch, wat ben je prikkelbaar vandaag! Een regenbooggenerator is een toestel, dat alle kleuren opwekt, zoals een kleurbalkengenerator; alleen lopen de kleuren geleidelijk in elkaar over, zoals bij een regenboog. Je zult ook nog een kwaliteitsoscilloscoop nodig hebben. Je gaat dus na of de kleuren-hulpdraaggolfsper goed is ingesteld en of hij automatisch wordt uitgeschakeld als de hulpdraaggolf wordt onderbroken. Belangrijk is de instelling van de fase- en amplitudengelijkheid van het rechtstreekse en het vertraagde signaal, om een correcte scheiding van de chrominantie-informatie te verkrijgen. Merk op, dat het PAL-effect ook op een oscilloscoop kan worden nagebootst, door de tijdbasis zodanig in te stellen, dat er een oneven aantal lijnen wordt geschreven. Hierdoor worden de lijnen van het NTSC-type (met *R* — *Y* positief) gesuperponeerd met de lijnen van het PAL-type (met *R* — *Y* negatief). De controle van de juiste fase- en amplitudengelijkheid gebeurt dan door de uitgang van de vertragsingslijn kort te sluiten en de ingang ervan te controleren met dezelfde tijdbasisinstelling, samen met de elektronische loop (multiplier).

De laatste drie minuten

Vr. – Hoeveel tijd blijft er nog over?

W. – Nog drie minuten.

Vr. – En wat moet er nog worden gedaan?

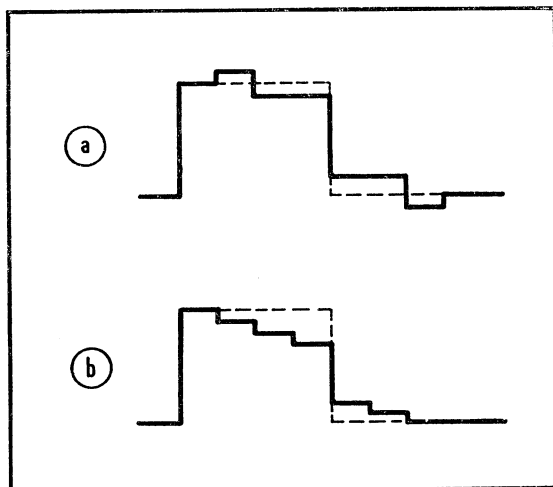
W. – Bijna niets meer. Je dient nog even de juiste werking van de „groen”-matrix en de juiste luminantie/chrominantie-verhouding (d.w.z. van de verzadiging) te controleren.

Vr. – Ik wou er al eerder iets over vragen. Daar we de $(R - Y)$ -, $(B - Y)$ - en $(G - Y)$ -signalen moeten hebben om de schaduwmaskerbuis uit te sturen en in het ontvangen signaal alleen $(R - Y)$ en $(B - Y)$ voorkomen, meen ik te mogen vaststellen, dat door één of ander tovermiddelje $(G - Y)$ wordt opgewekt.

W. – Er komt helemaal geen toverij aan te pas! Het $(G - Y)$ -signaal wordt samengesteld met behulp van $(B - Y)$ en $(R - Y)$ en, om precies te zijn, kan ik je zeggen dat men hiertoe 0,51 $(R - Y)$ optelt bij 0,19 $(B - Y)$, wat $-(G - Y)$ oplevert. Door fase-omkering verkrijgt men dan $(G - Y)$. Vervolgens telt men er Y bij, waarna men over G beschikt. Is dat voldoende duidelijk?

Fig. XI.4. Gereproduceerd groen-sig-naal:

- a. met ontregelde matrix (te veel $R - Y$ ten opzichte van $B - Y$);
- b. met te geringe verzadiging (te grote Y -bijdrage).



Vr. – Ja. Wat me echter niet duidelijk is, is hoe men dat alles in minder dan drie minuten kan nagaan: meten of $(R - Y)$ en $(B - Y)$ de goede waarde hebben, of de vernienigvuldiging met 0,51 en 0,19 juist is en of na omkering en optelling van Y een behoorlijk G -signaal wordt verkregen. Dat lijkt me vrij moeilijk.

W. – Je bent weer eens op hol geslagen, beste Vraagal. Je dient uitsluitend het groene aandeel in het kleurbalkentoe-tssig-naal op de oscilloscoop te bekijken, om te zien of alles naar be-horen werkt.

Vr. – Natuurlijk! Als het G -signaal perfect is, is alles in orde. Maar veronderstel nu even dat dit niet het geval is.

W. – Dan ontstaan er ook niet al te veel moeilijkheden. Je weet dat de eerste vier balken groen bevatten met dezelfde amplitude (zie fig. XI.3).

Vr. – En de laatste vier zijn zwart in plaats van groen.

W. – Inderdaad. Wat zou nu de oorzaak kunnen zijn, als je desondanks acht balken ziet (in plaats van twee: een groene en een zwarte) en als een van elke twee balken helderder is?

Vr. – Ik denk dat, aangezien het blauwe aandeel in het kleurenbalkentoetssignaal bestaat uit 8 balken (afwisselend een blauwe en een zwarte, zie fig. XI.3), er van het blauwe verschil-signaal ($B - Y$) te veel of te weinig werd gebruikt om het ($G - Y$)-signaal samen te stellen, waardoor de amplitude van de groene impuls niet constant blijft.

W. – Juist, en je dient dan de juiste waarde in te stellen in de groenmatrix tot het *G-sig-naal* er behoorlijk uitkomt.

En als de helderheid van de groene zone van links naar rechts regelmatig afneemt?

Vr. – Mij dunkt, dat dit alleen kan gebeuren als het bij ($G - Y$) opgetelde Y -signaal te groot is.

W. – Ook juist. Je corrigeert dit verschijnsel door de hoeveelheid toegevoegd Y -signaal te verminderen en je bent gereed. Je kunt vervolgens de rekening aan de klant presenteren.

Vr. – En de vertragslijnen?

W. – Daar valt niets aan in te stellen, omdat het passieve elementen zijn. Je regelt de weerstanden toch ook niet af?

Vr. – Nou, ik dacht dat het ingewikkelder was.

W. – Denk nu maar niet dat je met je eerste kleurenontvanger zo vlug klaar zult komen. Je zult er wel meer dan een uur voor nodig hebben, maar in de praktijk krijg je snel de nodige ervaring, speciaal als je een servicegenerator bezit voor kleurentelevisie, zoals bijv. een regenbooggenerator.

Vr. – Ik begin werkelijk de indruk te krijgen, dat het toch niet zo moeilijk is. Ik geloof zelfs, dat ik de zaak ga begrijpen . . .

W. – Beste Vraagal, ik hoor je vaak zeggen, dat dit of dat verdraaid gecompliceerd is. Je hebt gezien dat er geen reden is om je bezorgd te maken. Al jaren lang hebben de technici zich uitgesloofd om je het werk te vergemakkelijken. Dat zal zo wel verder gaan.

Vr. – Laat ik deze heren dan maar als volgt bedanken:

Ze hebben de techniek gediend. Maar jou moet ik danken, beste vriend.

Want door jou heb ik inzicht vergaard. Omdat jouw geduld je kennis evenaart.

W. – Mooi zo. Ben je nu ook nog dichter geworden?

Vr. – Natuurlijk. Tussen twee haakjes, is de introductie van kleuren in de televisietechniek ook niet min of meer de triomf van de poëzie in ons beroep?



CONCLUSIE

Het wonder van de kleurentelevisie

Dat kleurenbeelden kunnen worden overgedragen op de vleugels van elektromagnetische golven, grenst aan het ongelooflijke. Dat is de conclusie die de lezer, die met vlijt de inhoud van dit boek heeft doorgewerkt, waarschijnlijk zal hebben getrokken.

Zoals de filmtechniek, maakt ook de televisie gebruik van een van de gebreken van ons oog, namelijk het onvoldoende vermogen om afzonderlijk elkaar in tijd opvolgende beelden te scheiden; anders gezegd, de *persistentie* of traagheid van de gezichtsgewaarwordingen, die er de oorzaak van is, dat we het totale beeldverloop zien, terwijl op een bepaald moment slechts één van de beeldelementen op het beeldscherm oplicht.

Het gebrek aan ruimtelijk oplossend vermogen, waardoor de overdracht van kleurenbeelden mogelijk is, zonder uitbreiding van het videofrequente spectrum: het oog onderscheidt de kleine kleurendetails niet. De kleuren bezetten om deze reden slechts een smalle frequentieband in het videofrequente signaal, aangezien ze slechts een beperkte hoeveelheid informatie bevatten.

Het ontstaan van de kleurentelevisie werd ten zeerste vergemakkelijkt door de grote schat aan ervaring, die met de achrome televisie werd opgedaan. Zowel aan zend- als aan ontvangzijde wordt voor de overdracht van kleuren een groot deel van de zwartwit-apparatuur gebruikt. De verschillen liggen voornamelijk in de samenstelling van het videosignaal (in de codeer- en decodeerschakelingen) en vooral in de wijze waarop de omzetting van helderheid in stroom (beeldopneemcamera's) gebeurt en de tegengestelde transformatie in de beeldbuis (stroom – licht).

Heden ten dage staat niets de macht van de elektronika meer in de weg. Hoe complex het probleem ook moge zijn, men vindt er een oplossing voor . . . soms meer dan één, zoals dit (helaas) het geval is geweest voor de kleurentelevisie. Maar naast de zeer vernuftige schakelingen, diende men nog het middel te vinden om kleurenbeelden op het scherm van een beeldbuis op te wekken.

Toen het project van de schaduwmaskerbuis werd aangekondigd, leek het een utopie, vanwege de ongelooflijke precisie, die voor de geometrie van alle samenstellende elementen werd vereist: elektronenkanonnen, schaduwmasker, driekleurenscherm. En nochtans werd die buis gerealiseerd en functioneert hij perfect.

Het uiteindelijke doel is hiermee niet bereikt, want de schaduwmaskerbuis *is slechts een mijlpaal* op de lange weg van de ontwikkeling van kleurentelevisie. Andere, meer geperfectioneerde modellen staan op het punt hem te verdringen. Eén van de buizen, die de meeste kansen bezit om het pleit te winnen, is ontsproten aan het brein van Henri de France, de vader van het SECAM-systeem.

De evolutie streeft naar een verhoogd energierendement voor de beeldbuis (verhoogde helderheid met minder vermogen), naar vlakke en rechthoekige schermen en naar een reductie van de buisdiepte. Vroeg of laat zal de vooruitgang leiden tot een apparaat dat de naam „buis” niet meer verdient, omdat hij zal bestaan uit een vlak en plat scherm, dat aan de muur zal worden opgehangen zoals een schilderij. Maar zover zijn we echter nog niet.

Dat neemt niet weg, dat de droom werkelijkheid is geworden: honderden kilometers in het rond worden beelden overgedragen met hun kleur en hun bijbehorend geluid. Ruimte en tijd zijn hiermee overwonnen. De elektromagnetische golven omspannen de aardbol in hun vrolijke rondedans.

APPENDIX I

DE OFFICIËLE KLEURENTELEVISIENORM (PAL-systeem, Oslo 1966)

1. Beeldontleding

De hoofdeigenschappen van de beeldontleding zijn gelijk aan die van het zwartwit-systeem met 625 lijnen en 50 rasters per seconde, overeenkomende met de CCIR-norm G.

2. Karakteristieken van het samengestelde videosignaal

2.1. *Het samengestelde videosignaal* bestaat uit het videofrequente luminantie- en het chrominantiesignaal.

Het chrominantiespectrum ligt binnen de grenzen van het luminantiesignaalspectrum.

2.2. *Het luminantiesignaal* wordt als volgt samengesteld:

$$E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B$$

Waarin

$$E'_R = E_R^{1/\gamma}; \quad E'_G = E_G^{1/\gamma}; \quad E'_B = E_B^{1/\gamma}$$

E_R, E_G, E_B zijn de videosignalen, die respectievelijk overeenkomen met de drie grondkleuren rood, groen en blauw. γ is de exponent van de functie, welke de vorm van de transfert-karakteristiek van de beeldbuis bepaalt. De waarde hiervan bedraagt circa 2,2.

Opmerking. Als het luminantiesignaal wordt geleverd door een aparte, vierde opneembuis in de camera, mag de samenstelling van genoemd signaal verschillen van de formules, die in deze paragraaf wordt vermeld.

2.3. De signalen E_R, E_G, E_B komen overeen met de fundamentele kleuren van de beeldbuis. Ze hebben de volgende kleurcoördinaten in het CIE-kleurendiagram:

Rood (R)	$x = 0,67$	$y = 0,33$
Groen (G)	$x = 0,21$	$y = 0,71$
Blauw (B)	$x = 0,14$	$y = 0,08$
Wit (C)	$x = 0,310$	$y = 0,316$

2.4. *Het luminantiesignaal* wordt overgedragen met een bandbreedte van 5 MHz.

2.5. *Het chrominantiesignaal* bestaat uit twee componenten, die gelijktijdig worden overgedragen in de vorm van twee amplitude-modulatiezijbanden met onderdrukte draaggolf. Deze draaggolven hebben dezelfde frequentie en zijn 90° in fase verschoven (fasekwadraatuur).

2.6. De twee overgedragen componenten, die de hulpdraaggolven moduleren, zijn de gereduceerde kleurverschilsignalen E'_U en E'_V .

$$E'_U = 0,493 (E'_B - E'_Y)$$

$$E'_V = 0,877 (E'_R - E'_Y)$$

2.7. De componenten E'_U en E'_V worden met onderstaande waarden overgedragen voor de bandbreedten van de zijbanden:

$$\text{max.: } f_k + 0,57 \text{ MHz} \quad \text{en} \quad \text{max.: } f_k - 1,3 \text{ MHz}$$

Daar $f_k = 4,43\ 361\ 875 \text{ MHz} \pm 1 \text{ Hz}$, zal de hoogste frequentie in de bovenzijband $4,43 \text{ MHz} + 0,57 \text{ MHz} = 5 \text{ MHz}$ bedragen, waardoor hij nog binnen de bandbreedte van het luminantiesignaal ligt. De onderzijband mag breder zijn, omdat aan deze kant geen bandbegrenzing bestaat.

2.8. Vergelijking van het samengestelde videosignaal:

$$E_M = E'_Y + E'_U \sin \omega t + E'_V \cos (\omega t \pm \pi/2)$$

Waarin: E_M = de totale videospanning, die aan de modulator van de zender wordt toegevoerd.

Voor E'_Y, E'_R, E'_G, E'_B , zie par. 2.2.

Het argument van de cosinus is $(\omega t + \pi/2)$ gedurende de oneven lijnen van het eerste en tweede raster, evenals tijdens de even lijnen van het derde en vierde raster. Het argument is $(\omega t - \pi/2)$ gedurende de even lijnen van het eerste en tweede raster, evenals tijdens de oneven lijnen van het derde en vierde raster.

$$\begin{array}{l} \text{Eerste raster} \} \text{ oneven lijnen } \omega t + \pi/2 \\ \text{Tweede raster} \} \text{ even lijnen } \omega t - \pi/2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Derde raster} \} \text{ even lijnen } \omega t + \pi/2 \\ \text{Vierde raster} \} \text{ oneven lijnen } \omega t - \pi/2 \end{array}$$

Dit betekent dat de fase van de kleurenhulpdraaggolf van lijn tot lijn 180° zal worden omgeschakeld.

Opmerking. De kleurverschilsignalen (E'_U) en (E'_V) kunnen ook worden gevormd met behulp van een matrix, die de videosignalen E'_Y, E'_I en E'_Q krijgt toegevoerd. E'_I en E'_Q hebben de specifieke bandbreedten van het NTSC-systeem volgens de CCIR-norm G:

$$E'_I \text{ (NTSC)} \quad f_k \pm_{1,3}^{0,57} \text{ MHz}$$

$$E'_Q \text{ (NTSC)} \quad f_k \pm_{0,4} \text{ MHz}$$

E'_U en E'_V zullen dus uiteraard geen grotere bandbreedten hebben dan het E'_I (NTSC)-signaal.

Dit wordt de oranje-cyaan-transformatie genoemd.

De vergelijkingen voor de matrixen bij het afleiden van E'_U en E'_V uit E'_I en E'_Q zijn:

$$E'_U = -0,545 E'_I + 0,839 E'_Q$$

$$E'_V = 0,839 E'_I + 0,545 E'_Q$$

2.9. Als fasereferentie wordt de E'_U -as genomen (+x-as).

3. Karakteristieken van het salvo (burst)

3.1. *Duur*: 13 ± 1 perioden van de kleurenhulpdraaggolf.

3.2. *Begin*: $5,5 \pm 0,2 \mu\text{s}$ na de voorflank van de lijnsynchronisatie-impuls.

3.3. *Amplitude*: $0,5 \pm 0,1$ van de amplitude van de lijnsynchronisatie-impuls.

3.4. *Het salvo* is in het rasteronderdrukkingssignaal gedurende *negen lijnen* afwezig.

3.5. Fasesequentie van het salvo

Eerste raster (even) – beginnend met lijn 7. De fase van het salvo ligt op $+135^\circ$ t.o.v. de E'_U -as.

Tweede raster (oneven) – beginnend bij lijn 319, fase -135° t.o.v. de E'_U -as.

Derde raster (even) – beginnend bij lijn 6, fase $+135^\circ$ t.o.v. de E'_U -as.

Vierde raster (oneven) – beginnend bij lijn 320, fase -135° t.o.v. de E'_U -as.

4. Karakteristieken van het uitgezonden signaal

4.1. *Amplitudemodulatie* van de beelddraaggolf door het samengestelde videosignaal.

4.2. *Frequentiespectrum van het beeldsignaal*

4.2.1. Afstand beeld-geluidsdraaggolf: 5,5 MHz.

4.2.2. Hoofdzijband van het beeld: 5 MHz.

4.2.3. Restzijband van het beeld: 0,75 MHz.

4.3. *Lijnfrequentie*

$$f_h = 15\,625 \text{ Hz} = \frac{4f_k - 2f_{\text{raster}}}{1135}$$

APPENDIX II

DE OFFICIËLE KLEURENTELEVISIENORM

(Systeem SECAM III-opt., uittreksel van de Journal Officielle van 24 jan. 1967)

1. Beeldontleding

De principiële eigenschappen van de beeldontleding zijn gelijk aan die van het achrome systeem voor 625 lijnen en 50 rasters per seconde, conform het CCIR-systeem L.

2. Samengesteld videosignaal

2.1. *Het videofrequente signaal* bestaat uit het videofrequente luminantiesignaal en het chrominantiesignaal.

Het chrominantie-signaalspectrum ligt binnen het luminantiesignaalspectrum.

2.2. *Het luminantiesignaal* wordt als volgt samengesteld:

$$E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B$$

Waarin:

$$E'_R = E_R^{1/\gamma} \quad E'_G = E_G^{1/\gamma} \quad E'_B = E_B^{1/\gamma}$$

E_R , E_G en E_B zijn de videosignalen die corresponderen met resp. de rode, groene en blauwe primaire kleurinformaties.

γ is de exponent van de functie, die de vorm van de transfertkarakteristiek van de beeldweergeefbuis bepaalt; de waarde hiervan is ongeveer 2,2.

Opmerking. Als het luminantiesignaal wordt geleverd door een aparte, vierde camerabuis, is een samengesteld signaal toelaatbaar, dat verschilt van hetgeen in sub 2.2 is aangegeven.

2.3. De signalen E_R , E_G en E_B zijn opgebouwd met de kleurcoëfficiënten volgens het CIE-coördinatensysteem:

Rood (R)	$x = 0,67$	$y = 0,33$
Groen (G)	$x = 0,21$	$y = 0,71$
Blauw (B)	$x = 0,14$	$y = 0,08$
Wit (C)	$x = 0,310$	$y = 0,316$

2.4. *Het chrominantiesignaal* wordt gevormd door een kleurenhulpdraaggolf, die in frequentie wordt gemoduleerd door 2 kleurverschilsignalen, die lijnsequentieel worden overgedragen.

2.5. De kleurverschilsignalen zijn:

Voor de ene lijn: $D'_R = -1,9 (E'_R - E'_Y)$

Voor de (in tijd) daaropvolgende lijn: $D'_B = 1,5 (E'_B - E'_Y)$

Opmerking. De numerieke coëfficiënten, die zijn vermeld in sub 2.2, 2.3 en 2.5 zijn zodanig gekozen, dat correcties mogelijk zijn, indien in de toekomst andere beeldbuis-luminoforen beschikbaar zouden komen.

2.6. *Wordt een kleursignaal overgedragen conform het zgn. wit C van de CIE (zie sub 2.3.), dan is $E_R = E_G = E_B$ en zijn de kleurverschilsignalen tot nul gereduceerd.*

2.7. *Alvorens modulatie van de hulpdraaggolf plaatsvindt, worden de kleurverschilsignalen videofrequent voorgecorrigeerd, waarbij de relatieve versterking wordt gegeven door*

$$A_{\text{vid.}} = \frac{1 + jff_1}{1 + jf/K \cdot f_1},$$

Waarin $f_1 = 85$ kHz is en $K = 3$.

2.8. *Bij afwezigheid van modulatie, m.a.w. indien een wit-C-signaal wordt overgedragen ($E_R = E_G = E_B$), alsook ten tijde van de achterstoeven van het lijn-onderdrukkingssignaal, heeft de frequentie van de kleurenhulpdraaggolf de volgende, nominale waarde:*

– voor lijnen, die door het signaal D'_R worden gemoduleerd:

$$f_K \cdot R = 282 f_h = 4,40625 \text{ MHz}$$

– voor lijnen, die door het signaal D'_B worden gemoduleerd:

$$f_K \cdot B = 272 f_h = 4,25000 \text{ MHz}$$

f_h is hierin de lijn-afbuigfrequentie = 15625 Hz.)

2.9. *De nominale frequentiedeviatie Δf_K van de kleurenhulpdraaggolf bedraagt voor $D'_R = D'_B = \pm 1,0$ (waarbij voor het achrome luminantiesignaal de amplitude 1,0 werd aangehouden):*

– bij modulatie door D'_R : 280 kHz;

– bij modulatie door D'_B : 230 kHz.

De maximale waarde van de zwaai, die optreedt tijdens de maxima van de voorgecorrigeerde signalen D'_R en D'_B , wordt begrensd tot de volgende waarden:

$$\text{– voor } D'_R: \Delta f_{K(\text{max})} = \begin{matrix} + 350 \pm 35 \text{ kHz} \\ - 500 \pm 50 \text{ kHz} \end{matrix}$$

$$\text{– voor } D'_B: \Delta f_{K(\text{max})} = \begin{matrix} + 500 \pm 50 \text{ kHz} \\ - 350 \pm 35 \text{ kHz} \end{matrix}$$

2.10. *De amplitude van de kleurenhulpdraaggolf is voor die frequentie, waar de videofrekwente correctiekaracteristiek (zie sub 2.11) door het minimum gaat, gelijk aan 0,115 (0,23 top-top), relatief tot de waarde 1,0 voor het achrome luminantiesignaal.*

2.11. *Het frequentie-gemoduleerde chrominantiesignaal wordt door een filter van een extra amplitude-modulatie voorzien (pre-emphasis):*

De relatieve versterking hierbij bedraagt:

$$A_f = \frac{1 + j \cdot 16 \cdot F}{1 + j \cdot 1,26 \cdot F}$$

Waarin $F = \frac{f}{f_K} - \frac{f_K}{f}$

f_K is hierin de centerfrequentie van de pre-emphasiskarakteristiek = 4,28 600 MHz.

2.12. De *kleursynchronisatie-signalen* (lijn-identificatiesignalen) garanderen de synchronisatie van de elektronische schakelaars aan zend- en ontvangzijde. Ze worden overgedragen op 9 lijnen tijdens de rasterterugslag en wel:

- tijdens lijn 7 t/m 15 van het eerste raster;
- en tijdens lijn 320 t/m 328 van het tweede raster.

Deze identificatiesignalen worden gevormd door salvo's van de hulpdraaggolf, in frequentie gemoduleerd door de volgende signalen, die lijnsequentieel worden overgedragen:

- a. D'_R neemt vanaf het begin van de lijn lineair toe van 0 tot $+1,25 \pm 0,13$ gedurende $15 \pm 5 \mu s$, en blijft op het niveau van $+1,25$ begrensd;
- b. D'_B neemt vanaf het begin van de lijn lineair af van 0 tot $-1,50 \pm 0,17$ gedurende $20 \pm 10 \mu s$ (waarden relatief tot 1,0 voor het achrome luminantiesignaal).

Tijdens het eerste en het tweede raster wordt het signaal D'_R overgedragen via de even lijnen en het signaal D'_B via de oneven lijnen.

Tijdens het derde en het vierde raster wordt het signaal D'_R via de oneven lijnen en het signaal D'_B via de even lijnen overgedragen.

2.13. *Het chrominantiesignaal wordt onderdrukt:*

- a. Tijdens de *lijnterugslag*, gerekend vanaf het begin hiervan tot $5,7 \pm 0,3 \mu s$ na de voorflank van het lijnsynchronisatiesignaal. Mocht het noodzakelijk zijn, dan mag dit tijdsverloop tot ten hoogste $8 \mu s$ toenemen.
- b. Tijdens de *rasterterugslag*, behalve wanneer de lijn-identificatiesignalen (zie sub 2.12) worden overgedragen.

2.14. *Aan de kleurenhulpdraaggolf* wordt een complementaire amplitudemodulatie toegevoegd door middel van een signaal, dat wordt bepaald door het niveau van die luminantiesignaalcomponenten, welke zich binnen het chrominantie-signaalspectrum bevinden.

Opmerking. De karakteristieken van deze modulatie zullen op een later tijdstip worden bepaald.

2.15. *Het luminantiesignaal* wordt overgedragen met een bandbreedte van 6 MHz.

2.16. *De kleurverschilsignalen* ondergaan, behalve de videofrequente voorcorrectie die in

sub 2.7 is aangegeven, een spectrumbegrenzing met behulp van een filter. De verzwakking hiervan bedraagt 3 dB bij 1,4 MHz, terwijl voor frequenties van 3 MHz en hoger ten minste 20 dB wordt verzwakt.

2.17. *De nauwkeurigheid van de coincidentie* tussen luminantie- en chrominantiesignalen zal op een later tijdstip worden vastgelegd.

2.18. *De fasehoek* van de ongemoduleerde chrominantiehelpdraaggolf bedraagt 0° voor de referentiefrequentie $f_{K \cdot R}$ en 180° voor $f_{K \cdot B}$ (sub 2.8).

De fase wisselt tijdens elke derde lijn en bovendien raster om raster.

2.19. *Vergelijking van het samengestelde videosignaal.* Voor grote kleurvlakken is

$$E_M = E'_Y + A_{\text{vid}} \cdot \cos(\omega_K + E'_C \Delta\omega_K)t$$

Waarin: E_M de totale videofrequente signaalspanning voorstelt, die aan de zendermodulator wordt toegevoerd.

a. *voor modulatie door D'_R* (zie sub 2.5):

$$E'_C = D'_R = -1,9 (E'_R - E'_Y)$$

$$\omega_K = 2 \pi f_{K \cdot R}$$

b. *voor modulatie door D'_B* (zie sub 2.5):

$$E'_C = D'_B = 1,5 (E'_B - E'_Y)$$

$$\omega_K = 2 \pi f_{K \cdot B}$$

c. $\frac{\Delta\omega_K}{2\pi}$ is de frequentiedeviatie Δf_K (sub 2.9);

d. A_{vid} is een functie van $E'_C \Delta\omega_K$, die de amplitude van het chrominantiesignaal bepaalt (zie sub 2.7).

3. Het uitgestraalde zendersignaal

De algemene kenmerken van het zendersignaal zijn dezelfde als die gelden voor transmissie van achrome signalen met 625 lijnen en 50 rasters per seconde, conform het CCIR-systeem L.

