

**TELEVISIETECHNIEK ZONDER  
FORMULES**

W. A. HOLM

368 pagina's, 14,8 × 21 cm, 264 figuren

Er werden reeds vele boeken over Televisie geschreven. Meestal met een overdaad aan formules, bestemd voor volleerde radio-technici.

Maar er bestond nog geen boek waarin op wetenschappelijk verantwoorde wijze de televisieproblemen werden benaderd, zonder gebruik te maken van formules.

Het schrijven van zulk een boek had Dipl.-Ing. W. A. Holm zich tot taak gesteld, en te oordelen naar de recensies die in de vakpers van de eerste druk van dit boek werden gepubliceerd, is Dipl.-Ing. Holm hierin uitstekend geslaagd.

De auteur blijkt over de gave te beschikken ook de moeilijkste televisieproblemen levendig en bevattelijk te kunnen verklaren, en hij gaat daarbij toch geen enkel probleem, hoe ingewikkeld ook, uit de weg. Zelfs de niet technisch geschoolde lezer krijgt door het lezen van dit boek voldoende inzicht in deze nieuwe materie.

Voor de radiomonteur, de radiotechnicus en de H.T.S.-er is dit boek een prettige en gemakkelijk te begrijpen inleiding tot de fascinerende T.V.-techniek, die hem in staat stelt diepergaande studie met vrucht te volgen. Zelfs de doorgewinterde televisie-vakman zal in dit boek nog zeer veel wetenswaardigs aantreffen dat zijn kennis vergroot en verdiept.

Het televisieboek voor de amateur,  
de monteur en..... de ingenieur



Dipl.-Ing. W. A. HOLM  
**KLEURENTELEVISIE ZONDER FORMULES**

Dipl.-Ing.  
W. A. HOLM

**KLEURENTELEVISIE  
ZONDER FORMULES**

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

**KLEURENTELEVISIE ZONDER  
FORMULES**

Het tegenwoordig toegepaste systeem voor kleurentelevisie wordt in dit boek besproken, en wel zonder gebruik te maken van formules en begrippen, die voor de meeste praktische technici onbegrijpelijk zijn. De auteur heeft zich niet alleen gehouden aan de grote lijnen, doch voorzover het voor de praktijk van belang is ook de details, met uitzondering van circuit-details, behandeld. Vrij van alle abstracte en wiskundige benaderingen worden alle verschijnselen en problemen van de kleurentelevisie in een logisch verband gebracht en fysisch verklaard.

Dit boek zal ongetwijfeld voorzien in een grote behoefte die in de vakliteratuur momenteel bestaat op het gebied van de „kleurentelevisie zonder formules”.

De auteur is erin geslaagd dit boek begrijpelijk te maken voor radio- en TV-amateurs en -handelaren, alsook voor technisch-commerciële personen; het boek is geschikt voor onderwijsdoeleinden; kortom voor eenieder die technisch geïnteresseerd is.

HOLM

KLEURENTELEVISIE ZONDER FORMULES



KLEURENTELEVISIE  
*ZONDER FORMULES*

N.V. UITGEVERSMAATSCHAPPIJ CENTREX - EINDHOVEN

KLEURENTELEVISIE  
*ZONDER FORMULES*

Dipl.-Ing. W. A. HOLM

1963

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

Vertaald uit het Duits door Ing. D. C. van Reijendam, Zwolle

*Mededeling van de uitgever:*

In de Philips Technische Bibliotheek ook edities van dit boek in het Engels, Duits, Frans en Spaans

Het bevat 126 pagina's, 51 figuren, waarvan 7 in vier kleuren

U.D.C. nr. 661.396.24 : 621.396.721

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken - Eindhoven (Nederland) 1963

Nadruk, ook gedeeltelijk, verboden

Geen garantie wordt gegeven dat de in dit boek vervatte informatie vrij loopt van octrooi-rechten; door deze publicatie wordt geen enkele licentie onder eventueel bestaande octrooien verleend

Gedrukt in Nederland

## VOORWOORD

Dit boek is geschreven met de bedoeling niet alleen de theoretische grondslagen van de kleurentelevisie uitgebreid te behandelen, maar ook de zich bij de praktische verwezenlijking voordoende, ten dele zeer gecompliceerde problemen dichterbij een groot publiek te brengen en begrijpelijk te maken. In dit opzicht bedoelt dit boek een leemte in de vakliteratuur aan te vullen, opdat men niet langer vergeefs naar een werk hoeft te zoeken dat dit niet bepaald eenvoudige gebied tot in alle belangrijke en interessante bijzonderheden wetenschappelijk nauwkeurig behandelt, zonder echter in onnodige details te vervallen en zonder aan duidelijkheid in te boeten.

In de eerste plaats zal de lezerskring daarom bestaan uit radio- en TV-technici uit de sectoren ontwikkeling en service, en verder uit technische studenten en al diegenen die, technisch of commercieel, of ook als amateur, belangstelling hebben voor de TV en iets meer dan alleen een paar hoofdbegrippen erover zouden willen weten. Er wordt van uitgegaan dat deze lezers – behalve over een gezond verstand – beschikken over de kennis van de grondbeginselen van de zwart-wit televisie, dus niet over speciale kennis van natuur- of wiskunde.

Het zij mij vergund aan de in het boek behandelde stof en wel aan het moeilijkste gedeelte, het zendsysteem, nog enige aanvullende woorden toe te voegen. In de USA en in Japan worden thans door een aantal zendmaatschappijen televisieprogramma's in kleuren uitgezonden. In beide landen geschiedt de uitzending volgens hetzelfde systeem, het in 1951 door het Amerikaanse National Television System Committee (N.T.S.C.) uitgewerkte systeem, dat in dit boek uitvoerig wordt behandeld. In Europa maakt men geen haast dit systeem ook voor de toekomstige Europese kleurentelevisie als norm te aanvaarden, en wel om tweeërlei redenen: in de eerste plaats vindt men de zeer dure kleurenprogramma's commercieel nog niet interessant genoeg, in de tweede plaats kleven aan het N.T.S.C.-systeem natuurlijk ook enige nadelen. In de vooraanstaande Europese laboratoria wordt daarom intensief naar verbeteringen gezocht. Toen dit boek geschreven werd, verdienden vooral twee van dergelijke verder ontwikkelde systemen de aandacht, namelijk het in Frankrijk uitgewerkte SECAM-systeem en het hoofdzakelijk in Duitsland verder ontwikkelde P.A.L.-systeem. Het eerstgenoemde is theoretisch iets eenvoudiger, het laatstgenoemde echter nog

iets ingewikkelder dan het normale N.T.S.C.-systeem. Daar het niet de bedoeling van dit boek is, een encyclopedisch overzicht te geven van de verschillende ontwikkelingsrichtingen, is ervan afgezien deze beide, voor de praktijk nog niet volledig uitgewerkte systemen nader te beschrijven. Verdere onderzoeken en navorsingen zullen aantonen, in hoeverre deze, of nog andere nieuwe ontwikkelingen, de voorgenomen invoering van het N.T.S.C.-systeem als norm voor de Europese kleurentelevisie kunnen beïnvloeden.

De schrijver

Eindhoven, mei 1963



## INHOUD

Hoofdstuk 1	THEORETISCHE GRONDSLAGEN. . . . .	1
	Licht en kleuren . . . . .	1
	Kleurmenging . . . . .	3
	Additieve menging van licht . . . . .	7
	Kleurcomponenten . . . . .	10
	Ooggevoeligheidskromme . . . . .	13
	De kleurendriehoek . . . . .	15
	Helderheid en andere lichttechnische grootheden . . . . .	20
Hoofdstuk 2	KLEURENTELEVISIE-OPNEEM- INSTALLATIE. . . . .	27
	Algemeen . . . . .	27
	De camera . . . . .	28
	Het systeem voor de kleurontleding . . . . .	29
	Kleurensplitsende (dichroïtische) spiegels. . . . .	33
	Praktische uitvoering van kleursplitssystemen. . . . .	39
	Camera-optiek - relai-optiek . . . . .	40
	Opneembuizen . . . . .	45
	Totale gamma van de installatie . . . . .	47
	Dekking van de kleuren onderling . . . . .	52
	Het bedieningspaneel . . . . .	54
Hoofdstuk 3	WEERGEEFSYSTEMEN . . . . .	57
	Methode van de kleurwisseling . . . . .	57
	Nadelen van de methode van de kleurwisseling . . . . .	59
	De simultaanmethode . . . . .	61
	De schaduwmaskerbuis . . . . .	63
	Statische convergentie . . . . .	66
	Dynamische convergentie . . . . .	66
	Kleurzuiverheid . . . . .	69
	Algemene constructie van de schaduwmaskerbuis . . . . .	72
	Kleurentelevisieprojectiesystemen . . . . .	75

Hoofdstuk 4 HET OVERBRENGINGSPROCÉDÉ . . . . .	79
Het luminantiesignaal ( <i>Y</i> -signaal) . . . . .	79
Frequentieervlechting . . . . .	82
Het chrominantiesignaal . . . . .	88
Demodulatie van het chrominantiesignaal . . . . .	95
Het <i>I</i> - en <i>Q</i> -signaal . . . . .	102
Fazehoek van een kleur . . . . .	110
Slotopmerkingen . . . . .	117

## HOOFDSTUK 1

### THEORETISCHE GRONDSLAGEN

#### Licht en kleuren

NEWTON was het, die bij zijn pogingen om het wezen van het licht op het spoor te komen, de werkelijk revolutionaire mening verkondigde, dat het witte daglicht niet de zuiverste soort licht, maar daarentegen een homogeen mengsel van oneindig veel kleuren en kleurschakeringen van de regenboog was: van violet via blauw, groen en geel tot rood. Deze vermetelee, maar daarom niet minder goed gefundeerde mening berustte voor alles op het eenvoudige experiment het daglicht door een nauwe spleet te laten vallen op een glazen prisma met een driehoekvormige doorsnede (fig. 3, blz. 5). Wat uit het prisma treedt is niet meer de smalle witte lichtstreep, doch een steeds breder wordende lichtband, die nergens ook maar een spoor wit bevat, maar een ononderbroken aaneenschakeling is van de hierboven genoemde kleuren van de regenboog en hun overgangskleuren.

Hoewel ook Newton nog niet in staat was met behulp van zijn theorie van de lichtende lichaampjes (corpusculaire theorie of emanatieleer) de verschillend sterke breking van de afzonderlijke kleuren bij het passeren van een glazen prisma goed te verklaren, bleek toch zijn theorie, dat het witte daglicht een mengkleur is, samengesteld uit oneindig veel „zuivere” kleuren, tot op heden bestand te zijn tegen elke aanval daarop. De juiste verklaring voor de verschillend sterke breking in het glazen prisma werd gegeven door Huygens, die voor het eerst de voortplanting van het licht toeschreef aan een golfverschijnsel met buitengewoon korte golflengten.

De verschillende kleuren onderscheiden zich daarbij volgens Huygens slechts door hun golflengten en wel heeft het rode gedeelte van de regenboog-schaal de langste, het violette deel de kortste golflengte. Neemt men aan, dat licht zich in optische tussenstoffen, zoals bijvoorbeeld glas e.d., langzamer voortplant dan in een ledige ruimte en wel langzamer naarmate zijn golflengte korter is, dan is gemakkelijk te verklaren waarom in een optische tussenstof

bij schuin invallend wit licht het violette en blauwe deel met zijn kortere golflengte sterker wordt gebroken dan het gele en rode gedeelte, dat een langere golflengte heeft.

De golftheorie van Huygens moest drie eeuwen lang een harde concurrentiestrijd uitvechten tegen de emanatietheorie van Newton; nu eens schenen de experimenten de ene, dan weer de andere van de beide theorieën te bevestigen. Pas in de laatste decennia leerde men met behulp van de quantummechanica, het geheimzinnige, zich eigenlijk op twee heel verschillende manieren uitende, wezen van het licht weliswaar nog niet te begrijpen, echter wel in een abstracte vorm exact te beschrijven. Voor ons is het voldoende vast te stellen, dat licht behoort tot dezelfde vorm van energie als de elektromagnetische velden en evenals deze laatsten als een golfverschijnsel kan worden beschreven.

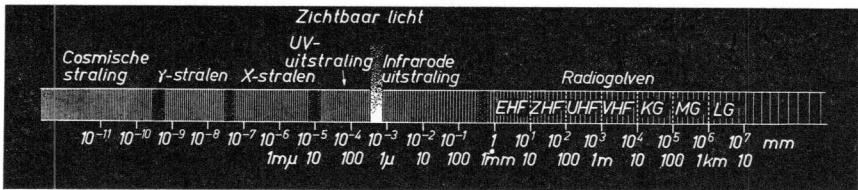


Fig. 1. Golflengteschaal van de elektromagnetische golven.

Terwijl echter het golflengtegebied van de elektromagnetische velden, die als radiogolven algemeen bekend zijn, zich uitstrekt over het enorme gebied van ca. 10 000 m tot in onderdelen van millimeters, liggen de golflengten van het zichtbare licht binnen het in verhouding smalle gebied van ca. 700  $\text{m}\mu$  voor rood tot ca. 400  $\text{m}\mu$  voor violet. (1  $\text{m}\mu$  = 1 miljoenste millimeter; behalve van de  $\text{m}\mu$  wordt in de stralingswetenschap ook dikwijls gebruik gemaakt van de ångström, waarbij  $1 \text{Å} = 0,1 \text{m}\mu$ ). Niettegenstaande deze voor onze begrippen reeds buitengewoon korte golflengten zijn er nog veel kortere elektromagnetische golven, zoals b.v. de röntgen-, de  $\gamma$ - en de kosmische straling. In fig. 1 is het totale, tot nu toe bekende spectrum van de elektromagnetische golven schematisch voorgesteld. Het ons interesserende gedeelte van dit spectrum, het zichtbare licht, is in fig. 4 (blz. 5) nog eens afzonderlijk getekend. Hieruit kunnen een paar belangrijke conclusies worden getrokken.

### Kleurmenging

Ieder punt van de golflengtenschaal komt overeen met een zekere golflengte en elk van deze golflengten wordt door het oog als een bepaalde kleurtoon waargenomen. In het witte zonlicht zijn praktisch al deze kleurtonen aanwezig. Het verschil in golflengte en daardoor het verschil in kleurtoon tussen twee naast elkaar liggende kleurtonen is „oneindig” klein en kan dan ook door het oog niet worden waargenomen; pas het „oneindig” grote aantal van de betreffende golflengten kan de kleurschakering van violet via blauw, groen en geel tot rood veroorzaken. Elke aparte kleurtoon wordt als *spectrale* kleur aangeduid. Aan het oog doen zich deze spectrale kleuren voor als de zuiverste, lichtendste of meest „verzadigde” kleuren; zij kunnen door de normale reproductietechnieken, zoals drukken en schilderen, niet worden weergegeven en zij ontstaan slechts bij de spectrale lichtbreking van wit licht, of als alleen voorkomende kleurtonen in het licht van gloeiende gassen en dampen (b.v. de „gele lijnen” van natriumdamp bij 589,0 en 589,6 m $\mu$ ; fig. 4, blz. 5).

Behalve deze spectrale of verzadigde kleurtonen, die slechts in een laboratorium kunnen worden waargenomen, is er een oneindige schakering van „niet verzadigde” of mengkleuren, waardoor wij dagelijks zijn omgeven. Zij ontstaan doordat niet slechts licht van een enkele golflengte ons oog treft, maar licht van meer en meestal zelfs veel verschillende golflengten. Wij kunnen daarbij vóór alles onderscheid maken tussen drie veel voorkomende mogelijkheden:

- a) Een meer of minder brede groep aan elkaar grenzende golflengten (fig. 2a); er ontstaat dan een indruk van onzuivere, gedempte kleuren.
- b) Het gehele spectrum is in vrij gelijkmatige verdeling aanwezig, echter treedt een zekere golflengtengroep sterker naar voren (fig. 2b); er ontstaat een zachte, valse kleurindruk.
- c) Er zijn twee of meer, van elkaar onafhankelijke aaneengesloten golflengtengroepen aanwezig (fig. 2c); het oog krijgt daarbij de indruk van een enkele kleur, die zich voordoet of als een meer of minder gedempte kleurtoon van het bekende spectrum, of als een nieuwe, in het spectrum niet aanwezige kleurtoon, de z.g. purper kleuren (mengsel van rood en violet).

Het is voornamelijk dit laatste geval, dat niet alleen de grondslag vormt voor

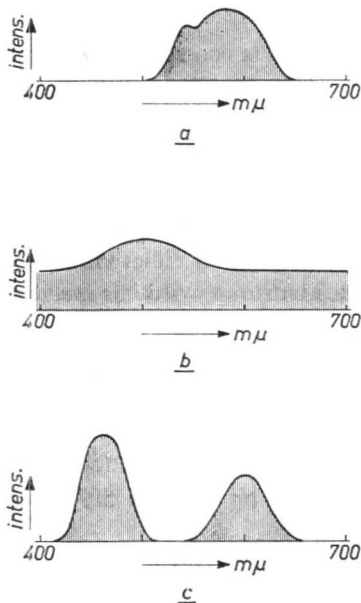


Fig. 2. Intensiteitsverdeling van de spectrale golflengten bij verschillende kleurindrukken.

- a) niet verzadigd, of onzuiver geelgroen;  
 b) bleek, of zacht blauwgroen;  
 c) bij deze golflengteverdeling ontstaat in het oog een nieuwe, meer of minder onverzadigde kleurindruk.

de schilder- en druktechniek, maar waarop ook de kleurenfotografie en de kleurentelevisie zijn gebaseerd.

Dat, wat er in fig. 2c misschien een beetje abstract uitziet, is niets anders dan het aan een ieder bekende en door de grote meesters tot in het volmaakte uitgebuide verschijnsel, dat door het mengen van twee kleuren *schijnbaar* een andere kleur ontstaat; geel met blauw wordt groen, rood met blauw is violet, geel met rood levert oranje op, enz. Deze wijze van kleurmenging wordt *subtractieve* menging genoemd en zo dadelijk zal het duidelijk worden waarom juist „subtractief”. Zoals we weten, ontstaat de kleurindruk van een ondoorzichtig lichaam of ondoorzichtige stof, doordat het oppervlak daarvan, bij opvallend wit licht, niet alle golflengten van de lichtgolven gelijkmatig reflecteert, doch slechts een bepaalde groep van de golflengten terugkaatst; alle overige golflengten worden door het oppervlak geabsorbeerd (en in warmte of een andere vorm van energie omgezet). Het lichaam zien we dan in de kleur, waarvan de golflengten niet worden geabsorbeerd, doch gereflecteerd. Een rode appel absorbeert dus violet, blauw, groen, geel en oranje en reflecteert alleen maar rood.

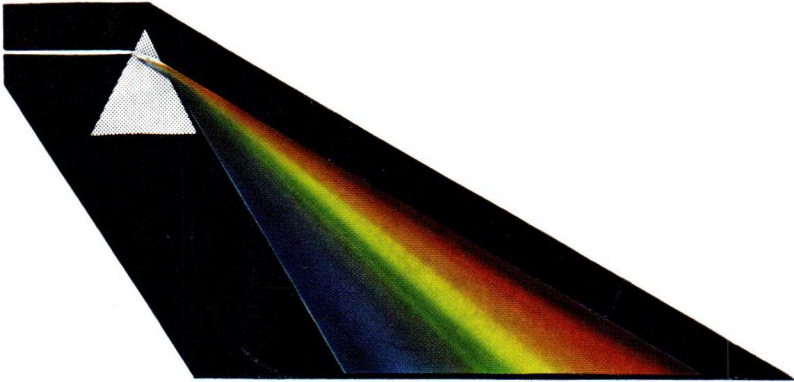


Fig. 3. Splitsing van het witte zonlicht in de zuivere spectrale kleuren wanneer het door een prisma valt.

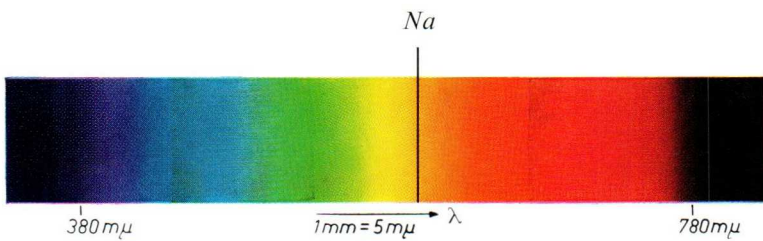
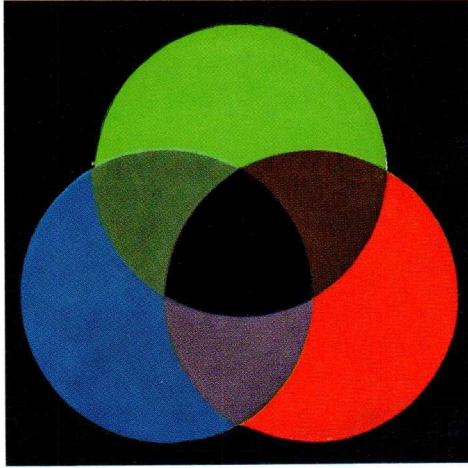
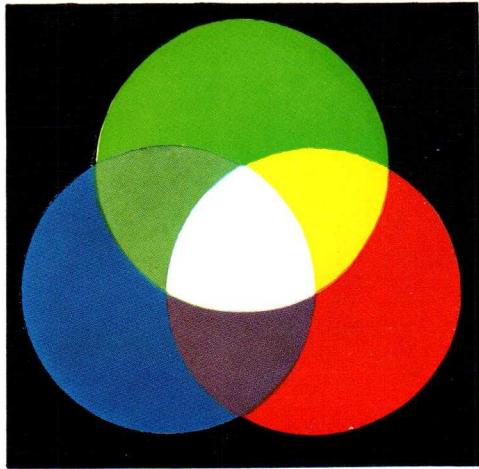


Fig. 4. Golflijntenschaal van het zichtbare licht.

$Na$  = het door gloeiende natriumdamp uitgezonden licht met een golflengte van 589,0 resp. 589,6  $m\mu$ .



**a**



**b**

Fig. 5. a) subtractieve menging van kleurstoffen; b) additieve menging van gekleurd licht.



Een lichaam is zwart, wanneer het al het zichtbare licht absorbeert; grijs is een lichaam, wanneer het alle golflengten weliswaar regelmatig, maar zeer verzwakt reflecteert. Het overgrote deel van het opvallende licht wordt dan dus geabsorbeerd.

Om kleuren samen te stellen, die worden gebruikt voor schilder- of drukwerk, maakt men dan ook gebruik van stoffen, die de gewenste reflectie-eigenschappen bezitten. Gele kleurstof absorbeert violet, blauw, groen, oranje en rood en reflecteert alleen maar geel. Een blauwe kleurstof absorbeert violet, groen, geel, oranje en rood, maar reflecteert alleen het blauw. Worden nu bv. deze beide kleurstoffen goed gemengd, dan zou, aangezien het hier zeer zuivere, verzadigde kleuren betreft, die slechts een zeer smal golflengtengebied reflecteren, zwart ontstaan. Het kleine restant van het kleurenspectrum, dat door de ene kleurstof niet wordt geabsorbeerd zou dan nl. door de andere worden opgenomen. Meestal zijn echter de gebruikelijke kleurstoffen niet zo zuiver of verzadigd, d.w.z. zij reflecteren een tamelijk breed golflengtengebied. Zo zal bv. een gele kleurstof nog aanmerkelijke gedeelten reflecteren van de aangrenzende kleuren groen en oranje, terwijl de blauwe kleurstof ook nog violet en groen reflecteert. Groen is dus de enige kleur uit het kleurenspectrum, die door beide kleurstoffen wordt gereflecteerd; dit is de reden, dat de gemengde kleuren groen te zien geven.

Worden meer dan twee kleurstoffen gemengd, dan wordt de mogelijkheid, dat één bepaalde golflengtengroep door al deze stoffen wordt gereflecteerd, natuurlijk kleiner. Des te meer kleuren met elkaar worden gemengd, des te donkerder wordt in het algemeen het kleurenmengsel, doordat bij iedere volgende kleurstof weer een golflengtengroep aan het kleurenspectrum wordt onttrokken. Vandaar de naam „subtractieve” kleurmenging. In fig. 5a (blz. 10) is deze soort kleurmenging voorgesteld voor de drie kleurstoffen rood, groen en blauw. Opgemerkt dient te worden, dat bij het mengen van kleurstoffen in de schilder- en druktechnieken in werkelijkheid de zaak niet zo eenvoudig ligt als hier is voorgesteld: behalve subtractieve menging treedt daarbij nl. ook nog additieve menging op, die hieronder nader zal worden verklaard.

### **Additieve menging van licht**

Een tweede, voor de televisietechniek veel belangrijker, wijze van kleurmenging is de *additieve* menging van verschillend gekleurd licht. Zij ontstaat,

indien geen verfstoffen, doch licht van twee of meer verschillend gekleurde lichtbronnen wordt gemengd. Mengen wil hier zeggen, dat het licht van deze lichtbronnen op een gemeenschappelijke bijvoorbeeld witte projectiewand valt en daar vandaan ons oog bereikt. Hier veroorzaakt het tezamen inwerken van de verschillende soorten licht een bijzonder verschijnsel, nl. het voorspiegelen van een nieuwe soort licht, dat met geen enkele der aanwezige lichtbronnen overeenkomt.

In tegenstelling tot de subtractieve menging kan bij de additieve menging niet uit het golflengtespectrum worden afgeleid welke fictieve soort licht wordt voorgespiegeld. Zo ontstaat b.v. uit groen en rood licht geel en uit rood en blauw licht purper, een kleur dus, die in het natuurlijke spectrum helemaal niet voorkomt, zodat wij er ook geen golflengte aan kunnen toekennen. In fig. 5b (blz. 6) is de additieve menging voorgesteld voor de drie soorten licht rood, groen en blauw. Bij het vergelijken van de figuren 5a en b is waarschijnlijk wel het meest opvallend, dat bij het mengen van de *kleurstoffen* rood, groen en blauw slechts zwart, dus geen kleur en geen licht overblijft, echter bij het mengen van de drie *soorten licht*: rood, groen en blauw juist wit licht ontstaat, of beter gezegd, aan het oog wordt voorgespiegeld. Dit laatste is echter eigenlijk niet zo heel verwonderlijk, want sedert Newton weten we, dat wit licht geen zelfstandig bestaande soort licht is, maar het resultaat van het, op het netvlies van het oog, gemeenschappelijk inwerken van soorten licht met alle kleuren, die in de regenboog voorkomen.

Vele proeven hebben aangetoond, dat het mogelijk is met reeds twee verschillend gekleurde lichtbronnen wit licht na te bootsen en dat niet alleen met twee bepaalde soorten licht, maar zelfs met een oneindig aantal van dergelijke paren licht. Zo behoort er bv. bij iedere golflengte uit het rode deel van het spectrum een bepaalde golflengte uit het blauwgroene gedeelte, die tezamen met de eerste de indruk van wit licht oplevert; bij iedere gele golflengte is een daarvoor geschikte blauwe te vinden enz. Voorwaarde daarvoor is dan alleen maar, dat de intensiteiten van deze lichtbronnen in een bepaalde verhouding tot elkaar staan. Dergelijke kleurenparen, die bij additieve menging de indruk van wit opleveren, worden *complementaire kleuren* genoemd.

Hierboven werd opgemerkt, dat voor het nabootsen van wit licht de intensiteiten van *twee* complementaire lichtbronnen in een bepaalde verhouding tot elkaar moeten staan. Breidt men de experimenten uit tot *drie* willekeurige

lichtbronnen, zoals b.v. de in fig. 5b aangenomen rode, groene en blauwe, en verandert men willekeurig de intensiteiten daarvan, dan blijkt, dat op deze wijze het grootste deel van alle praktisch voorkomende soorten licht, inclusief wit kan worden nagebootst. Dit verschijnsel, dat ook Newton reeds kende, vormt de eigenlijke grondslag voor de kleurentelevisie.

Bij de tegenwoordige stand van onze wetenschap is dat nog wel niet tot in details te verklaren, maar het kan wel worden teruggevoerd op de fysiologische en psychologische verschijnselen, welke zich tijdens het „zien” afspelen tussen het netvlies van het oog en het gezichtscentrum in de hersenen. Men neemt aan, dat de kegeltjes op het netvlies\* bestaan uit drie verschillende soorten: een rood-, een groen- en een blauwgevoelige soort, waarbij echter de respectievelijke kleurgevoeligheden niet slechts zijn beperkt tot een zeer smalle golflengtenband, maar ook tot op zekere hoogte nog bestaan voor aangrenzende golflengten- (kleur-) gebieden, daarin echter volgens een zekere wetmatigheid afnemen.

Wordt het netvlies bv. getroffen door geel licht, dan wordt weliswaar geen van de drie soorten kegeltjes maximaal geprikkeld, maar wel zullen zowel de groen- als ook de roodgevoelige een zekere prikkel ontvangen en doorgeven aan het gezichtsbewustzijn. Deze dubbele prikkel wordt daar dan als „geel” geregistreerd. Nu kunnen echter dezelfde kegeltjes in dezelfde mate ook worden geprikkeld doordat men rood en groen licht in een zekere intensiteitsverhouding tegelijkertijd op het netvlies laat vallen. Ook dan komen er weer zowel van de groen- als ook van de roodgevoelige kegeltjes prikkels tot het gezichtsbewustzijn waardoor dan ook weer de kleur „geel” wordt geregistreerd. Men kan zich gemakkelijk voorstellen, dat er zeer veel, theoretisch zelfs oneindig veel combinaties van rode en groene soorten licht bestaan, die, als ze maar in de juiste intensiteitsverhouding op het netvlies inwerken, als een en dezelfde soort geel worden geregistreerd.

Omgekeerd kan echter ook door verandering in de intensiteit van twee in kleur onveranderlijke lichtbronnen rood en groen, iedere prikkelings-toestand van de rood- en groengevoelige kegeltjes worden opgewekt, die dan overeenkomt met de kleuren in dat deel van het spectrum, dat tussen rood en groen ligt: dus van rood over oranje, geel en geelgroen tot groen.

Men zou in de verleiding kunnen komen te geloven, dat door het ver-

---

\*) Zie „Televisie zonder formules” door W. Holm, fig. 11, blz. 16.

vangen van de groene lichtbron door een blauwe en door verandering van de intensiteit van deze blauwe lichtbron, het mogelijk zou zijn alle kleuren te vormen, die in het golflengtespectrum tussen deze beide soorten licht liggen; dat zou dan praktisch het gehele spectrum zijn. Dat is echter geenszins het geval, men krijgt met deze beide lichtbronnen slechts kleurindrukken die variëren tussen violet en purper (purperkleuren). Het grootste deel van deze kleurindrukken komt in het natuurlijke spectrum helemaal niet voor en heeft dus ook geen kenmerkende golflengten.

Pas wanneer een derde lichtbron wordt gebruikt, dus met een rode, groene en blauwe tezamen, lukt het, door verandering van de intensiteitsverhouding van de drie lichtbronnen vrijwel alle voorkomende kleuren (en daarenboven ook nog de purperkleuren) te produceren. En wel lukt dat des te beter naarmate de gebruikte lichtbronnen beter overeenkomen met zuivere spectrale lichtsoorten. In dat geval geldt de zeer belangrijke, slechts op het fysiologische proces van het zien berustende grondregel:

Iedere gewenste kleurindruk kan worden nagebootst door menging van drie willekeurige soorten licht in de juiste intensiteitsverhouding; eveneens kan door het veranderen van de intensiteitsverhouding van drie gegeven soorten licht iedere gewenste kleurindruk worden opgewekt.

Deze theoretisch zo eenvoudige regel bezit, zoals later zal blijken, nog enige onvolkomenheden en er zijn voor praktisch gebruik wel enige beperkingen nodig. Hij vormt echter het belangrijkste fundament voor de theoretische kleurenleer.

### **Kleurcomponenten**

Om met deze grondregel praktisch te kunnen werken moet hij echter eerst nog een kwantitatieve inhoud krijgen. Hiervoor dienden de met honderden personen telkens herhaalde series proeven, die ten doel hadden, niet alleen de drie „primaire” soorten licht rood, groen en blauw te vinden, door de combinatie waarvan het grootste aantal zo zuiver mogelijke spectrale kleuren kon worden gevormd, maar ook het vaststellen van de intensiteitsverhoudingen van deze drie lichtbronnen, die nodig zijn om iedere willekeurige spectrale kleur na te bootsen. De uitkomsten van deze series proeven werden in tabellen ondergebracht, die door de C.I.E. (Commission International d'Éclairage) tot internationale norm werden verklaard.

Een grafische voorstelling daarvan is in fig. 6 gegeven. Als primaire kleuren werden de volgende zuivere spectrale kleuren vastgesteld:

rood met een golflengte van	700,0 $m\mu$
groen met een golflengte van	546,1 $m\mu$
blauw met een golflengte van	435,8 $m\mu$

De drie krommen *R*, *G* en *B* van fig. 6 geven aan welke intensiteit uitgedrukt in *lumen*, elk van de drie primaire lichtbronnen moet hebben om een van de spectrale kleuren tussen 400 en 700  $m\mu$  met een intensiteit van 1 lm op te leveren. (De lumen is de eenheid van lichtstroom, dat is het totaal van de lichtstraling, die door een lichtbron in alle richtingen in de ruimte wordt uitgezonden, tot op zekere hoogte gelijk te stellen met de lichtenergie; meer

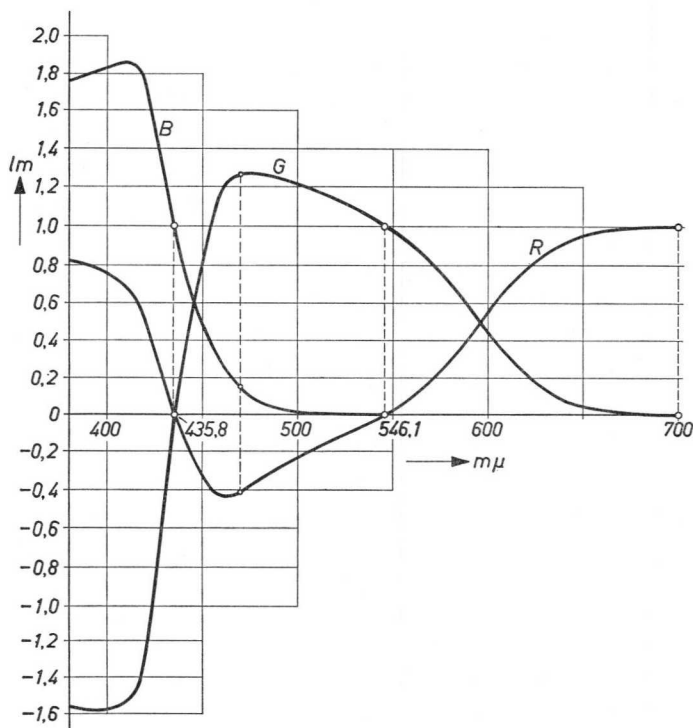


Fig. 6. De trichromatische kleurcoëfficiënten van de spectrale kleuren. De primaire kleuren zijn 435,8  $m\mu$  voor blauw, 546,1  $m\mu$  voor groen en 700,0  $m\mu$  voor rood.

hierover zie blz. 22). Op deze manier zijn dus, om een analogie uit de mechanica te gebruiken, alle spectrale kleuren samen te stellen uit de drie *componenten*  $R$ ,  $G$  en  $B$ . Men noemt daarom de bij ieder punt van de golflengteschaal behorende waarden van  $R$ ,  $G$  en  $B$  de *kleurcomponenten* van de betreffende spectrale kleur.\* Hieronder zal worden aangetoond, dat ook iedere andere mengkleur kan worden samengesteld uit kleurcomponenten  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$  en  $\bar{B}$ , die aan de te stellen eisen voldoen.

In fig. 6 valt het op, dat voor het nabootsen van spectrale kleuren met golflengten korter dan  $546 \text{ m}\mu$  steeds een van de beide gekozen primaire lichtbronnen negatief aanwezig moet zijn. Dit is praktisch wel niet uitvoerbaar, maar toch hebben de negatieve gedeelten hun betekenis voor de verdere kwantitatieve opbouw van de theorie. Zij vertellen ons, dat het in dit gebied van het spectrum niet mogelijk is zuivere spectrale kleuren na te bootsen, doch slechts een mengsel van de betreffende spectrale kleur met een zeker aandeel van die primaire kleur, die bij deze golflengte negatief is. Zo kan bv. het spectrale blauwgroen met een golflengte van  $470 \text{ m}\mu$  niet worden nabootst, maar wel een mengsel van dit blauwgroen met een zeker aandeel van primair rood. Uitgedrukt in getalwaarde geeft het mengen van 1 lm blauwgroen ( $470 \text{ m}\mu$ ) met ca. 0,42 lm rood ( $700,0 \text{ m}\mu$ ) dezelfde lichtindruk als het mengen van ca. 1,28 lm groen ( $546,1 \text{ m}\mu$ ) met ca. 0,14 lm blauw ( $435,8 \text{ m}\mu$ ).

Er is wel geen aparte verklaring voor nodig, dat in fig. 6 bij de punten van de golflengteschaal, die overeenkomen met de drie gekozen primaire kleuren de betreffende primaire kleur in een sterkte 1 (lm) aanwezig moet zijn, doch de beide andere primaire kleuren uit deze golflengte verdwenen moeten zijn; dat zijn dus de punten  $435,8$ ,  $546,1$  en  $700,0 \text{ m}\mu$ . Verder moet, overeenkomstig het additieve gedrag bij het mengen van lichtstromen, de som van de drie waarden op de krommen even groot zijn voor ieder punt van de golflengteschaal, namelijk volgens de aangenomen waarde gelijk aan 1 lm.

De krommen  $R$ ,  $G$  en  $B$  van fig. 6 gelden slechts voor het nabootsen van zuivere spectrale kleuren, d.w.z. voor kleuren dus, die theoretisch uit slechts een golflengte bestaan. Iets gecompliceerder worden de problemen, wanneer het gaat om de reproductie van alle in het dagelijks leven voorkomende kleuren, die praktisch nooit uit slechts een enkele, doch meestal uit een veelvoud van golflengten bestaan, die continu een meer of minder groot deel

---

\*) De exacte benaming is *trichromatische kleurcoëfficiënten*.

van de golflengtschaal beslaan (zie fig. 2). In dit geval moet tenminste theoretisch zo worden gehandeld, dat met behulp van de waarden op de krommen *R*, *G* en *B* (fig. 6) voor elk van de optredende golflengten de daarmee overeenstemmende drie primaire componenten worden vastgesteld, waarna deze rode, groene en blauwe zuivere componenten door optelling tot telkens een rode, groene en blauwe totaalcomponent moeten worden samengesteld. De getallenwaarden van deze totaalcomponenten geven dan aan, met welke intensiteiten de drie primaire soorten licht (435,8 – 546,1 en 700,0  $m\mu$ ) additief moeten worden gemengd om de gegeven kleurindruk op te leveren.

### Ooggevoeligheidskromme

Om een dergelijke bewerking praktisch te kunnen uitvoeren moet dus vóór alles de intensiteitsverdeling worden vastgesteld van de verschillende in de te onderzoeken soort licht aanwezige golflengten. Men zal hiertoe zoals gebruikelijk in iedere meettechniek opstellingen maken, waarvan de resultaten zo mogelijk worden gevonden door het meten van werkelijk aanwezige grootheden en niet door inschakeling van subjectieve beoordelingen en schattingen, die al naar de omstandigheden zijn, verschillend kunnen uitvallen. Juist op het gebied van de licht- en kleurmetingen wordt het belang van objectieve meetmethoden onderstreept, doordat de subjectieve beoordelingen van kleuren en de helderheid door verschillende beoordelaars altijd verschillend uitvallen en onderling zelfs zeer grote afwijkingen kunnen vertonen; men denke bv. aan de extreme gevallen van gehele of gedeeltelijke kleurenblindheid. Omdat de subjectieve indruk „licht” tot stand komt door inwerking van een bepaalde vorm van energie, namelijk elektromagnetische stralingsenergie, ligt het voor de hand voor alle theoretische berekeningen de objectieve methoden van energiemetingen als grondslag te nemen.

Een opmerkelijke omstandigheid, die zich voor doet bij dergelijke over het gehele spectrale gebied uitgevoerde stralingsenergie-metingen, is het opvallende verschil, dat er bestaat tussen de gemeten energieën en de telkens door het oog geregistreerde lichtindrukken. In fig. 7 is voor alle golflengten deze verhouding tussen uitgestraalde energie (uitgedrukt in watt) en de waargenomen lichtindruk (in lumen) voorgesteld. Deze kromme, die evenals de krommen van fig. 6 de gemiddelde resultaten aangeeft van zeer veel experi-

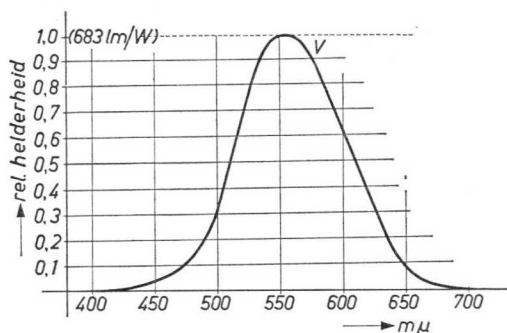


Fig. 7. De ooggevoeligheidskromme geeft de in het oog opgewekte helderheidsindruk aan van de afzonderlijke spectrale kleuren, als deze met gelijke energie worden uitgestraald.

menten met veel proefpersonen, werd internationaal vastgelegd als de z.g. ooggevoeligheidskromme. Zij geeft aan in welke verhouding de gemiddelde waarnemer de helderheden van de verschillende spectrale kleuren beoordeelt, wanneer deze kleuren door de overeenkomstige spectrale lichtbronnen met dezelfde energie worden uitgestraald.

Men ziet, dat het menselijk oog de grootste gevoeligheid heeft voor groen licht met een golflengte van ongeveer  $555 \text{ m}\mu$  en zowel naar het rode als ook het blauwe deel van het spectrum ongevoeliger wordt, om tenslotte golflengten langer dan ongeveer  $700 \text{ m}\mu$  en korter dan ongeveer  $400 \text{ m}\mu$  zelfs helemaal niet meer als licht waar te nemen, hoewel ook deze golflengten met onverminderde energie worden uitgestraald door de stralingsbron. In het eerste geval gaat het dan om *warmtestralen*, in het laatste om *ultraviolette stralen*. Ter wille van de volledigheid moet nog worden opgemerkt, dat voor de golflengte met de gunstigste omvorming van stralingsenergie in zichtbaar licht, dus ongeveer bij  $555 \text{ m}\mu$ , een stralingsenergie van 1 watt overeenkomt met een lichtstroom van ca. 680 lumen.

Na deze korte, maar noodzakelijke zijspreek keren we weer terug naar de reeds begonnen bewerking, welke ten doel had, voor een uit een meer of minder breed golflengtespectrum bestaande soort menglicht (mengkleur) de drie componenten van de primaire kleuren te vinden, waarmee dit soort licht kan worden nagebootst. Er is reeds opgemerkt, dat hiertoe de intensi-



teitsverdeling van alle in dit menglicht voorkomende golflengten moet worden vastgesteld en het blijkt nu het beste te zijn tot dat doel een energiemeting over het gehele spectrum uit te voeren. De op deze manier afzonderlijk gedefinieerde golflengten kunnen dan met behulp van de  $R$ -,  $G$ -,  $B$ -krommen (fig. 6) worden ontbonden in de afzonderlijke componenten en deze kunnen dan weer door optelling worden samengevoegd tot een rode, groene en blauwe totaalcomponent.

Wetende, dat de verschillende golflengten bij gelijke hoeveelheid energie zich met zeer uiteenlopend rendement aan ons oog als licht voordoen is het duidelijk, dat het samenstellen van de verschillende componenten niet door een eenvoudige optelling mag plaats hebben; de samenstellende componenten van iedere golflengte moeten feitelijk eerst worden vermenigvuldigd met de daarvoor geldende waarde van de ooggevoeligheidskromme. De krommen van fig. 6 berusten namelijk niet op metingen van energieën, maar op het vergelijken van subjectieve kleur- en helderheidsindrukken. Het is dus het eenvoudigste de drie krommen van fig. 6 te vermenigvuldigen met de ooggevoeligheidskromme en met behulp van deze nieuwe in fig. 8 getekende krommen  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$  en  $\bar{B}$ , de primaire kleurcomponenten te bepalen voor iedere afzonderlijke golflengte. De met deze waarden gevonden enkelvoudige componenten kunnen dan zonder meer worden opgeteld en leveren dan direct de rode, groene en blauwe totaal componenten (in  $lm$ ) op van de gegeven mengkleur. Exact uitgedrukt: met  $\bar{R}$   $lm$  rood ( $700,0 m\mu$ ),  $\bar{G}$   $lm$  groen ( $546,1 m\mu$ ) en  $\bar{B}$   $lm$  blauw ( $435,8 m\mu$ ) kan de betreffende kleurindruk volgens helderheid en kleur worden nagebootst.

### De kleurendriehoek

Weliswaar zijn de krommen van fig. 8 een van de belangrijkste theoretische hulpmiddelen bij alle berekeningen in de kleurenleer en ook bij de kleuren-televisie, ze zijn echter niet erg handig voor praktisch gebruik. Hiervoor kan een handiger manier van voorstelling worden gevonden. Zonder op de daarvoor nodige manipulaties verder in te gaan wordt opgemerkt dat het, met behulp van eenvoudige wiskundige bewerkingen, mogelijk is de drie componenten  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$  en  $\bar{B}$ , die ook kunnen worden beschouwd als *coördinaten* van een *ruimtelijk* kleurcoördinatensysteem, te transformeren in een ander, eveneens ruimtelijk coördinatensysteem. Aan dit nieuwe, om vele redenen ge-

kozen, coördinatensysteem werd onder anderen de eigenschap ten grondslag gelegd dat de helderheidsindruk alleen tot uitdrukking komt in een enkele coördinaat, de  $Y$ -coördinaat; de eigenlijke karakterisering van de kleur, dus de kleurtoon en de verzadiging door de beide andere coördinaten, de  $X$ - en de  $Z$ -coördinaten. Voor een ondubbelzinnige aanduiding van de kleurindruk is het opgeven van de beide laatstgenoemde coördinaten voldoende. Er dient echter op gewezen te worden, dat de coördinaten niet een directe maat vormen voor kleurtoon en verzadiging, maar dat tussen  $X$  en  $Z$  enerzijds en kleurtoon en verzadiging anderzijds een ingewikkeld verband bestaat.

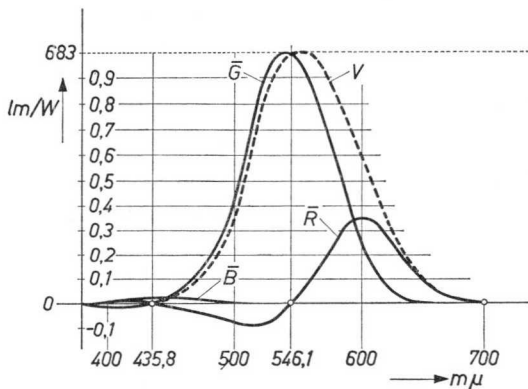


Fig. 8. De trichromatische kleurcoördinaten van de spectrale kleuren. De primaire kleuren zijn dezelfde als in fig. 6. De ooggevoelighedskromme  $V$  is met een stippellijn er in getekend.

Deze transformatie werd voor alle spectrale kleuren uitgevoerd en de resultaten werden vastgelegd in de zgn. tabellen van *kleurcoördinaten*.

Gaat het echter alleen om het vastleggen van de kleurwaarde en niet om de helderheid, dan kan door een verdere transformatie een zeer overzichtelijke grafische voorstelling in een vlak, rechthoekig coördinatensysteem met de assen  $x$  en  $y$  worden gevonden. Dan ontstaat de zogenaamde *kleuren-driehoek*, die afgebeeld is op de uitslaande plaat achter in dit boek. (zie ook fig. 9 blz. 18). Het door de hoefijzervormige kromme omsloten deel van het vlak omvat alle, zowel in werkelijkheid bestaande spectrale soorten licht (langs het gebogen gedeelte van de omtrek) als ook de alleen maar in onze gezichtszin voorkomende mengkleuren (in het binnengedeelte van het hoefijzer en langs de onderste grenslijn). Iedere willekeurig denkbare kleur is op een bepaald punt van het vlak van het hoefijzer te vinden en is dan ondubbelzinnig vastgelegd door een  $x$ - en een  $y$ -coördinaat. Hierbij moet worden opgemerkt, dat het noch door drukken, noch door schilderen, noch door een andere

reproductietechniek mogelijk is een kleurendriehoek in al zijn kleuren juist weer te geven; niet alleen omdat dit boven het menselijke kunnen uitgaat, maar ook omdat drukinkten en verven op geen stukken na de zuiverheid hebben van de spectrale kleuren, zodat ze deze laatste ook niet kunnen reproduceren.

Zonder de wiskundige bewerkingen te kennen, die leiden tot het samenstellen van de kleurendriehoek, zou men het ontstaan daarvan ook kunnen verklaren als het hoefijzervormig ombuigen van de regenboogscala, waarbij de golflengteschaal zowel in het rode als in het blauwe uiteinde sterk wordt samengedrukt. Langs de hoefijzervormige omtrek liggen dan de zuivere spectrale kleuren, terwijl in het binnenste gedeelte van de hoefijzervorm naar het middelpunt toe deze zelfde kleuren meer en meer verbleken, dus steeds minder verzadigd optreden.

Het middelpunt zelf is wit. Het onderste, open einde van het hoefijzer wordt door een niet aangeduide rechte lijn afgesloten, waarlangs de reeds meermalen genoemde purperkleuren liggen. Dit zijn de mengkleuren uit violet en rood, die slechts in onze gezichtszin en niet in het natuurlijke spectrum voorkomen. Behalve de reeds genoemde aanduiding van ieder kleurpunt van het door de hoefijzervormige kromme omsloten deel van het vlak met behulp van de  $x$ -, resp.  $y$ -coördinaten, kan aan ieder kleurpunt ook nog een *dominerende golflengte* worden toegekend. Dat is de golflengte, die de verlengde verbindingslijn tussen het witpunt van de driehoek en het kleurpunt aangeeft op de omtrek van het hoefijzer. Ook aan de purperkleuren kan een dominerende golflengte worden toegekend als de verbindingslijn voorbij het witpunt wordt verlengd tot aan de omtrek van het hoefijzer. Voor deze reële golflengte moet dan echter een minteken worden geplaatst.\*

Ter wille van de volledigheid moet nog worden opgemerkt, dat het  $x$ -,  $y$ -,  $z$ -coördinatensysteem weliswaar het door de C.I.E. genormaliseerde en ook voor de kleurentelevisie als grondslag dienende systeem is, maar dat er ook nog andere coördinatensystemen werden berekend, die voor andere doeleinden worden gebruikt.

Het praktische voordeel van de C.I.E. kleurendriehoek ligt daarin, dat

---

\*) Het „witpunt” is geen punt, doch een klein gebied in de kleurendriehoek; alle kleuren die daarbinnen liggen worden als wit waargenomen. In dit gebied zijn door de C.I.E. twee soorten wit als „standaardwit” vastgesteld: standaardwit B komt overeen met de kleur van het zonlicht 's middags om 12 uur, standaardwit C met het iets blauwere normale daglicht. Dit laatste geldt als standaardwit bij kleurentelevisie (referentiewit). Bovendien werd nog standaardwit A vastgelegd als standaard voor het licht van gloeilampen.

het door de juiste keuze van het  $x$   $y$ -coördinatensysteem, mogelijk is geworden het resultaat van de additieve menging van twee of meer soorten licht dadelijk te kunnen bepalen met behulp van een eenvoudige meetkundige constructie. Fig. 9, waarin de kleurendriehoek nog eens schematisch is voorgesteld, maakt dit duidelijk.

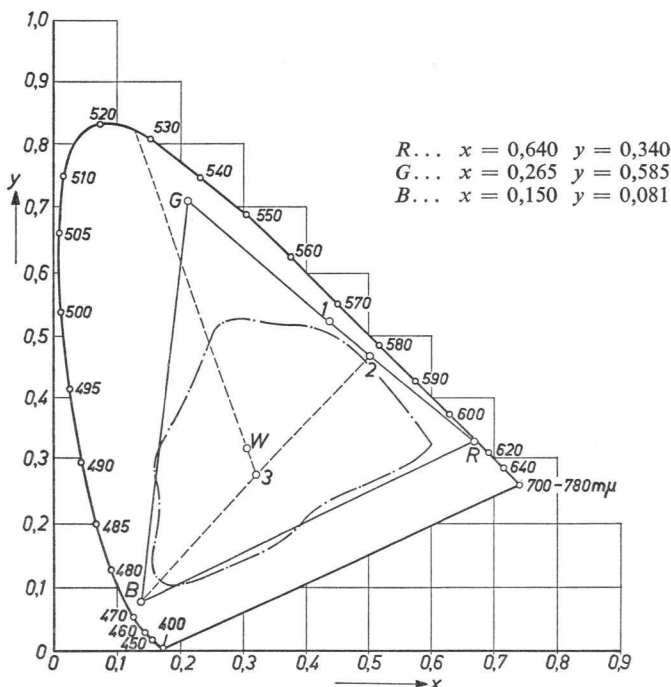


Fig. 9. De kleurendriehoek.

$R$ ,  $G$ ,  $B$  = de voor de kleurentelevisie vastgestelde primaire kleuren;  $W$  = witpunt (standaard illuminant  $C$ ). Alle binnen de driehoek  $R$ - $G$ - $B$  liggende kleuren kunnen door de kleurentelevisie worden weergegeven; met streep-puntlijn is aangegeven het kleureng gebied, dat door andere reproductiemethoden, zoals drukken, schilderen, kleurenfilm enz. kan worden weergegeven.

$R$  en  $G$  zijn een rode resp. groene lichtbron met dominerende golflengten van ca.  $615 \text{ m}\mu$ , resp.  $537 \text{ m}\mu$  en de in de figuur aangegeven  $x$ - en  $y$ -coördinaten. Wanneer beide lichtbronnen met een gelijke intensiteit stralen, dan ligt het kleurpunt van het menglicht dat ontstaat, precies in het midden van de verbindinglijn  $R$  —  $G$ , dat is het punt 1 met een dominerende golflengte van ca.  $572 \text{ m}\mu$ , dus geel. Zou de intensiteit van  $R$  twee maal zo groot zijn

als die van  $G$ , dan moet de verbindingslijn  $R - G$  in een verhouding  $2 : 1$  worden gedeeld en wordt het punt 2 gevonden met een dominerende golflengte van ca.  $580 \text{ m}\mu$ , dus oranje. De intensiteit van dit menglicht is dan gelijk aan de som van de intensiteiten van  $R$  en  $G$ , dus bij de aangenomen intensiteitsverhouding van  $2 : 1$  wordt dat een relatieve intensiteit van 3.

Voegt men er nu nog een derde, blauwe lichtbron  $B$  met de in de figuur aangegeven coördinaten en een relatieve intensiteit van bijvoorbeeld eveneens 3 aan toe, dan ligt het kleurpunt van het uit de menging van  $R$ ,  $G$  en  $B$  resulterende menglicht in het midden (3) van de verbindingslijn van  $B$  naar punt 2. De relatieve intensiteit van dit licht zal dan  $3 + 3 = 6$  zijn en de kleur zeer weinig verzadigd, dus bijna tot wit verbleekt purper met de niet reële dominerende golflengte van ca.  $527 \text{ m}\mu$  (zie blz. 17).

Het is hier de plaats om er op te wijzen, dat door de verbindingslijn tot voorbij het witpunt te verlengen, automatisch ook de complementaire kleur wordt vastgelegd. Uit de zo juist beschreven eigenschappen van de kleurendriehoek direct, dat complementaire kleuren, die tezamen wit opleveren, moeten liggen op een rechte lijn, die door het witpunt loopt. Op deze lijn liggen nu theoretisch „oneindig” veel paren kleurpunten, die tezamen wit opleveren wanneer hun intensiteitsverhouding omgekeerd evenredig is met hun afstanden tot het witpunt.

Het hier behandelde voorbeeld is voldoende om in te zien, dat door het veranderen van de intensiteiten van de drie aangenomen lichtbronnen alle kleurindrukken kunnen worden verkregen waarvan de kleurpunten binnen de door  $R$ ,  $G$  en  $B$  gevormde driehoek liggen. Wanneer het er dus, zoals onder andere ook bij de kleurentelevisie, om gaat door het veranderen van de intensiteit van drie gegeven lichtbronnen zoveel mogelijk kleuren te vormen, dan moeten de kleurpunten van deze drie lichtbronnen zo ver mogelijk over de omtrek van het kleurenhoefijzer worden verspreid. In het geval van kleurentelevisie moet er echter rekening mee worden gehouden, dat deze lichtbronnen bestaan uit de luminiforen van elektronenstraalbuizen en men wel luminiforen in de verschillendste kleuren kan laten oplichten, maar dat daarbij de omzetting van de energie van de elektronen in lichtenergie niet steeds met een hoog rendement plaats heeft. Voor een, in dit opzicht gunstige compromis-oplossing werden luminiforen gevonden en als thans geldende norm vastgelegd, waarvan de kleurpunten overeenkomen met de in fig. 9 aangenomen punten  $R$ ,  $G$  en  $B$ . De daardoor omspannen driehoek is in ver-

houding zeer groot en bevat bijna alle in de praktijk voorkomende kleuren; vóór alles ook de zeer belangrijke sector tussen rood en groen, die onder andere van zeer veel belang is voor een juiste weergave van huidskleuren.

Hoe gunstig de keuze van deze primaire kleuren in werkelijkheid is blijkt uit een vergelijking van de driehoek  $R - G - B$  met het met streep-stiplijn ingetekende, aanmerkelijk kleinere gebied, dat het met alle andere reproductiemiddelen, zoals drukken, schilderen of kleurenfilm, bereikbare kleurengebied voorstelt.

De weergave van de kleuren van een goed werkende kleurentelevisie-installatie is dus aanmerkelijk beter dan van iedere andere methode van reproductie met inbegrip van de projectie van kleurenfilms.

Alvorens de kennis over de kleurendriehoek, resp. de kleurcoördinaten toe te passen op de kleurentelevisie zal, ter wille van de volledigheid, eerst nog iets worden verteld over de tot nu toe telkens gebruikte begrippen helderheid, kleurtoon en verzadiging. Als deze behandeling wat uitvoerig uitvalt, dan is dat omdat zelfs in vakkringen hierover nog dikwijls verkeerde opvattingen bestaan.

### **Helderheid en andere lichttechnische grootheden**

Voor het volledig aanduiden van een licht- of kleurindruk is het voldoende drie karakteristieke grootheden op te geven, namelijk de *helderheid*, de *kleurtoon* en de *kleurverzadiging*. Over de beide laatste begrippen behoeft niet veel te worden gezegd: kleurtoon is dat kenmerk van de licht- resp. kleurindruk, waarvoor we de verschillende aanduidingen van de kleurenschaal hebben bedacht: zoals b.v. karmijnrood, citroengeel, mosgroen enz., maar niet de aanduidingen als rose, lichtgroen, donkerblauw en dergelijke. Deze laatste aanduidingen drukken nl. in de eerste plaats niet nauwkeurig de *kleurtoon* uit, maar slaan meer op die andere kenmerkende eigenschap van kleuren: de *verzadiging*. Rose b.v. wil zeggen, dat het gaat om een meer of minder bleke kleurindruk uit het rode gebied van het spectrum, maar vertelt ons niet om welke van de vele kleurtonen het gaat tussen vermiljoen en purper. Met behulp van de kleurendriehoek kan men ook zeggen, dat de kleurtoon alleen wordt bepaald door de dominerende golflengte van het desbetreffende kleurpunt, waarvan de afstand tot het witpunt echter een maat voor de verzadiging van de kleur is.

Minder eenvoudig is het echter om over het begrip helderheid te spreken, omdat dit woord in het Nederlands twee betekenissen heeft: Op de eerste plaats kan met het woord helderheid een zuiver subjectieve helderheidsindruk worden aangegeven, die door een licht- of kleurverschijnsel in het oog teweeggebracht wordt. In dit geval is het woord helderheid geen fysisch meetbare grootheid die men aan een lichtbron of belicht voorwerp kan toekennen, omdat de daarmee bedoelde helderheidsindruk te zeer afhankelijk is van omstandigheden, zoals b.v. de afstand van waaruit het voorwerp of de lichtbron wordt bekeken, de gezichtshoek, de helderheid van de omgeving, de afmetingen van de lichtgevende oppervlakte enz.

De tweede betekenis, die men aan het woord helderheid heeft gegeven, is die van een exact, fysisch meetbare grootheid, nl. die hoeveelheid licht, die per oppervlakte eenheid in de richting van de toeschouwer wordt uitgestraald; dit wordt op blz. 25 nog nader uiteengezet. Opgemerkt dient te worden, dat in de andere talen voor deze dubbele betekenis van het woord helderheid ook twee verschillende woorden in gebruik zijn. Bedoelt men de subjectieve betekenis, dan gelden in het Engels, Duits, Frans, resp. de woorden „brightness”, „Helligkeit” en „brillance”, voor de meetbare grootheid echter „luminance”, „Leuchtdichte” en „luminance”.

Nu heeft echter ieder lichtverschijnsel natuurlijk ook wanneer de naam helderheid daarvoor niet toelaatbaar is, een zekere kenmerkende eigenschap, die afhankelijk van de sterkte daarvan (en van uiterlijke omstandigheden) een meer of minder sterke helderheidsindruk in het oog te voorschijn roept; deze kenmerkende eigenschap wordt *lichtsterkte* genoemd. Men stelle zich het zeer kleine lichtpunt van een zaklantaarnlampje voor; met een oude batterij zal deze gloeidraad zich aan het oog veel minder helder voordoen dan met een nieuwe batterij: de lichtsterkte van de gloeidraad is in het laatste geval veel groter geworden. Plaatst men een kleine spiegel vlak achter het lampje, dan wordt de lichtsterkte naar de voorzijde verdubbeld, naar de achterzijde echter wordt zij nul: de lichtsterkte van het van een lichtbron uitgaande licht kan dus in verschillende richtingen verschillend zijn. Lichtsterkte heeft ook niets te maken met de grootte van de lichtbron, dus met de afmetingen van het oppervlak, dat licht uitstraald. Als bijvoorbeeld de helderheid, waarmee voorwerpen in de buurt van het zaklantaarnlampje verschijnen, ook kan worden verkregen door middel van een zich op dezelfde plaats bevindende kaarsvlam, dan levert de in verhouding grote kaarsvlam

dezelfde lichtsterkte als de bijna puntvormige gloeidraad van het zaklantaarnlampje.

De lichtsterkte van een lichtbron moet dus in het algemeen worden aangegeven in elk van de verschillende richtingen en vormt dan een maat voor de intensiteit, waarmee het totale oppervlak van de lichtbron in die bepaalde richting licht uitstraalt.

De internationale eenheid van lichtsterkte is de *candela* (cd). Dat is 1/60 van de lichtsterkte, met welke het „zwarte lichaam” bij de temperatuur van stollend platina (1774 °C) per vierkante centimeter normaal aan zijn oppervlak straalt.

Wanneer, zoals zo juist werd gezegd, de lichtsterkte van een lichtbron in alle richtingen verschillend kan zijn (men denke bv. aan fluorescentiebuizen, waarvan de lichtsterkte in de richting van de lengte-as vrijwel nihil is, maar in alle andere richtingen een zeer grote waarde heeft), dan is het duidelijk, dat dit begrip alleen nog niets zegt over de totale door een lichtbron in alle richtingen uitgestraalde hoeveelheid licht. Daarvoor dient het begrip *lichtstroom*. De van een lichtbron uitgaande lichtstroom is equivalent met de uitgezonden lichtenergie. Als – om bij het hierboven gebruikte voorbeeld te blijven – een zaklantaarnlampje op een nieuwe batterij de omgeving veel helderder verlicht dan met een vrijwel lege batterij, dan is door het toevoeren van meer elektrische energie ook de uitgezonden lichtenergie groter geworden, de lichtstroom is toegenomen. Wordt daarentegen met behulp van een spiegel de lichtsterkte slechts vergroot in één richting, maar daarentegen in de andere richtingen verminderd, dan is daardoor aan de totale door het lampje uitgestraalde lichtenergie niets veranderd, de totale lichtstroom is gelijk gebleven. In het eerste geval toch was de totale lichtstroom naar alle richtingen in de ruimte gelijkmatig verdeeld, in het tweede geval echter is de lichtstroom per eenheidsruimtehoek in die ene richting veel groter geworden. De eenheid van lichtstroom is de *lumen* (lm). Dat is de lichtstroom, die een puntvormige, in alle richtingen met een lichtsterkte van 1 candela gelijkmatig stralende lichtbron, in de eenheidsruimtehoek (1 steradiaal) uitzendt.\*

Om vergissingen te voorkomen willen wij er nogmaals op wijzen, dat onder lichtstroom slechts dat gedeelte van de door een lichtbron uitgestraalde stra-

---

\*) Evenals bij de vlakke meetkunde de eenheidshoek (1 radiaal) ontstaat door deling van de omtrek van een cirkel door  $2\pi r$  (omtrek =  $2\pi r$ ), wordt de eenheidsruimtehoek gevonden door het oppervlak van een bol te delen door  $4\pi r^2$  (oppervlak bol =  $4\pi r^2$ ).





Een moderne kleurencamera

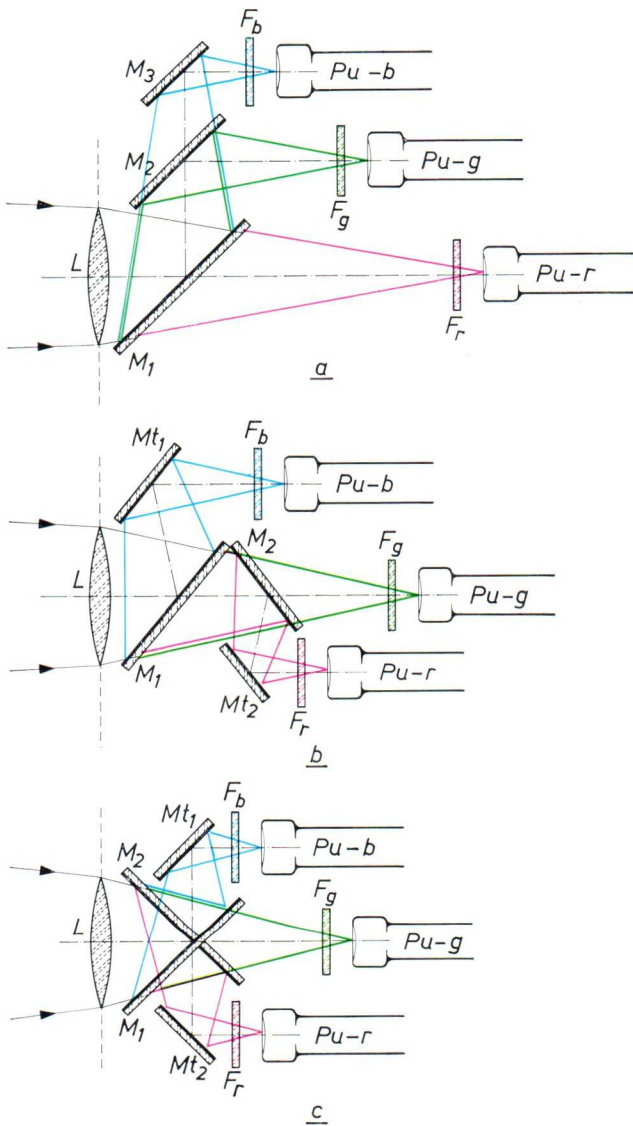


Fig. 10. Verschillende opstellingen van kleursplitsende spiegels. Verklaring van de tekening in de tekst (blz. 39).

lingsenergie wordt verstaan, dat door het menselijk oog als licht wordt geregistreerd; dienovereenkomstig moet, bij het in cijfers uitdrukken van de lichtstroom, rekening worden gehouden met de ooggevoeligheidskromme (zie fig. 7, blz. 14). Zou men b.v. een rode, een groene en een blauwe lichtbron, die voor het oog even helder zijn, meten met een foto-elektrische cel, waarvan de gevoeligheid over het gehele zichtbare spectrum gelijk is, dan zou blijken dat de rode en vooral de blauwe lichtbron in werkelijkheid een veel grotere intensiteit hebben dan de groene lichtbron. Wanneer dus werd gezegd, dat lichtstroom hetzelfde betekent als lichtenergie, dan geldt dit slechts onder voorwaarde, dat het menselijk oog als energiemeter wordt gebruikt. Omdat dit geen objectieve metingen zou opleveren moeten de voor dergelijke metingen gebruikte foto-elektrische cellen worden voorzien van zodanige kleurenfilters, dat de karakteristiek van de cel overeenkomt met de ooggevoeligheidskromme. Een ander gevolg blijkt te zijn, dat het omrekeningsgetal tussen lichtenergie en mechanische energie geen constante waarde kan hebben, maar in overeenstemming met de ooggevoeligheidskromme afhankelijk zal zijn van de golflengte van het licht. Zoals reeds eerder werd opgemerkt, ligt de maximale waarde bij ongeveer  $555 \text{ m}\mu$  (groen), waarbij de mechanische energie van 1 watt overeenkomt met een lichtenergie van ca. 680 lm.

Behalve de van een lichtbron uitgaande lichtstroom en de in verschillende richtingen optredende lichtsterkte, kan aan een lichtbron nog een derde, zeer belangrijk kenmerk worden toegeschreven, nl. de *helderheid* (*luminantie*), waarover op blz. 21 al een en ander is gezegd. Dit is de hoeveelheid licht welke wordt uitgestraald door één vierkante centimeter van het lichtend vlak, gemeten in eenheden van lichtsterkte. De eenheid van helderheid is de *stilb*; dat is de helderheid van een lichtend vlak, dat een lichtsterkte heeft van  $1 \text{ candela/cm}^2$ . Een andere, voor kleinere helderheden bruikbare internationale eenheid is de *nit*, die overeenkomt met de helderheid van een lichtend oppervlak, wanneer van een  $\text{m}^2$  van het oppervlak daarvan een lichtsterkte van 1 candela uitgaat; 1 nit is dus het 10 000 deel van een stilb. In de Angelsaksische landen wordt bovendien zeer dikwijls de *footlambert* gebruikt, waarbij  $1 \text{ footlambert} = 3,43 \text{ nit} = 0,000343 \text{ sb}$ . Bij dezelfde lichtsterkte hebben dus lichtbronnen met een groot oppervlak een in verhouding geringe helderheid, terwijl kleine, puntvormige lichtbronnen tengevolge van hun zeer grote helderheid verblindend op het oog werken.

De drie tot nu toe genoemde grootheden – lichtstroom, lichtsterkte en

helderheid – kenmerken, wanneer geen rekening wordt gehouden met de kleur van het uitgestraalde licht, de intensiteit van een *lichtbron*; hierbij gelden als lichtbronnen alle lichamen of vlakken, welke licht uitstralen, dus o.a. ook de met luminiforen bedekte schermen van televisie-ontvangers. Voor deze laatste is praktisch slechts een van de drie genoemde grootheden van belang, nl. de helderheid, want deze vertelt ons direct iets over de helderheidsindruk, die het beeldscherm op het oog maakt. In het algemeen bedraagt de helderheid van moderne TV-beeldbuizen 250 tot 300 nit (70 tot 80 footlambert).

Als laatste belangrijke begrip uit de lichttechniek moet nog worden genoemd de *verlichtingssterkte*. Deze hangt af van de door een verlicht vlak opgevangen lichtstroom. De eenheid is de *lux* (lx). Dat is de *verlichtingssterkte* van een vlak, dat per vierkante meter gelijkmatig verdeeld een lichtstroom van 1 lumen opvangt. Er moet op worden gewezen, dat het begrip verlichtingssterkte nog niets zegt over de helderheidsindruk, die een verlicht vlak op ons oog uitoefent; de helderheidsindruk hangt veeleer in gelijke mate ook nog af van het reflecterend vermogen van dat vlak. Daarbij mag onder reflecterend vermogen niet slechts een meer of minder spiegelachtige aard van het oppervlak worden verstaan, maar in sterkere mate nog het vermogen van het oppervlak opvallend licht van iedere golflengte zo volledig mogelijk te weerkaatsen (zij het ook diffuus in alle richtingen) en het slechts voor een gering gedeelte te absorberen. Een blad wit papier met een reflectiefactor van ca. 80—90 % zal bij gelijke verlichtingssterkte aanmerkelijk helderder worden gezien dan een donkere wollen lap, die slechts enkele procenten van het opvallende licht reflecteert en meer dan 90% absorbeert.

De verlichtingssterkte is de enige grootheid in de lichttechniek, die bv. met een fotocel direct is te meten. Daarom vormt de meting van de verlichtingssterkte bijna altijd de grondslag zowel voor theoretische onderzoeken als in de praktisch toegepaste lichttechniek. Iedere foto-amateur meet met zijn belichtingsmeter verlichtingssterkten, hoewel de gebruikelijke belichtingsmeters niet in lux, maar, in overeenstemming met het speciale doel, zijn geijkt in belichtingstijden. Ook in de filmstudio's is de luxmeter of de belichtingsmeter een onophoudelijk te hulp geroepen attriboot, maar vooral in de kleurentelevisiestudio behoort hij tot de onontbeerlijke hulpmiddelen.

Hiermee willen we het theoretische deel over de licht- en kleurenleer afsluiten. In de volgende hoofdstukken zal de toepassing van de verworven kennis op het gebied van kleurentelevisie worden behandeld.

## HOOFDSTUK 2

### KLEURENTELEVISIE-OPNEEMINSTALLATIE

#### Algemeen

Op de in het voorgaande gedeelte gevonden grondregel, dat iedere willekeurige kleurindruk, inclusief wit, kan worden verkregen door juiste combinatie van drie verschillende lichtbronnen, kan theoretisch zonder veel moeilijkheden een kleurentelevisiesysteem worden opgebouwd. Fig. 11 is het zeer vereenvoudigde blokschema van een dergelijk systeem voor kabeltelevisie (Eng.: closed-circuit-TV). Kabeltelevisie wil zeggen, dat de opneemcamera inclusief de versterkerinstallatie door een niet te lang kabelsysteem verbonden is met het weergeefapparaat, zodat dus geen hoogfrequentieuitzending van het kleurentelevisiesignaal plaats vindt.

Het via het objectief  $L$  in de camera vallende licht wordt door een spiegelstelsel, dat bestaat uit de halfdoorlatende spiegels  $M_1$ ,  $M_2$  en de omkeerspiegel  $M_3$ , zodanig verdeeld over de drie opneembuizen  $PU-r$ ,  $PU-g$  en

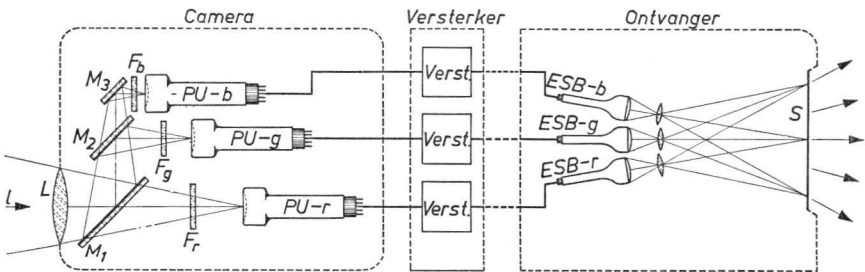


Fig. 11. Principeschema van een kleurentelevisie-installatie volgens het kabeltelevisiesysteem.

$ESB-b$ ,  $-g$ ,  $-r$  = elektronenstralbuizen met blauwe, groene, resp. rode luminifoor;  $F_b$ ,  $F_g$ ,  $F_r$  = blauw, groen, resp. rood kleurenfilter;  $L$  = objectief;  $M_1$ ,  $M_2$  = halfdoorlatende spiegels;  $M_3$  = normale spiegel;  $PU-b$ ,  $-g$ ,  $-r$  = opneembuizen in het blauwe, groene, resp. rode kanaal;  $S$  = transparant scherm;  $l$  = van de op te nemen scene invallende licht.

*PU-b*, dat de op te nemen scene scherp op de fotokathoden van deze buizen wordt afgebeeld. Door het tussenschakelen van daarvoor geschikte kleurfilters  $F_r$ ,  $F_g$  respectievelijk  $F_b$  wordt nu voor iedere buis een met de krommen  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$  en  $\bar{B}$  uit fig. 8 overeenstemmende keuze gemaakt uit de, in het invallend licht aanwezige, golflengten, zodat de drie buizen de momentele sommen van de  $\bar{R}$ -,  $\bar{G}$ - resp.  $\bar{B}$ -componenten krijgen toegevoerd. Zoals op blz. 12 werd uiteengezet, stellen de aldus verkregen sommen van  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$  en  $\bar{B}$  de rode, groene en blauwe totaalcomponenten  $R$ ,  $G$  en  $B$  van de aanwezige kleur voor. Dat wil zeggen: met  $R$  lm grondkleur rood,  $G$  lm grondkleur groen en  $B$  lm grondkleur blauw kan de betreffende kleur worden nagebootst naar de kleur- en helderheidsindruk. Het is duidelijk, dat de kleur van de voor het nabootsen gebruikte lichtbronnen overeen moet komen met die, waarop fig. 8 is gebaseerd, namelijk golflengten moeten hebben van  $700,0 - 546,1$  respectievelijk  $435,8 \mu$ . Met nadruk moeten we er hier echter op wijzen, dat de in de kleurentelevisie toegepaste grondkleuren anders zijn, namelijk die welke op blz. 18 worden genoemd. Later zal worden besproken welke correcties dat met zich meebrengt.

Op deze wijze ontvangt dus een van de opneembuizen alle rode componenten, de tweede opneembuis alle groene en de derde alle blauwe componenten van het invallende licht. De, door de buizen met behulp van de gebruikelijke lijn voor lijn aftasting, geleverde videosignalen, die hieronder steeds met  $R$ ,  $G$  en  $B$  zullen worden aangeduid, kunnen dan na versterking worden doorgegeven aan de weergeefapparaten. Hier sturen zij de elektronenstralen van bijvoorbeeld drie kleine weergeefbuizen, waarvan de luminiforen zodanig zijn gekozen, dat zij in de drie grondkleuren oplichten. Worden nu de drie beelden in grondkleuren, die op deze weergeefbuizen ontstaan, bijvoorbeeld met behulp van projectie-objectieven, tezamen geprojecteerd op een transparant scherm, dan treedt hier additieve menging van het licht op en het oog ziet op het scherm het beeld in natuurlijke kleuren.

Opgemerkt moet worden, dat het zo juist beschreven weergeefstelsel in deze eenvoudige vorm optisch zeer slechte resultaten zou opleveren, maar dat komt later nog ter sprake.

### **De camera**

Terwijl een zwart-wit camera in principe uit drie achter elkaar geschakelde

functionele eenheden bestaat nl.:

- a) optiek
  - b) opneembuis
  - c) voorversterker
- bevat de kleurencamera er vier, namelijk:
- a) de optiek
  - b) het systeem voor het ontleden van de kleuren
  - c) drie gelijksoortige opneembuizen en
  - d) drie gelijksoortige voorversterkers

De taken van de optiek, zowel als van de opneembuizen en de voorversterkers komen in principe overeen met die in een zwart-wit camera; het nieuw er bij gekomen systeem voor de kleurontleding moet echter uitvoerig worden besproken.

### Het systeem voor de kleurontleding

Zoals reeds werd opgemerkt, zijn de bij de kleurentelevisie gebruikte grondkleuren andere dan de door het C.I.E. voor theoretisch onderzoek vastgelegde kleuren. De reeds op blz. 18 genoemde grondkleuren met dominerende golflengten van ca.  $615 \text{ m}\mu$  (rood),  $532 \text{ m}\mu$  (groen) en  $470 \text{ m}\mu$  (blauw) werden voor de kleurentelevisie voornamelijk aangenomen om een goed rendement te krijgen van de drie lichtgevende luminiforen. Daardoor is het noodzakelijk de krommen van fig. 8 om te rekenen voor dit andere systeem van grondkleuren. De betreffende wiskundige bewerkingen verlopen op dezelfde wijze als bij de berekening van de kleurendriehoek bij transformatie van het ene coördinatensysteem in het andere. Het resultaat daarvan zijn de krommen  $\bar{R}'$ ,  $\bar{G}'$  en  $\bar{B}'$ , die in fig. 12a zijn getekend. Ook hier komen, net als in fig. 8, negatieve waarden voor van de drie grondcomponenten en wel over het gehele zichtbare spectrum. Aangezien negatief licht niet is te realiseren betekent dit, dat praktisch geen enkele spectrale kleur foutloos kan worden nagebootst, uitgezonderd dan de als spectrale kleur gekozen grondkleur rood ( $615 \text{ m}\mu$ ), een feit, dat uit de ligging van de grondkleurpunten in de kleurendriehoek (zie fig. 9) zonder meer was te voorspellen.

Dat de som van de drie componenten  $\bar{R}'$ ,  $\bar{G}'$  en  $\bar{B}'$ , voor iedere golflengte weer gelijk is aan de overeenkomstige waarde van de ooggevoeligheidskromme bewijst slechts de exactheid van de uitgevoerde berekeningen.

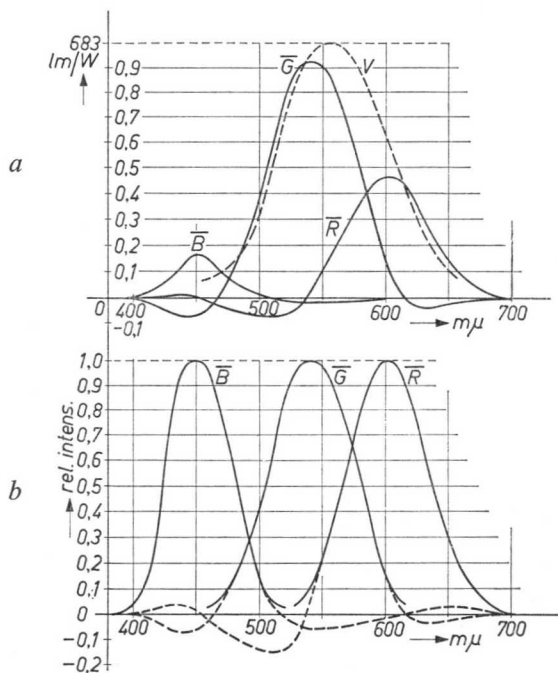


Fig. 12. Kleurcoördinaten van de spectrale golflengten van de primaire kleuren, die de grondslag vormen van de kleurentelevisie.

a) relatieve waarden; de ooggevoeligheidskromme  $V$  is met streeplijn er in getekend.  
b) op de maximale waarde 1 genormaliseerde krommen.

Zouden in verticale richting geen  $lm/W$  maar alleen maar lumen worden uitgezet (dus geen rekening houdend met het rendement van de omzetting van stralings- in lichtenergie), dan zou de som van de drie componenten voor iedere golflengte gelijk moeten zijn (vgl. blz. 11).

De krommen van fig. 12a worden meestal getekend op de wijze zoals dat in fig. 12b is gedaan, nl. met de op de relatieve waarde 1 genormaliseerde maximale waarden. Deze wijze van voorstelling is voor theoretische overwegingen niet, voor praktische overwegingen echter veel handiger, zoals b.v. bij het ontwerpen van het eigenlijke, uit spiegels en filters bestaande systeem voor de kleurontleding, de berekening van versterk-, regel-, bedienings-schakelingen enz.

Daarom is deze normalisatie van de maximale waarden dan ook niet alleen



op papier, maar ook praktisch doorgevoerd, d.w.z. door de van de opneembuizen komende signalen van verschillende sterkte daarmee in overeenstemming te versterken, worden de maximale waarden daarvan aan elkaar gelijk gemaakt. Ten dele geschiedt dat al in de camera door passende instelling van de opneembuizen, resp. voorversterkers. De nauwkeurig juiste instelling heeft echter pas plaats in een van de eerste trappen van de correctieversterkers. Achter deze drie, zeer belangrijke, insteltrappen heeft men dan voor de gehele verdere overbrenging tot en met de weergeefapparaten slechts te maken met drie kleursignalen  $R$ ,  $G$  en  $B$ , die dezelfde maximale waarde hebben.

Hoewel het in principe mogelijk is voor iedere willekeurige, niet te sterk verzadigde kleur, de bovengenoemde signaalspanningen op dezelfde maximale waarde in te stellen, heeft men zich, om voor de hand liggende redenen, beperkt tot een instelling met een wit voorwerp voor de camera (zwart-wit testbeeld). Zoals volgt uit de afleiding van de krommen in fig. 12 zullen, dank zij de gelijkmatige spectrale energieverdeling bij wit licht, in de drie kleurkanalen *tegelijktijd* de maximaal mogelijke waarden van het signaal optreden. Het zijn juist deze mogelijke maximale waarden, die onder controle moeten worden gehouden met het oog op de maximale uitsturing van de gehele overbrengingsketen.

Het is duidelijk, dat deze willekeurige verandering van de onderlinge sterkteverhouding van de drie kleursignalen weer in orde moet worden gemaakt vóór de signalen aan het eind van de overbrengingsketen de drie, in verschillende kleuren oplichtende luminiforen sturen. Zoals blijkt uit een theoretische berekening op basis van de kleurcoördinaten (zie blz. 16) moeten voor het nabootsen van 1 lm wit worden gemengd 0,30 lm van de grondkleur rood, 0,59 lm van de grondkleur groen en 0,11 lm van de grondkleur blauw.\* De drie met maximale waarden, dus in een verhouding 1 : 1 : 1 binnenkomende kleursignalen, moeten dan ook in de weergeefapparaten worden gereduceerd tot de verhouding 0,30 : 0,59 : 0,11.

Volledigheidshalve moet worden opgemerkt, dat bij deze reductie ook rekening moet worden gehouden met het verschillende rendement van de drie luminiforen. Bij de tegenwoordig gebruikte luminiforen verhouden zich

\*) Tot hetzelfde resultaat moet men komen door een vergelijking van de, bij de overeenkomstige primaire kleuren behorende, waarden van de krommen  $\bar{R}'$ ,  $\bar{G}'$  en  $\bar{B}'$  uit fig. 12 b. Als primaire kleuren gelden hier, evenals steeds in dit boek, de reeds meermalen genoemde, voor de kleurentelevisie vastgelegde kleuren.

de, voor het weergeven van wit benodigde, stuurspanningen ongeveer als  $0,40 R : 0,34 G : 0,26 B$ . Zoals in de volgende paragrafen zal blijken, speelt de theoretische verhouding  $30 : 59 : 11$  steeds weer een zeer belangrijke rol.

Uit fig. 12b blijkt door het verloop van de met een getrokken lijn getekende krommen, dat in de praktijk geen rekening wordt gehouden met de negatieve gedeelten van deze krommen, noch met de „secundaire doorlaatgebieden” van rood en blauw; veel meer blijft in de buurt van de golflengtes het verloop van de karakteristieken tamelijk onbepaald. In werkelijkheid leveren afwijkingen van de theoretische waarden in dit gebied van kleine intensiteiten slechts niet merkbare kleurfouten op. Veel belangrijker daarentegen is het aanhouden van de theoretische karakteristieken in de gebieden waar twee krommen elkaar overlappen, dus tussen  $480$  en  $500 m\mu$ , vóór alles echter tussen  $550$  en  $600 m\mu$  in welk gebied o.a. de gelaats- en huidskleur moeten worden weergegeven.

Toen zojuist van doorlaatgebieden werd gesproken, moet dit ons er aan herinneren, dat volgens de bij fig. 11 gegeven beschrijving, door middel van

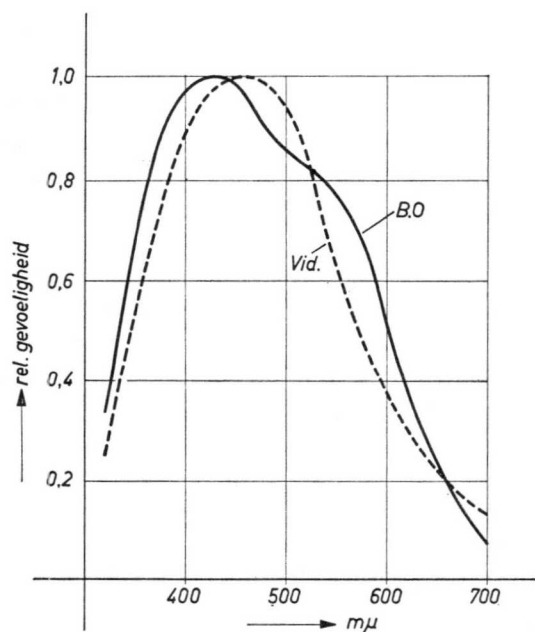


Fig. 13. Spectrale karakteristieken van beeldortikon en vidikon.

kleurfilters de in het invallende licht aanwezige golflengten overeenkomstig de karakteristieken  $\bar{R}'$ ,  $\bar{G}'$  en  $\bar{B}'$  moeten worden verdeeld over de drie opneembuizen. De zo juist genoemde krommen kunnen dus ook worden beschouwd als de *doorlaatkarakteristieken* van de drie kleurenfilters.

Nu moet dit geconstateerde feit in de praktijk in zoverre worden gecorrigeerd, dat de werkelijke doorlaatkarakteristieken van de drie lichtkanalen niet alleen worden bepaald door de karakteristieken van de drie kleurfilters, maar in gelijke mate ook door de spectrale karakteristieken van de opneembuizen en de halfdoorlatende spiegels.

De karakteristieken, die ontstaan door vermenigvuldiging van de bij elkaar behorende waarden van de hierboven genoemde karakteristieken moeten overeenkomen met de krommen  $\bar{R}'$ ,  $\bar{G}'$  en  $\bar{B}'$  van fig. 12b. Om een voorbeeld te geven zijn in fig. 13 de spectrale karakteristieken getekend van de beeldortikon en vidikon, de beide opneembuizen, die tot nu toe uitsluitend de kleurentelevisie beheersen.

### Kleurensplitsende (dichroïtische) spiegels

Zojuist werd opgemerkt, dat er ook rekening moest worden gehouden met de spectrale karakteristieken van de gedeeltelijk doorlatende spiegels. Deze eigenschap van de spiegels is niet zo maar toevallig, of zelfs ongewenst, maar zij werd sedert de begindagen van de kleurentelevisie met opzet teweeggebracht om een werkelijk gunstige verdeling van het invallende licht over de drie opneembuizen te verkrijgen. Dit kan uit het hieronderstaande worden begrepen.

Zonder deze „kleurselectieve” (dichroïtische) eigenschap van de spiegel zou men zich de in fig. 11 schematisch aangegeven lichtverdeling over de drie kanalen ongeveer zodanig kunnen voorstellen dat de gedeeltelijk doorlatende spiegel  $M_1$  bijvoorbeeld een derde van het opvallende licht doorlaat en tweederde naar de volgende spiegel  $M_2$  reflecteert; zou deze tweede spiegel nu b.v. 50% doorlaten en 50% reflecteren dan ontving ieder lichtkanaal een derde deel van het invallende licht. Zelfs wanneer de voor de opneembuizen geplaatste kleurfilters een maximale doorlaatbaarheid van 100% zouden hebben (volgens fig. 12b bij ca. 615  $m\mu$ , 535  $m\mu$ , resp. 470  $m\mu$ ) zou slechts maximaal een derde van het invallende licht op de opneembuizen terecht komen en in elektrische energie (videosignalen) worden omgezet terwijl tweederde in de eventuele beide andere filters zou worden geabsorbeerd.

Geheel anders wordt het wanneer bijvoorbeeld spiegel  $M_1$  zodanig wordt uitgevoerd dat zij slechts het gedeelte van het spectrum met korte golven beneden ongeveer  $570 \text{ m}\mu$  dus de groene en blauwe lichtcomponenten reflecteert doch de langere golven van het rode gedeelte van het spectrum met zo min mogelijk verliezen doorlaat. Hoe dat wordt bereikt komt later ter sprake; voorlopig volstaan we met de opmerking dat het mogelijk is de overgang tussen de gebieden waarin doorlating en reflectie optreedt naar keuze scherp of geleidelijk te laten verlopen dus bijvoorbeeld ook overeenkomstig de karakteristiek  $M_{gb}$  in fig. 14a. Een dergelijke spiegel noemt men *dichroïtisch* of *kleurselectief*. Ook  $M_2$  wordt als dichroïtische spiegel uitgevoerd en wel met een karakteristiek overeenkomstig  $M_{gr}$  in fig. 14b. Deze spiegel reflecteert dus het groene deel van het spectrum met grote golflengte (het rode gedeelte is dank zij  $M_1$  niet meer aanwezig) en laat het blauwe gedeelte met kleine golflengte ongehinderd door naar spiegel  $M_3$ . Deze laatste spiegel is niet kleurselectief en doet alleen dienst voor het ombuigen van de lichtbundel in de richting van de blauwe opneembuis. In fig. 14c is getekend hoe de spectrale verdeling van de drie kanalen tengevolge van de karakteristieken van de spiegels verloopt: voor het rode kanaal geldt de kromme 1 —  $M_{gb}$ , het groene kanaal wordt begrensd door de krommen  $M_{gb}$  en  $M_{gr}$  en het blauwe kanaal door de kromme 1 —  $M_{gr}$ .

Zoals een vergelijking met de eveneens in deze figuur getekende theoretische doorlatingskarakteristieken  $\bar{R}'$ ,  $\bar{G}'$  en  $\bar{B}'$ , laat zien, is vooral in het groene kanaal nog slechts een zwakke filtering noodzakelijk om deze theoretische doorlatingskarakteristiek te verkrijgen. In overeenstemming daarmee kan theoretisch meer dan 80% van het invallende licht op de opneembuizen terechtkomen.

Om vergissing te voorkomen wordt opgemerkt dat deze waarde slechts dan zou worden bereikt als het opvallende licht uit niet meer dan drie spectrale golflengten (of smalle golflengtenbanden) zou bestaan namelijk de golflengten waarbij de drie doorlatingskarakteristieken hun maximale waarden hebben. Wanneer echter zoals praktisch altijd het geval is een continu spectrum met een meer of minder gelijkmatige energieverdeling op het kleurensplitssysteem valt, dan kan ieder kleurkanaal op zijn hoogst een derde deel van de totale energie krijgen. Aangezien deze energieverdeling in overeenstemming met de doorlatingskarakteristieken nog op een bepaalde wijze wordt begrensd blijft per kanaal slechts ongeveer een vijfde tot een zesde van

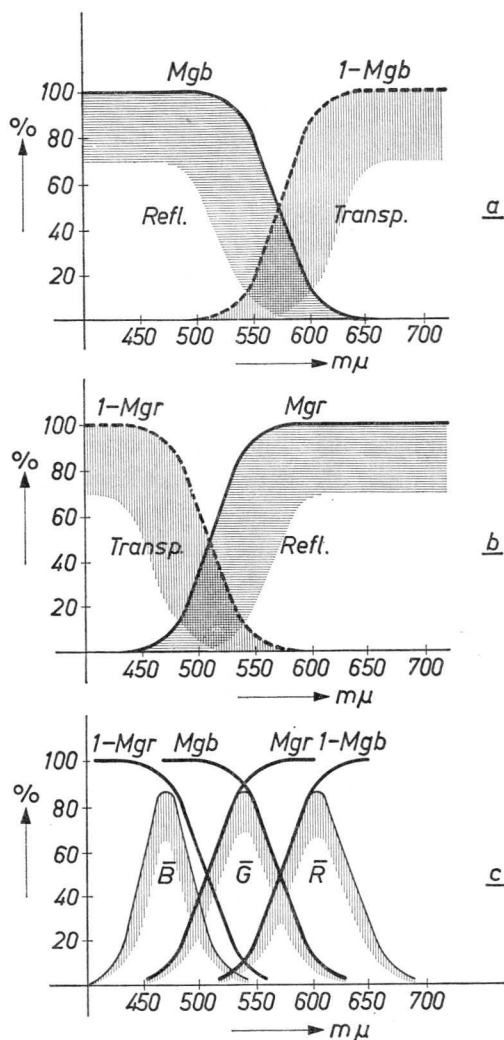


Fig. 14. Spectrale karakteristieken van dichroïtische spiegels.

- a) groen- en blauw reflecterende spiegel met reflectiekarakteristiek  $M_{gb}$ ; de doorlaatkarakteristiek is bij benadering  $= 1 - M_{gb}$ ;  
 b) groen- en rood reflecterende spiegel met reflectiekarakteristiek  $M_{gr}$ ; de doorlaatkarakteristiek is bij benadering  $= 1 - M_{gr}$ ;  
 c) situatie bij het achter elkaar plaatsen van de beide onder een hoek van  $45^\circ$  geplaatste spiegels; de gewenste doorlaatkarakteristieken  $\bar{R}$ ,  $\bar{G}$ ,  $\bar{B}$  van het rode, groene, resp. blauwe kanaal zijn gearceerd getekend.

de oorspronkelijke energie over. Houden we er dan verder ook nog rekening mee dat noch de dichroïtische spiegels noch de kleurfilters volkomen verliesvrij kunnen worden vervaardigd dan blijft slechts een armzalige rest van 12 — 15% van het invallende licht per opneembuis over.

Met dezelfde opneembuizen uitgerust zijn dus bij de tegenwoordige stand van de techniek de kleurentelevisiecamera's zuiver theoretisch ongeveer 7 tot 8 maal ongevoeliger dan zwart-wit camera's. Terwijl voor zwart-wit studio-werk verlichtingssterkten van 500 tot 1000 lux reeds voldoende zijn moet in de kleurentelevisiestudio toch altijd nog met de onaangenaam hoge waarden van 4000 tot 6000 lux worden gewerkt.

De werking van de dichroïtische spiegel berust op interferentieverschijnselen van lichtgolven aan zeer dunne, optische lagen. Van oudsher bekend zijn deze verschijnselen bijvoorbeeld bij de kleurenwisseling van zeepbellen, van olievlekken op het water of om een moderner voorbeeld te geven, als *Newtonringen* tussen film en deklaasje bij kleurendia's. In fig. 15 is het principe van deze interferentie van licht schematisch voorgesteld, waarbij deze figuur moet worden beschouwd als een ongeveer 100.000-voudige vergroting. Een lichtstraal  $l$  valt bijna loodrecht op het oppervlak (punt  $A$ ) van een zeer dunne laag van een optische tussenstof met bij voorkeur hoge brekingsindex. Er treedt voor een gedeelte reflectie op (straal  $l'$ ), het over-

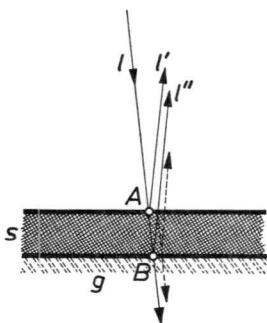


Fig. 15. Lichtreflectie aan een dunne interferentielaag:  $l$  = invallende lichtstraal;  $l'$ ,  $l''$  = gereflecteerde lichtstralen;  $g$  = glazen spiegel;  $s$  = interferentielaag, dikte ongeveer een kwart van de golflengte van het licht;  $A$  = punt waar de lichtstraal de laag binnentreedt;  $B$  = punt waar de lichtstraal de laag verlaat.

blijvende deel van de invallende lichtstraal echter zet haar weg voort en valt bij het uittreden van de laag (punt  $B$ ) op glas dat een lagere brekingsindex moet hebben. Ook hier treedt weer gedeeltelijke reflectie op, een straal  $l''$  keert terug naar het ingangsvlak. Nemen we nu aan, dat de licht-

straal b.v. bestond uit de spectrale golflengte  $700 \text{ m}\mu$  en dat de dikte van de laag een vierde van deze golflengte, dus  $175 \text{ m}\mu$  bedroeg (nauwkeuriger: de laag moet  $175/n$  zijn als  $n$  de brekingsindex van de optische tussenstof is), dan is het weglengteverschil tussen de stralen  $l'$  en  $l''$  precies gelijk aan de halve golflengte wat overeenkomt met een fazeverschil van  $180^\circ$ . Anderzijds treedt echter bij reflectie aan een optisch ijlere tussenstof (lagere brekingscoëfficiënt) eveneens een fazedraaiing van  $180^\circ$  op, zodat dus straal  $l''$ , als dit geval zich voordoet, (reflectie bij punt B) uittreedt met een fazeverschuiving van in totaal  $360^\circ$ , dus *in faze* met de straal  $l'$ . De reflecterende eigenschappen van dit oppervlak schijnen dus voor licht van  $700 \text{ m}\mu$  groter te zijn.

Gemakkelijk kan worden afgeleid dat voor spectraal licht van bv. de halve golflengte dus van  $350 \text{ m}\mu$  (nauwelijks nog zichtbaar violet) het weglengteverschil tussen  $l'$  en  $l''$  een hele golflengte bedraagt en dat, tengevolge van de daarbij komende, in tegenfaze zijnde reflectie bij het punt B, de lichtstraal  $l''$  in *tegenfaze* met  $l'$  zal uitreden bij het punt A. Voor een golflengte van  $350 \text{ m}\mu$  worden de reflecterende eigenschappen van het oppervlak dus kleiner. Volgens een gemakkelijk te berekenen wetmatigheid zal dientengevolge het reflectievermogen van een maximale waarde voor  $700 \text{ m}\mu$  afnemen tot een minimum voor  $350 \text{ m}\mu$ . Men heeft dan te doen met een *roodreflecterende* dichroïtische spiegel in zijn eenvoudigste vorm. Een juist tegenovergestelde werking van deze spiegel zou worden verkregen als de lichtstraal  $l$  na de dunne laag te zijn gepasseerd bij punt B zou vallen op glas met een *hogere* brekingsindex. Dan zou bij de gedeeltelijke reflectie in dit punt geen faze-sprong van  $180^\circ$  optreden de bij het punt A uitredende lichtstralen  $l'$  en  $l''$  zouden dan voor golflengten van  $700 \text{ m}\mu$  in tegenfaze echter voor golflengten van  $350 \text{ m}\mu$  in faze zijn; dan zou men juist een *blauwreflecterende* dichroïtische spiegel hebben.

Het zou voor dit boek te ver voeren als aanvulling op deze slechts zeer schematische verklaring ook nog theoretisch en praktisch zeer belangrijke details te behandelen bv. de invloed van meer dan een reflectie aan de beide grensvlakken (stippellijnen in fig. 15) of de gang van zaken bij schuin invallend licht. Dit laatste is bij de kleurencamera ook inderdaad het geval en we volstaan met op te merken dat de principiële werking van de spiegel gelijk blijft; de spectrale karakteristiek echter verschuift dan naar het gedeelte van het spectrum met kortere golflengten. Bij te grote invalshoeken treden echter polarisatieverschijnselen op die veel lichtverlies veroorzaken. Met de

beide laatstgenoemde verschijnselen moet worden rekening gehouden wanneer de spiegels worden opgesteld achter objectieven met grote openingshoek (fig. 16); er ontstaan dan duidelijke kleurverschillen tussen de ene beeldrand en de andere die ten dele zijn te compenseren door een afnemend verloop van de laagdikte.

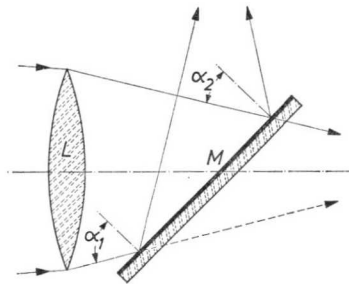


Fig. 16. De invalshoeken  $\alpha_1$  en  $\alpha_2$  aan de linker en rechter rand van de dichroïtische spiegels  $M$  zijn niet gelijk, waardoor ook de kleurselectieve eigenschappen niet gelijk zijn.  $L$  = objectief.

In de tijd van de eerste kleurentelevisie-experimenten waren er slechts spiegels beschikbaar zoals die destijds ook in andere optische apparaten zoals bv. afstandsmeters in fototoestellen werden gebruikt. In het gunstigste geval werd als materiaal voor de zeer dunne interferentielaag geplet goud gebruikt dat zeer grote absorptieverliezen opleverde. Door de ontwikkeling en de vervolmaking van de vacuüm-opdamptechniek gelukte het in de twee laatste decennia niet alleen lagen van optisch zeer gunstige verliesvrije materialen te maken maar vooral ook meer dan een laag over elkaar aan te brengen. Hebben deze lagen dan afwisselend een lage en een hoge brekingscoëfficiënt dan kan praktisch ieder gewenst verloop van de spectrale karakteristiek worden verkregen. In het algemeen wordt bij een toenemend aantal lagen de steilheid van de karakteristiek groter. Voor een verloop volgens fig. 14 zijn in het algemeen 7 lagen nodig waarbij de maximale reflectiecoëfficiënten hoger dan 90% liggen en de absorptieverliezen verwaarloosbaar klein zijn. Als materiaal voor de lagen wordt dikwijls zinksulfide en kryoliet gebruikt.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat het opdampen van een interferentielaag tegenwoordig behoort tot de normale behandeling van objectieflenzen van de beste kwaliteit (z.g. coating); niet om de lenzen dichroïtische



eigenschappen te geven maar om hun reflectieverliezen tot een minimum te beperken.

### Praktische uitvoering van kleursplitssystemen.

In fig. 10a (blz. 24) is het reeds in fig. 11 aangenomen kleursplitssysteem nog eens getekend. Het blijkt, dat deze zuiver schematische opstelling in de praktijk onder andere het grote nadeel bezit, dat de afstanden tussen objectief en opneembuizen zeer groot worden. Deze afstanden zijn, omdat op iedere buis een scherp beeld moet worden gevormd, even groot en worden bepaald door de buis, die het verst van het objectief afligt; in het hier aangenomen geval door die van het blauwe kanaal. Een gunstiger ontleding wordt verkregen op de in fig. 10b voorgestelde wijze. Hier reflecteert de dichroïtische spiegel  $M_1$  slechts het blauwe deel van het spectrum, dat via de afbuigspiegel  $M_{t1}$  en het blauwe correctiefilter  $F_b$  op de opneembuis valt. De groene en rode gedeelten van het invallende licht gaan ongehinderd door  $M_1$  heen en vallen op de dichroïtische spiegel  $M_2$ . Deze reflecteert rood en laat groen ongehinderd door. Terwijl het groen na het passeren van het groene correctiefilter  $F_g$  rechtstreeks op de opneembuis  $PU-g$  valt, wordt het rood eerst nog afgebogen ( $M_{t2}$ ) alvorens via  $Fr$  op de opneembuis  $PU-r$  te vallen. Vergelijken met fig. 10a is met de opstelling volgens fig. 10b de afstand tussen objectief en opneembuizen aanmerkelijk kleiner d.w.z. gunstiger geworden.

Nog kleiner kan deze afstand worden gehouden bij een gekruiste opstelling van de spiegels volgens fig. 10c. De lezer zal bij het bekijken van deze figuur zelf kunnen vaststellen dat deze opstelling niettegenstaande de gekruiste spiegels precies zo werkt als de V-vormige opstelling van fig. 10b. Vanzelfsprekend vereist echter het gekruiste systeem een buitengewoon hoge precisie bij de vervaardiging en montage van de spiegels aangezien de geringste hoekfout of evenwijdige verschuiving van de spiegelhelften dubbele beelden zullen opleveren. Spiegelkruisen worden daarom alleen bij de lichtstipaftasters (flying spot scanner) toegepast waarbij het niet gaat om de scherpe afbeelding van de opgenomen scene op een opneembuis maar om het concentreren van het door een dia- of een filmelement doorgelaten licht op een fotomultiplicator (photo-multiplier).\*) Voor opneemcamera's wordt het V-systeem van fig. 10b tegenwoordig algemeen gebruikt.

---

\*) Zie ook: W. A. Holm „Televisietechniek zonder formules”, pag. 80.

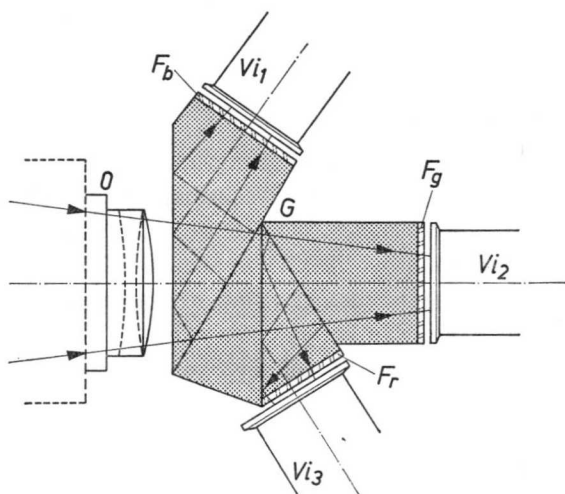


Fig. 17. Kleurontleding met behulp van gekitte glazen prisma's.  
 $O$  = objectief;  $G$  = prisma blok;  $F_b$ ,  $F_g$ ,  $F_r$  = blauw-, groen-, resp. roodfilter;  $V_{i1}$ ,  $V_{i2}$ ,  $V_{i3}$  = vidikons.

Tijdens de jongste ontwikkeling worden in plaats van afzonderlijke spiegels aan elkaar gekitte glazen prisma's gebruikt (fig. 17). De dichroïtische lagen zijn daarbij aangebracht in de gekitte vlakken. Het daardoor nagestreefde doel is daarbij echter niet alleen het lucht- en stofdicht afsluiten van de gevoelige interferentielagen maar voor alles een verdere aanmerkelijke verkorting van de afstand tussen het objectief en de opneembuizen. Hieronder zal nog worden besproken waarop deze verkorting berust.

### Camera-optiek; relaisoptiek

De steeds weer naar voren gebrachte noodzakelijkheid de afstanden tussen objectief en opneembuizen te verkleinen berust op de volgende feiten:

Ieder objectief heeft een nauwkeurig vastliggende afstand waarin voorwerpen, die in het „oneindige” liggen scherp worden afgebeeld (met voldoende nauwkeurigheid geldt dit voor voorwerpen, die meer dan enkele meters van het objectief zijn verwijderd). Deze afstand heet *brandpuntsafstand* en wordt niet van de voor- of achterzijde van het objectief af gemeten, maar uit een slechts theoretisch aanwezig, zogenaamd hoofdvlak. Alleen bij

een eenvoudige biconvexe lens valt dit hoofdvlak samen met het symmetrievlak van de lens (fig. 18a). Bij moderne vervolmaakte objectieven, die uit verschillende lenzen kunnen bestaan is het aan de rekenkunst van de objectiefbouwer voorbehouden, de plaats van het hoofdvlak (dikwijls zijn het er zelfs twee) binnen vrij ver uit elkaar liggende grenzen te verschuiven. Het kan zelfs op een aanmerkelijk grote afstand voor of achter het eigenlijke objectief liggen (tele- resp. groothoeklenzen fig. 18b en c). De noodzaak tot het verschuiven van het hoofdvlak blijkt o.a. daaruit, dat met het oog op de verwisselbaarheid van verschillende objectieven voor fototoestellen en film-camera's, een zogenaamde „steunvlakmaat” is genormaliseerd. Dit is de afstand tussen het vlak van de film (beeldvlak) en de stoorring (steunvlak) op de vating van het objectief (afstand  $a$  in fig. 18b). Behalve de „steunvlakmaat” heeft ieder objectief nog een andere, vooral voor de kleurentelevisie interessante afmeting, de „werkafstand”. Dit is de afstand tussen het vlak van de film en het achterste begrenzingsvlak (laatste lensvlak) van het objectief (afstand  $b$  in fig. 18 b en c); de „werkafstand” is dus steeds kleiner dan de „steunvlakmaat”.

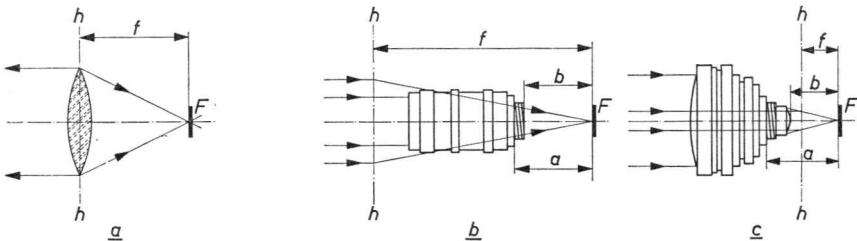


Fig. 18. Brandpuntsafstand en ligging van het hoofdvlak bij verschillende objectieven  
 a) enkele biconvexe lens;  
 b) tele-objectief (grote brandpuntsafstand);  
 c) groothoekobjectief (korte brandpuntsafstand).  
 $a$  = „steunvlakmaat”;  $b$  = „werkafstand”;  $f$  = brandpuntsafstand;  $h - h$  = hoofdvlak;  $F$  = beeldvlak (filmvlak).

Nu is het niettegenstaande alle rekenkunst niet mogelijk het hoofdvlak op willekeurige afstand buiten het objectief te brengen; er blijft altijd nog een uiteindelijk de doorslag gevend verband bestaan tussen de brandpuntsafstand van het objectief en de plaats van het hoofdvlak. Daarnaast is er ook een zeker verband tussen brandpuntsafstand en „werkafstand”; zeer goede, lichtsterke objectieven zijn nauwelijks te vervaardigen wanneer een „werk-

afstand" wordt verlangd groter dan ongeveer de dubbele brandpuntsafstand. En een abnormaal grote „werkafstand" is nu juist voor de kleurentelevisie-camera zo nodig, want tussen objectief en beeldvlak toch moet het gehele kleursplitsingssysteem worden ondergebracht. Voor een beeldortikon camera vergt dit bijvoorbeeld een afstand van ongeveer 35—40 cm. Objectieven met een dergelijke grote „werkafstand" bestaan wel, zijn echter in verhouding niet lichtsterk en geven door hun grote brandpuntsafstand van enige decimeters, opnamen met, voor studiodoeleinden volkomen onbruikbaar, verrekijkerperspectief.

Tot voor kort kon aan de ogenschijnlijk niet te verenigen voorwaarden – abnormaal grote „werkafstand" en korte brandpuntsafstand – alleen maar worden voldaan met behulp van een tweede projectiesysteem, een z.g. *relais-optiek*.

In fig. 19 is een dergelijke opstelling, zoals die b.v. tot op heden in de U.S.A. en in Japan wordt gebruikt voor studiocamera's, schematisch voorgesteld.

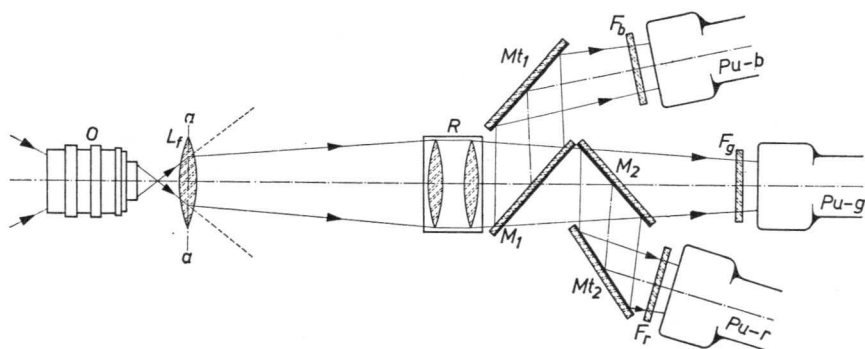


Fig. 19. Kleursplitsingssysteem met relaisoptiek.

$O$  = objectief;  $F_b$ ,  $F_g$ ,  $F_r$  = blauw-, groen-, resp. roodfilter;  $L_f$  = veldlens;  $M_1$ ,  $M_2$  = blauw-, resp. roodreflecterende dichroïtische spiegels;  $M_{t1}$ ,  $M_{t2}$  = normale spiegels;  $Pu-b$ ,  $-g$ ,  $-r$  = beeldortikons in het blauwe, groene resp. rode kanaal;  $R$  = relaisoptiek;  $a-a$  = beeldvlak van het objectief.

Een zeer goed, lichtsterk objectief  $O$ , uit de uitgebreide reeks van de 35 mm filmcamera-objectieven, ontwerpt in zijn normale beeldvlak ( $a-a$ ) een scherp beeld van de opgenomen scene. Zou in dit vlak geen lens  $L_f$  zijn geplaatst, dan zou de afbeelding, die ontstond een zuiver luchtbeeld zijn, waarachter de van het objectief komende en in het beeldvlak convergerende licht-

bundel weer divergeert, dus breder wordt. Een tweede objectief  $R$  met zeer goede optische eigenschappen (dat in de figuur slechts door 2 lenzen is aangegeven) op een afstand van het dubbele van zijn brandpuntsafstand achter het beeld geplaatst, zal dit op hetzelfde formaat, eveneens op een afstand van de dubbele brandpuntsafstand, afbeelden. Dit beeld nu valt op de fotokatode van het beeldortikon.

Het objectief  $R$  wordt, aangezien het geen andere opgave heeft te vervullen dan het eerste beeld (het luchtbeeld) over een zekere afstand over te brengen, *relaisoptiek* genoemd. Het is niet moeilijk, hiervoor een bestaand objectief te vinden waarvan de dubbele brandpuntsafstand groot genoeg is om het totale kleurensplitssysteem in deze afstand onder te brengen (ca. 300—400 mm). Aangezien objectieven voor een afbeeldingsverhouding 1 : 1 niet voor een dergelijke lange brandpuntsafstand zijn te verkrijgen, wordt in de praktijk het relaisoptiek meestal samengesteld uit twee achter elkaar geschakelde (beter gezegd tegengesteld geplaatste) zeer goede objectieven.

De enkelvoudige lens  $L_f$  in het beeldvlak van het basisobjectief heeft tot doel de in een grote hoek achter het luchtbeeld divergerende lichtstralen (gestippeld getekend in fig. 19) samen te bundelen en in hun geheel toe te voeren aan het relaisoptiek. Zonder deze zogenaamde veldlens zou de relaisoptiek minstens de dubbele lichtsterkte moeten hebben van het basisobjectief, wat volkomen onmogelijk zou zijn. Relaisystemen zijn ook mogelijk in andere opstellingen, bijvoorbeeld door de relaisoptiek ruimtelijk te scheiden in een voor- en een achterdeel en tussen deze beide delen het spiegelsysteem te plaatsen. Het achterste gedeelte moet dan echter in drievoud worden uitgevoerd, omdat uit het spiegelsysteem drie lichtbundels treden.

Behalve de in verhouding veel te grote ruimte, die de relaisystemen in beslag nemen bezitten zij nog een zeer groot nadeel: bij een prima, goed gecorrigeerd systeem passeert een lichtstraal van het moment, dat hij het basisobjectief binnentreedt tot aan de fotokatode van de opneembuis tot 30 of meer glas-lucht scheidingsvlakken. Een dergelijk groot aantal storingsvlakken blijft niettegenstaande alle vorderingen van de moderne techniek niet zonder invloed op de beeldkwaliteit. Niet alleen dat de effectieve lichtsterkte tot op minder dan de helft afneemt, ook verliest het beeld zeer merkbaar aan contrast en scherpte tengevolge van het door de vele onvermijdelijke reflecties veroorzaakte strooilicht.

De pogingen om de rijk aan verliezen zijnde, gecompliceerde relaisyste-

men door andere compactere optische systemen te vervangen, hebben pas sinds kort succes opgeleverd, niet in het minst door het feit, dat alle bekende optische fabrieken inmiddels elektronische rekenmachines zijn gaan toepassen en daardoor in staat zijn nieuwe, uit de televisie-industrie naar voren gekomen wensen, zonder al te veel kosten en tijdverlies, op hun uitvoerbaarheid te controleren, resp. in een in verhouding korte tijd een geschikte oplossing daarvoor uit te werken. In Engeland werd bijvoorbeeld met behulp van een speciaal voor het vidikonformaat ( $9 \times 12$  mm) geschikt objectief met een brandpuntsafstand van 8 cm en een openingsverhouding van  $1 : 1,4$ , een buitengewoon lichtsterke kleurentelevisiecamera ontwikkeld (E.M.I.). Daarbij werd het kleurensplittingsysteem voor het objectief aangebracht (fig. 20), wat betekent, dat in werkelijkheid drie in hun optische eigenschappen volkomen identieke objectieven moeten worden gebruikt. Door het vóór het spiegelsysteem opnemen van enkelvoudige concave, resp. convexe lenzen van een voldoende grote diameter, kan de effectieve brandpuntsafstand van de camera tot op 2,5 cm worden verkort, resp. tot 16 cm worden verlengd.

Voor een andere vidikon kleurentelevisiecamera (Philips) werden variooptieken ontwikkeld\*) met veranderbare brandpuntsafstand, terwijl het

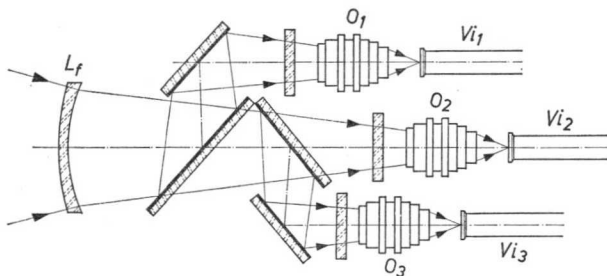


Fig. 20. Kleurensplittingsysteem voor het objectief.

$O_1, O_2, O_3$  = identieke objectieven;  $L_f$  = voorzetlens om de brandpuntsafstand te veranderen;  $V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}$  = vidikons in het blauwe, groene, resp. rode kanaal.

kleurensplittingsysteem niet uit spiegels, maar uit het reeds eerder genoemde glazen prima-blok bestaat. Het voordeel van een glazen blok tussen objectief en opneembuizen bestaat daarin, dat de achter het objectief convergerende lichtbundel in glas minder sterk convergeert dan in lucht, waardoor de beeld-

\*) Am: Zoomlens.

afstand en daarmee ook de „werkafstand” groter wordt. Deze vergroting van de afstand is bij benadering evenredig met de brekingsindex van het glazen blok, dus ongeveer  $1\frac{1}{2}$  maal. Bij de genoemde camera was het mogelijk de lengte van het glazen blok, dat zowel de dichroïtische vlakken als ook de correctiefilters verbindt tot een compacte eenheid, te beperken tot ongeveer 70 mm.

Hiermee willen we de behandeling van het belangrijkste gedeelte van een kleurencamera, de optiek en het kleurensplitssysteem, besluiten en wij willen nu overgaan tot een bespreking van het elektronische gedeelte.

### **Opneembuizen**

Zoals reeds werd gezegd worden bij kleurencamera's tot nu toe alleen maar beeldortikons of vidikons gebruikt. De eerste voor studiocamera's in de beide landen, waar reeds een openbaar kleurentelevisiesysteem bestaat namelijk de U.S.A. en Japan. Vidikons daarentegen, die tot nu toe door hun grotere traagheid nog niet geschikt zijn voor studio-opnamen van hoogste kwaliteit, worden gebruikt in kleurencamera's voor wetenschappelijke en industriële toepassingen. Beeldortikoncamera's kunnen tengevolge van de grote gevoeligheid van de opneembuizen, in de studio's goede beelden geven met nog te verdragen verlichtingssterkten van 3000 tot 6000 lux. Ze vereisen echter een zeer vakkundige en opmerkelijke bediening en zijn onhandig groot en zwaar, omdat ze tot nu toe nog zonder uitzondering zijn voorzien van het volumineuze kleurensplitssysteem met relai-optiek. Vidikoncamera's daarentegen kunnen, vooral wanneer zij berusten op het als laatste beschreven, moderne kleurenontledingssysteem, zowel in hun afmetingen als ook in gewicht gelijk komen met de gebruikelijke zwart-wit camera's en zijn dank zij het eenvoudige principe waarop de vidikons berusten, ook veel eenvoudiger te bedienen. Hoewel ze tengevolge van de hoge verlichtingssterkte en de nog niet volkomen overwonnen traagheid, voorlopig nog niet voor studiowerk kunnen worden gebruikt, lenen zij zich des te beter voor toepassingen in de wetenschap en de industrie, waarbij meestal grotere verlichtingssterkten kunnen worden toegelaten. Vooral bij het onderricht aan medische universiteiten schijnt, voor zover daar in dit beginstadium al over kan worden gesproken, de vidikonkleurencamera een dominerende plaats te hebben veroverd.

Het is niet nodig hier nog eens in te gaan op de werking van beeldortikon, resp. vidikon, evenmin als op de bijbehorende schakelingen, zoals het verzorgen van de spanningen, het afbuigen van de elektronenstralen, de straalonderdrukkingen dergelijke\*. Dit alles is in principe hetzelfde als bij de zwart-wit camera's, alleen zo mogelijk nog een graadje nauwkeuriger in te stellen en te controleren, als ook stabielere wat betreft het verloop met de tijd. We moeten daarbij in het oog houden, dat het hier gaat om de volkomen gelijke instelling van drie opneembuizen en dat het optreden van ongecontroleerde, kleine afwijkingen tijdens het bedrijf, direct zou leiden tot kleur- of kleuren-dekkingsfouten bij de weergave.

Kleurfouten ontstaan, wanneer de drie videosignalen afwijken van de theoretisch juiste waarden, die volgen uit het principe van de kleurensplitsing. Deze waarde is, vooropgesteld dat het kleurensplitssysteem goed werkt, gemakkelijk in te stellen. Een willekeurige door de camera opgenomen zwart-wit afbeelding moet op de, bij iedere kleurencamera behorende controle-oscilloscoop, drie even grote video-amplitudes  $R$ ,  $G$ ,  $B$  opleveren (zie blz. 30); met de op de cameraversterkers aanwezige instelmogelijkheden is dat steeds te bereiken. Deze drie gelijke videosignalen moeten, als zij aan de ontvanger worden toegevoerd, op het beeldscherm daarvan een zuiver zwart-wit beeld zonder enige kleurschakering doen ontstaan. Zoals reeds eerder werd verklaard (zie blz. 31) is dat het geval als de lichtintensiteiten van de in de drie grondkleuren oplichtende luminiforen, zich voor ieder beeldpunt verhouden als 30 (rood) : 59 (groen) : 11 (blauw). Uitgaande van drie gelijke signalen en rekening houdende met het verschillende rendement van de luminiforen wordt dit bereikt als de drie in de ontvanger aanwezige videoversterkers zodanig worden ingesteld, dat de drie producten van de versterkingsfactor maal het rendement van de drie luminiforen zich voor de drie kanalen eveneens verhouden als 30 : 59 : 11.

Is deze instelling eenmaal geschied, dan wordt automatisch ook iedere willekeurige kleurencombinatie natuurgetrouw weergegeven. Vooropgesteld is daarbij natuurlijk, dat de verschillende versterkers in de overbrengingsketen tussen opneem- en weergeefbuis (inclusief deze beide buizen) constant blijven. Een voortdurende controle van de amplitudes van de videosignalen met behulp van de controle-oscilloscoop is tijdens een lopende

---

\*) Zie W. A. Holm, „Televisietechniek zonder formules”, blz. 107 e.v.



kleurentuitzending helemaal niet mogelijk, respectievelijk alleen maar mogelijk op de momenten, dat zich een licht, wit voorwerp in de scene bevindt, dat in alle drie de videokanalen even grote, maximale signalen moet opwekken.

### **Totale gamma van de installatie**

Behalve de constantheid van de versterking, die kan worden verkregen met behulp van de gebruikelijke middelen, zoals stabiliseren van de voedingsspanningen en tegenkoppeling van de versterktrappen, moet ter vermijding van kleurfouten nog aan een andere minstens even belangrijke voorwaarde worden voldaan, namelijk de volkomen *lineariteit* van de drie overbrengingskanalen tussen de fotokatodes van de opneembuizen en de luminiforen van de weergeefbuis.

Lineariteit van een versterker betekent volkomen evenredigheid tussen het ingangs- en uitgangssignaal van de kleinste nog voorkomende tot de grootste maximaal toelaatbare amplitudes. Voor de opneem-, respectievelijk weergeefbuis betekent lineariteit de volkomen evenredigheid, enerzijds tussen de op de fotokathode vallende lichtstroom en de daardoor opgewekte signaalstroom, respectievelijk tussen de stuurspanning van de weergeefbuis en de door de luminiforen uitgestraalde lichtstroom anderzijds. De noodlottige gevolgen van een niet-lineaire overdracht blijken uit een vergelijking van de figuren 21 a en b. De verhouding van de intensiteiten van de drie op de opneembuizen vallende primaire kleurcomponenten  $r$ ,  $g$ ,  $b$  blijft in het eerste geval behouden, de drie luminiforen van de ontvanger stralen licht uit in dezelfde verhouding ( $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$ ); alle kleuren en alle helderheidsgraden worden natuurgetrouw weergegeven. Bij een niet-lineaire overdracht (b) stralen de drie luminiforen van de ontvanger een geheel andere verhouding uit van de primaire kleuren ( $r''$ ,  $g''$ ,  $b''$ ); het gevolg is een foutieve kleur- en helderheidsweergave.

Voor een nader onderzoek van de lineariteit van de gehele overbrengingsketen kan deze in principe worden onderverdeeld in drie gedeelten: de opneembuis (van fotokathode tot het contact waarvan het signaal wordt afgenomen), het versterkergedeelte (voorversterker, correctieversterker, versterker in de ontvanger) en de weergeefbuis (van het contact, waarop het signaal wordt aangesloten tot de luminifoor). In fig. 22 a, b en c zijn de

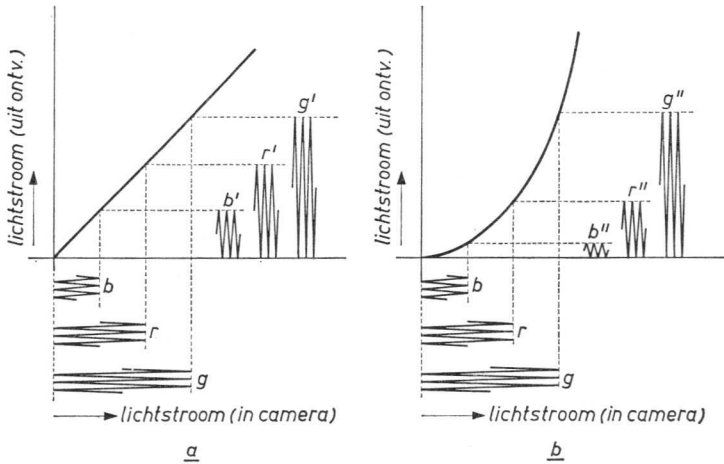


Fig. 21. Invloed van de lineariteit van de overbrengingsweg op de kleurenweergave.  
 a) Bij een lineaire overbrengingsweg worden de kleurcomponenten  $r'$ ,  $g'$ ,  $b'$  in dezelfde verhouding weergegeven als de in de scene voorkomende  $r$ ,  $g$ ,  $b$ .  
 b) Onjuiste verhouding van de weer te geven kleurcomponenten  $r''$ ,  $g''$ ,  $b''$  tengevolge van de niet-lineariteit van de overbrengingsweg.

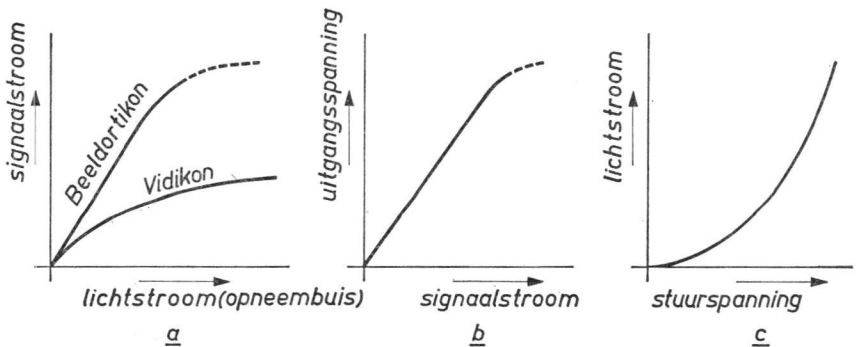


Fig. 22. Typische overbrengingskarakteristieken voor:  
 a) opneembuizen;  
 b) versterkers;  
 c) weergeefbuizen.

typische overbrengingskarakteristieken van deze drie gedeelten getekend Terwijl het versterkergedeelte (b) zonder moeilijkheden tot op iedere gewenste maximale amplitude lineair kan worden gehouden\*) is dat voor de opneem-resp. weergeefbuis (a, respectievelijk c) niet het geval. In de eerste plaats worden beide karakteristieken bepaald door elementaire wetten, enerzijds van de foto-elektrische omzetting (opneembuis), anderzijds door de verdeling van de ruimtelading (weergeefbuis).

Meestal zijn deze elementaire wetten bij benadering voor te stellen door eenvoudige formules.

Zo geldt bijvoorbeeld voor:

$$\text{Vidikon: } i_s = C_1 \cdot \sqrt{L_i} = C_1 \cdot L_i^{0,5}$$

$$\text{Beeldortikon: } i_s = C_2 \cdot L_i = C_2 \cdot L_i^1$$

$$\text{Weergeefbuizen: } L_0 = C_3 \cdot v_g^{2,2},$$

waarin  $C_1, C_2, C_3 =$  constanten,

$L_i =$  lichtstroom aan de fotokatode

$L_0 =$  lichtstroom van de luminifoor,

$i_s =$  signaalstroom uit de opneembuis,

$v_g =$  stuurspanning aan de weergeefbuis.

Zoals we zien komt de opzet van deze formules sterk overeen, afgezien van de constanten en de verschillende grootheden zoals stroom, spanning en lichtstroom onderscheiden zij zich slechts door de exponenten van de laatste factoren (0,5; 1; 2,2). Zoals reeds in 5/II deel van het boek „Televisietechniek zonder formules” werd opgemerkt, worden deze exponenten, het voorbeeld volgend van de wiskunde, aangegeven met de letter  $\gamma$  (gamma) en men spreekt dan van krommen (of functies) met een zekere *gammawaarde*. Een rechte lijn heeft een gamma 1, een parabool een gamma 2 enz. Een gamma 2,2, zoals bijvoorbeeld de weergeefbuis heeft, komt overeen met een kromme, waarvan het verloop ligt tussen dat van een gewone parabool ( $\gamma = 2$ ) en een derdemachtspaarabool ( $\gamma = 3$ ). De karakteristiek van een vidikon met een gamma 0,5 heeft dezelfde kromming als een gewone parabool, alleen zijn de beide coördinaatassen verwisseld (het ingangssignaal wordt uitgangssignaal en omgekeerd).

Bij het achter elkaar schakelen van enkele verschillende karakteristieken heeft de invoering van de gammawaarde het voordeel, dat bij de in dit geval

\*) Zie ook: W. A. Holm, „Televisietechniek zonder formules”, pag. 162.

te verrichten vermenigvuldiging van de karakteristieken, reeds door de eenvoudige vermenigvuldiging van alleen de gammawaarden, het gamma wordt verkregen van de resulterende karakteristiek; de absolute waarden van de verschillende karakteristieken behoeven dus zelfs helemaal niet bekend te zijn. Zo is b.v. direct vast te stellen, dat een overbrengingsinstallatie, bestaande uit een beeldortikon ( $\gamma = 1$ ), een lineaire versterker ( $\gamma = 1$ ) en een weergeefbuis ( $\gamma = 2,2$ ) een resulterend gamma zal hebben van  $1 \times 1 \times 2,2$ , dus een verkeerde weergave. In dit geval moet op een voorlopig willekeurige plaats in de versterkerketen een zogenaamde gammacorrector worden ingebouwd, die het anders lineaire versterkerdeel met opzet een niet-lineaire karakteristiek met een gamma van  $1/2,2 = 0,45$  geeft. Met deze gammacorrector wordt dan het totale gamma  $1 \times 0,45 \times 2,2 = 1$  en het resultaat is een foutloze kleurweergave.

Wanneer een vidikon in plaats van een ortikon wordt gebruikt dan zou het totale gamma bij een lineaire versterker zijn:  $0,5 \times 1 \times 2,2 = 1,1$ , zodat er slechts een geringe gammacorrectie nodig is. Er moet echter op worden gewezen, dat de hier genoemde waarden gemiddelde waarden zijn. De gammawaarden voor weergeefbuizen variëren b.v. tussen ongeveer 2,2 en 2,9, terwijl de gammawaarden voor vidikons ongeveer tussen 0,4 en 0,7 liggen. Bovendien is het als grondslag aannemen van gemakkelijk hanteerbare machtsfuncties voor de verschillende overbrengingskarakteristieken slechts bij benadering toelaatbaar; exacter, echter veel onhandelbaarder, zouden machtsreeksen zijn omdat vooral in het gebied van de kleine amplitudes grote afwijkingen van de aangenomen gemiddelde gammawaarden kunnen optreden. Op grond hiervan worden altijd ook bij het gebruik van vidikons in de drie versterkerkanalen gammacorrectoren opgenomen, die regelbaar uitgevoerd zijn en steeds een nauwkeurige afregeling op de karakteristieken van opneem- en weergeefbuizen en daardoor een natuurgetrouwe kleurweergave mogelijk maken.

De principiële schakelmogelijkheden voor gammacorrectoren worden hier niet meer besproken\*); wel zij opgemerkt, dat ook in zwart-wit camera's een gammacorrector wordt gebruikt om een te harde weergave van het beeld, die wordt veroorzaakt door de sterk gekromde karakteristiek van de weergeefbuis, te vermijden. Ook hier moet er op worden gewezen, dat de schakelingen in kleurentelevisie-installaties zo mogelijk nog stabiel moeten

\*) Zie ook: W. A. Holm, „Telesistiechniek zonder formules”, pag. 164.

zijn dan in zwart-wit installaties. Ook bij de kleurentelevise worden de gammacorrectoren niet aangebracht op de theoretisch juiste plaats in de ontvanger, maar in de correctieversterker, welke tot de apparaten aan de zenderzijde behoort. De reden daartoe is reeds eerder genoemd. Tegen deze correctie aan de zijde van de camera is bij systemen met gesloten circuit niets in te brengen, omdat de correctie door het waarnemen van het weergegeven beeld steeds nauwkeurig kan worden verricht. Voor de later zeker in te voeren openbare kleurentelevise echter schuilt hierin een gevaar, omdat aan de zijde van de zender alleen maar kan worden gecompenseerd voor een gemiddelde weergeefbuis. Bij alle daarvan afwijkende ontvangbuizen zullen echter meer of minder sterke kleurfouten optreden.

Een controle van de lineaire overbrengingskarakteristiek, resp. de instelling van de drie gammacorrectoren, geschiedt met behulp van een zwart-wit testbeeld, het beste met behulp van een zogenaamde grijstrap. Dat is een test-

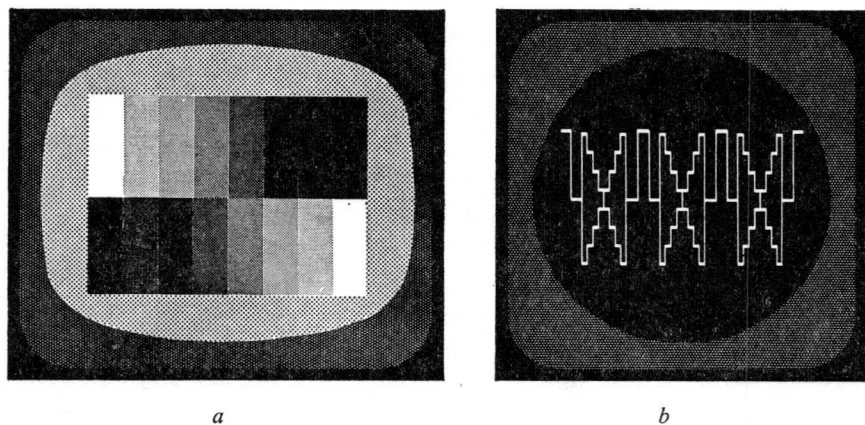


Fig. 23. a) Testbeeld met grijsschaal;

b) Oscillogram van de signaalstromen in de drie versterkanalen bij juiste instelling van de versterking.

beeld, dat meestal in de vorm van verticale strepen 8 tot 12 grijsgradaties tussen diep zwart en helder wit omvat (fig. 23a). Worden de drie cameraversterkers met behulp van een controle-oscilloscoop op gelijke amplitudes ingesteld (fig. 23b) en de ontvangerversterker zodanig dat het wit van het test-

beeld als zuiver wit op de beeldbuis van de ontvanger verschijnt dan moeten de drie gammacorrectoren zodanig worden ingesteld dat de verschillende nuances grijs ook werkelijk als neutraal grijs gezien worden en niet de een of andere grijswaarde een kleur vertoont. Wordt nu het testbeeld met een lichtgele of blauwgroene lichtbron verlicht dan moet bij juiste instelling van de gammacorrectors op het beeldscherm van de ontvanger dezelfde tint en wel in alle gradaties verschijnen. Is dat niet het geval dan moet de gammaregelaar worden bijgesteld.

### Dekking van de kleuren onderling

Het kleurenbeeld op de beeldbuis van de ontvanger ontstaat door additieve menging van het licht van drie verschillende beelden in de primaire kleuren (rood, groen en blauw). Het is vanzelfsprekend dat een bruikbaar beeld slechts dan kan ontstaan wanneer de drie beelden in primaire kleuren elkaar volkomen dekken; is dat niet het geval dan ontstaat hetzelfde als bij een slechte illustratie, uitgevoerd in driekleurendruk. Alle contouren van het beeld vertonen gekleurde randen. De oorzaken voor zulke *kleur-dekkingsfouten* kunnen bij de kleurentelevisie van zeer uiteenlopende aard zijn.

In principe kunnen ze zowel in de camera als ook in de ontvanger optreden, d.w.z. aan beide kanten moeten maatregelen worden genomen om ze te voorkomen. Deze maatregelen zijn zelfs van zeer omvangrijke aard en ze vormen noch bij de ontwikkeling noch bij de bediening van een televisie-installatie een eenvoudige opgave. Om te beginnen zal alleen het ontstaan van kleurdekkingsfouten in de camera worden behandeld.

Wanneer wordt voorop gesteld dat ten eerste de in de camera gebruikte optiek afdoende is gecorrigeerd voor kleuren (tegenwoordig altijd het geval) en dat ten tweede het toegepaste kleurensplijtsysteem geen vergrotings- of verschuivingsfouten van de kleurenbeelden veroorzaakt dan ontstaan de dekkingsfouten aan de zijde van de camera alleen door het ongelijk aftasten door de drie opneembuizen. In fig. 24 zijn de principiële mogelijkheden van fouten bij de aftasting van slechts twee buizen schematisch en vele malen overdreven voorgesteld. De verschillende oorzaken zijn daarbij als volgt:

- a) centreerfout; kan ook van zuiver optische aard zijn als de assen van de opneembuizen niet samenvallen met de respectievelijke optische assen.
- b) amplitudefout; kan optreden in lijn- en rasterrichting.

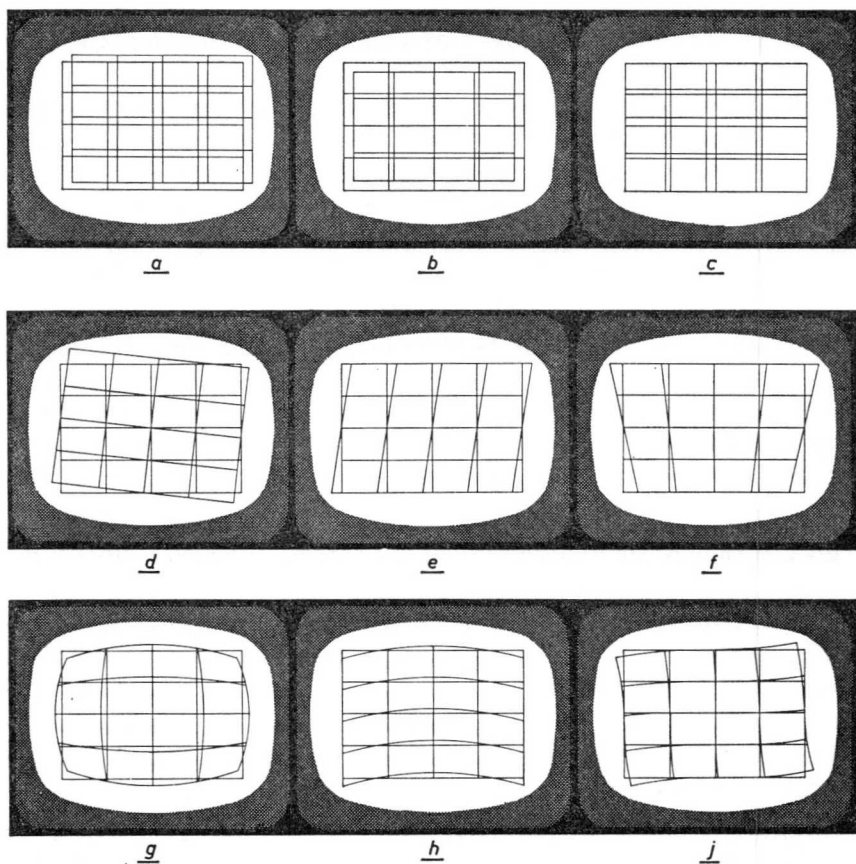


Fig. 24. Verschillende soorten kleurendekkingsfouten van de opneemcamera. Verklaring in de tekst.

- c) lineariteitsfout; kan optreden in lijn- en rasterrichting.
- d) afbuigsystemen zijn t.o.v. elkaar verdraaid.
- e) verschuiving in schuine richting (rhombische fouten); de afbuigvelden binnen in een afbuigstelsel staan niet loodrecht op elkaar.
- f) trapeziumfouten; afbuigvelden zijn niet homogeen.
- g) tonvormige vervorming (eventueel kussenvormige vervorming); invloed van de randvelden van de afbuigsystemen.

- h) invloed van uitwendige magnetische velden; de afwijkingen die ontstaan kunnen in vele variaties optreden. Ze kunnen onveranderlijk zijn of periodisch veranderen.
- i) S-vertorming; invloed van de randvelden bij onvoldoende kwaliteit van de afbuigsystemen.

Met nadruk willen we er op wijzen dat al deze aftastfouten niet alleen maar bij kleurentelevisie kunnen optreden; bij zwart-wit televisie is de mogelijkheid zelfs nog groter, omdat daarbij niet deze zeer grote zorgvuldigheid wordt in acht genomen ter vermindering van dergelijke fouten. Terwijl echter bij kleurentelevisie de reeds door zeer kleine afwijkingen veroorzaakte contourverschuivingen bij het over elkaar vallen van de drie kleurenbeelden direct opvallen, blijven deze zelfde geometrische- en vertekeningfouten onopgemerkt bij een eenvoudig zwart-wit beeld omdat het oog daarop geen controle kan uitoefenen.

Behalve de ook bij een zwart-wit camera voorkomende, regelmogelijkheden voor de aftastamplitude, de lineariteit, verschuiving en draaiing, moet dus een kleurencamera de meeste van deze regelingen ook nog hebben als individuele fijninstelling voor elk van de drie opneembuizen. Vanzelfsprekend worden de betreffende schakelingen steeds zodanig uitgevoerd dat de grootste mogelijke stabiliteit en constantheid, in de eerste plaats tegen temperatuurschommelingen, wordt verkregen. Bovendien moeten de drie opneembuizen tezamen met hun afbuigsystemen met behulp van mechanische precisie-instellingen nauwkeurig worden ingesteld op de drie optische assen van het kleurensplitssysteem en om hun assen kunnen worden gedraaid. Ook op het gebied van de afscherming tegen storende uitwendige magnetische en elektrische velden, moet nog meer zorgvuldigheid worden betracht dan bij de zwart-witcamera's. In principe worden de eisen des te hoger naarmate het opnameformaat kleiner is; voor het kleine vidikonformaat ( $9,6 \times 12,8$  mm) zijn dus grotere moeilijkheden te verwachten dan voor het beeldortikonformaat  $24 \times 32$  mm.

Tot slot zij nog vermeld dat – afgezien van de mechanische fijninstellingen – de meeste elektrische fijnregelingen niet in de camera, maar in het bedieningspaneel zijn ondergebracht, omdat hier pas een controle op de dekking van de kleuren met behulp van een controleontvanger (monitor) mogelijk is.

### **Het bedieningspaneel**

Behalve de zo juist genoemde elektrische fijninstellingen, die meestal met de



gebruikelijke, algemene afbuigschakelingen samen in één eenheid zijn ondergebracht, bevat het bedieningspaneel voornamelijk nog de drie videoversterkers (correctieversterkers) en het voedingsapparaat met de nodige stabilisatieschakelingen. Bovendien moeten aanwezig zijn een controle-oscilloscoop en op z'n minst een zwart-wit controle-ontvanger, die de drie kleursignalen tezamen in zwart-wit weergeeft (fig. 25). Op deze manier kan ook met behulp van een zwart-wit ontvanger worden gecontroleerd of de drie kleuren elkaar

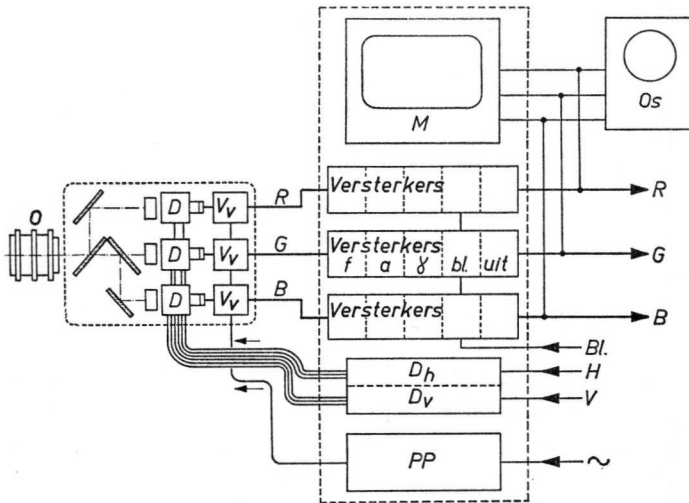


Fig. 25. Blokschema van een kleurentelevisie-opneeminstallatie.

$V_v$  = voorversterker; *Verst.* = correctieversterkers tevens frequentie-, apertuur-, gamma-correctie, straalonderdrukkings- en uitgangstrap; *Bl* = onderdrukkingsimpuls; *D* = afbuigeenheid;  $D_h$  = lijntijdbasis;  $D_v$  = rastertijdbasis; *H* = lijnsynchronisatie-impuls; *M* = zwart-wit monitor; *O* = objectief; *Os* = oscilloscoop; *PP* = voedingsgedeelte; *V* = rastersynchronisatie-impuls; *R*, *G*, *B* = video kleursignalen.

volkomen dekken, hoewel deze controle niet zo nauwkeurig is als met een kleurenontvanger, omdat contourverschuivingen in zwart-wit niet zo duidelijk opvallen als in een kleurenbeeld.

Omdat hier op details van de schakeling niet nader zal worden ingegaan, zullen over de videoversterkers alleen maar enige principiële dingen worden gezegd: net als bij de zwart-wit televisie worden de van de opneembuizen afkomstige zeer zwakke signalen eerst door de voorversterkers van de camera

versterkt. Evenals daar zijn ook hier deze versterkers voornamelijk van uit *een* gezichtspunt ontworpen, namelijk een zo ruisvrij mogelijke versterking te geven van de ingangssignalen, die kunnen liggen in de orde van grootte van tiende millivolts of nog minder. Na versterking tot op enige tiende volts zijn de signalen sterk genoeg om zonder te worden beïnvloed door lichtnetbrom en andere storingen via de soms enige honderden meters lange kabel aan het bedieningspaneel te worden toegevoerd. Kleurencamera's hebben meestal twee of drie camerakabels nodig omdat door het onderbrengen van de vele noodzakelijke aders in een enkele kabel deze laatste veel te dik en te stijf zou worden.

In de versterkers van het bedieningspaneel vindt dan, zoals gebruikelijk, de noodzakelijke correctie van de frequentiekaracteristiek plaats (voor zover dat al niet in de voorversterkers is gebeurd), zo ook de apertuurcorrectie\*) en de gammacorrectie, die hier zoals reeds werd opgemerkt, van de allergrootste betekenis is. Tenslotte worden aan de primaire signalen nog de onderdrukkingssignalen toegevoegd, waarbij vooral aandacht moet worden besteed aan het constant houden van de zwart-wit waarde; vooral kleine fouten in het zwartniveau uiten zich direct door foutieve kleurweergave in de schaduwpartijen van het beeld.

De drie van de onderdrukkingssignalen voorziene kleursignalen zijn voldoende voor het systeem met gesloten circuit en kunnen via drie coaxiale kabels direct worden toegevoerd aan het weergeefapparaat (kleurenmonitor). Wordt via een zender gewerkt, dan worden de drie signalen in een zogenaamde codeerder (zie blz. 118 e.v.) samengevoegd tot een enkel signaal, het samengestelde kleurensignaal, terwijl tevens het synchronisatiesignaal eraan wordt toegevoegd, waarna ze gereed zijn om de zender te moduleren. Is er meer dan een kleurencamera of wordt deze gecombineerd met kleurendia-, respectievelijk filmaftasters, dan worden de samengestelde signalen net als in een zwart-wit studio het geval is, eerst toegevoerd aan de menglessenaar.

Terwijl het buitengewoon gecompliceerde systeem van het verenigen van de drie kleursignalen tot het samengestelde kleurentelevisievideo signaal pas in het laatste gedeelte van dit boek zal worden behandeld, zullen in het nu volgende gedeelte de tegenwoordig in gebruik zijnde weergavesystemen worden besproken.

---

\*) Zie ook: W. A. Holm, „Telesietechniek zonder formules”, pag. 178.

## HOOFDSTUK 3

### WEERGEEFSYSTEMEN

Het grondprincipe van het via een televisie-installatie in natuurlijke kleuren weergeven van beelden werd reeds in het inleidende gedeelte besproken: in de opneemcamera worden de kleuren van de opgenomen scene volgens een nauwkeurig vastgelegde verhouding ontbonden in de drie componenten van de primaire kleuren rood, groen en blauw en omgezet in drie videosignalen *R, G, B* (fig. 11). Onverschillig op welke wijze deze videosignalen in de weergeefapparaten komen, hetzij met behulp van een draaggolf, hetzij via drie kabels, met deze signalen moeten de drie primaire beelden rood, groen en blauw, worden gevormd en aan het oog op een enkel beeldvlak worden getoond. In fig. 11 bv. worden de drie primaire beelden gevormd op drie kleine projectiebuizen met verschillend gekleurde luminiforen en deze drie kleurenbeelden worden tezamen op een transparant scherm geprojecteerd. Door additieve menging van de drie van het scherm uitgaande primaire soorten licht ontstaat dan een beeld in de natuurlijke kleuren. Er bestaan echter nog andere in beginsel hiervan afwijkende methoden, die thans zullen worden besproken.

#### **Methode van de kleurwisseling**

Bij de eerste experimenten, ongeveer 25 jaar geleden, om te komen tot kleuren-televisie, schenen allereerst twee dingen met de destijds ter beschikking staande hulpmiddelen onmogelijk te zijn. In de eerste plaats een continue ontleding van het licht in de drie primaire componenten te verkrijgen met behulp van bijvoorbeeld dichroïtische spiegels. In de tweede plaats was het onmogelijk de drie opneembuizen en ook de drie weergeefbuizen op een zodanig volkomen gelijke wijze af te tasten, dat de beelden in de drie grondkleuren opnieuw konden worden samengevoegd tot een beeld in natuurlijke kleuren, zonder ernstige dekkingsfouten. Beide moeilijkheden kunnen worden

omzeild, wanneer weer eens gebruik wordt gemaakt van de traagheid van het oog, in nog iets uitgebreidere zin dan dit reeds bij het lijn voor lijn opbouwen van het televisiebeeld wordt gedaan.

De traagheid van het oog is er de oorzaak van dat bijvoorbeeld een zeer korte lichtindruk op het oog, in het gezichtsbewustzijn langer schijnt te duren, omdat het gecompliceerde proces van de chemische en elektrische prikkeling van de staafjes, kegeltjes en zenuwcellen een zekere aan- en vooral uitlooptijd nodig heeft. Nu geldt dit traagheidsverschijnsel niet alleen voor de helderheidsindruk, maar in gelijke mate ook voor de kleurindruk van het gedurende korte tijd invallende licht. Wanneer dus binnen een korte tijd (minder dan ca. 1/10 sec) verscheidene, verschillend gekleurde lichtflitsen na elkaar het oog treffen, dan worden niet meer de afzonderlijke kleuren waargenomen, maar slechts een enkele, volgens de regels van de additieve menging tot stand gekomen resulterende kleur licht.

Toegepast bij de kleurentelevisie kan daarmee op de volgende wijze een overbrengingsinstallatie worden gebouwd (fig. 26):

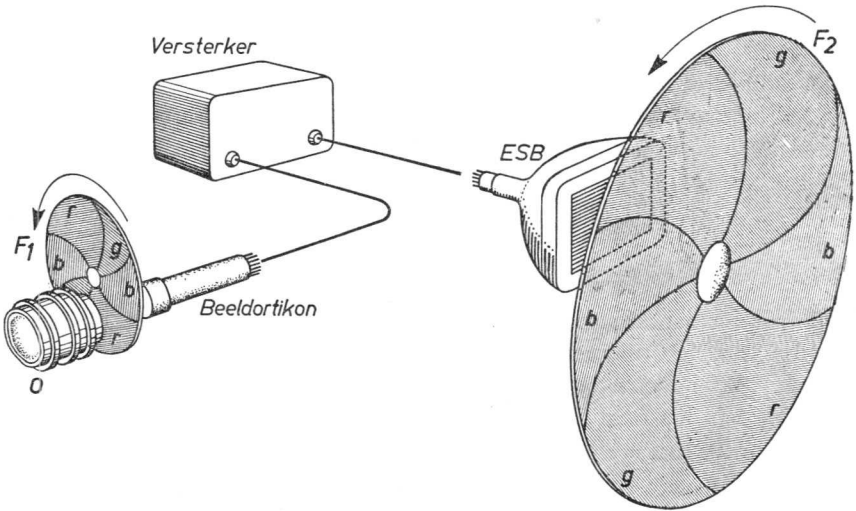


Fig. 26. Principe van het kleurenwisseling overbrengingssysteem.

$V$  = videoversterker;  $ESB$  = zwart-wit beeldbuis;  $F_1, F_2$  = draaiende kleurenfilterschijf met rode, groene en blauwe segmenten ( $r, g, b$ );  $O$  = objectief.

Tussen het objectief van de camera en de opneembuis van een normale zwart-wit camera wordt een sneldraaiende filterschijf ( $F_1$ ) geplaatst, die bestaat uit de primaire kleuren rood, groen en blauw in elkaar afwisselende volgorde. Daardoor ontstaan op de opneembuis in een regelmatige snelle afwisseling de beelden van de opgenomen scene in de primaire kleuren rood, groen en blauw. Het toerental van de schijf wordt zodanig in overeenstemming gebracht met het raster, dat de overgang van de ene primaire kleur op de andere zo direct als mogelijk is, de verticale beweging van de aftaststraal volgt (van onder naar boven in de camera). In het videosignaal, dat op deze wijze ontstaat, zal dan in afwisselende volgorde steeds het ene volledige raster slechts de rode componenten, het volgende raster slechts de groene en het derde raster slechts de blauwe componenten van de opgenomen scene bevatten. Bij het vierde raster begint dan deze cyclus van voren af aan. Na de gebruikelijke versterking kan dit signaal worden toegevoerd aan een enkele weergeefbuis, waarvoor eveneens een voldoende grote filterschijf draait ( $F_2$ , van boven naar beneden draaiend). Het is niet moeilijk de beide schijven in de camera en voor de ontvangerbuis met behulp van synchronisatie-impulsen en een speciale faze-impuls, isochroon en in faze te laten lopen, zodat ook op de ontvanger de drie rasters afwisselend in de drie primaire kleuren worden weergegeven; de toeschouwer krijgt dan de indruk van een beeld in de natuurlijke kleuren.

### **Nadelen van de methode van de kleurwisseling**

Door het op elkaar volgen van de verschillend gekleurde rasters wordt dit het kleurwisselsysteem genoemd, dikwijls ook het C.B.S.-systeem, omdat voornamelijk deze Amerikaanse omroepmaatschappij (Columbia Broadcasting System) met enorme kosten de ontwikkeling daarvan tot een praktisch bruikbaar systeem doorzette. In 1950 werd dit streven met succes bekroond: het C.B.S.-systeem werd door de F.C.C. (Federal Communications Commission) aangenomen als de norm voor de Amerikaanse kleurentelevisie; een miljoenen verslindende wedloop tussen de ontwikkeling van dit en een ander, voornamelijk door de R.C.A. (Radio Corporation of America) gepropageerd systeem *zonder* filterschijven, scheen ten gunste van de C.B.S. te zijn beslist.

Hoewel datgene, wat werd bereikt, als eerste grote succes moet worden gewaardeerd en in de ontwikkeling van de kleurentelevisie als belangrijke

mijlpaal moet worden erkend, was men toch met deze oplossing van het probleem in menig opzicht niet gelukkig. Zou men desnoods het door de filtering van het licht veroorzaakte zeer grote verlies aan gevoeligheid van de camera en ook het helderheidsverlies van de weergeefbuis op de koop toe nemen, dan bleef er toch altijd nog over de eveneens door de filterschijven veroorzaakte, wanverhouding tussen de afmetingen van de ontvanger en de werkelijke afmetingen van het beeld om nog niet eens te spreken van de principiële onvolmaaktheden, die ontstaan bij elk functioneel samengaan van elektronische gebeurtenissen met mechanische bewegingen. Als de grootste onvolkomenheid echter gold en geldt ook nu nog, dat bij de hoogfrequentie uitzending van het kleurensignaal òf de kanaalbandbreedte aanmerkelijk moet worden vergroot òf, wanneer de inmiddels vastgelegde TV-kanaalbandbreedte aangehouden wordt, bij snelle bewegingen een sterk flikkeren van de kleur en regenboogcontouren zal optreden. Dit onaangename alternatief heeft de volgende oorzaak. Zoals in het boek „Televisie zonder formules”, blz. 24 wordt beschreven is de tegenwoordige bandbreedte van 7 MHz (met inbegrip van het geluidskanaal) met enig overleg juist nog voldoende voor het overbrengen van 50 beelden per seconde, wanneer deze met  $625 : 2 = 312\frac{1}{2}$  lijnen worden afgetast. Verschijnen nu bij de wissel-methode de elkaar opvolgende beelden telkens in de drie verschillende primaire kleuren, dan worden per seconde slechts  $50 : 3 = 16\frac{2}{3}$  beelden van dezelfde kleur weergegeven, wat niet alleen tot flikkeren van de kleuren leidt, maar veel storender nog: regenboogcontouren aan bewegende voorwerpen veroorzaakt. Een extra accent krijgt de weergave nog door het lijnkleurenflikkeren, dat door de geïnterliniëerde aftasting ontstaat, omdat een tijdsverloop van niet minder dan 6 beelden voorbijgaat voor een bepaalde lijn weer in dezelfde primaire kleur verschijnt.

Deze buitengewoon onaangename eigenschappen zouden slechts door een aanmerkelijke vergroting van het aantal beelden kunnen worden voorkomen, wat echter, wanneer hetzelfde aantal lijnen per beeld wordt aangehouden, leidt tot een vergroting van de aftastnelheid en daarmee tot een grotere bandbreedte.

Een verkleining van het aantal lijnen bij een groter aantal beelden zou weliswaar de bandbreedte niet wijzigen, het betekent echter uit de aard der zaak een verlies in definitie. Er zou evenwel een bevredigende compromisoplossing kunnen worden gevonden met een geheel ander aantal lijnen en

beelden, doch daarbij zou dan geen rekening kunnen worden gehouden met een van de belangrijkste eisen, welke aan het systeem worden gesteld namelijk de *verenigbaarheid*. Verenigbaarheid is de eigenschap, dat het uitgezondene kleurensignaal door iedere normale zwart-wit-ontvanger automatisch als een goed zwart-wit beeld moet kunnen worden weergegeven. Deze eis is, althans voor de naaste toekomst, een van de voornaamste eisen voor ieder kleuren-televisiesysteem.

### De simultaanmethode

In dezelfde tijd, dat het C.B.S.-systeem praktisch werd verwezenlijkt, werden nog andere experimenten uitgevoerd, waarbij ten dele geheel andere, nieuwe principes werden toegepast. Zo waren er bijvoorbeeld zuiver elektronische, dus zonder roterende filters werkende, wisselsystemen reeds tot aan proeven in de praktijk uitgewerkt. Vooral een *lijnwisselsysteem* en als laatste stap zelfs een *puntwisselsysteem* van de R.C.A. schenen dicht bij een definitieve oplossing. Bij het eerste wisselt de primaire kleur reeds na iedere lijn in plaats van na ieder beeld; bij het laatste zelfs na ieder beeldelement. Hierdoor wordt het probleem van het flikkeren voor een groot deel opgelost en dat van de regenboogcontouren verdwijnt geheel.

Het vergroten van de kanaalbreedte is niet meer nodig bij toepassing van deze systemen, waardoor de verenigbaarheid niet langer in het gedrang komt. Enerzijds werd deze verfijning van de kleurwisseling mogelijk door een traagheidsloze, elektronische omschakeling van de videosignalen van de drie opneembuizen, anderzijds door de succesvolle ontwikkeling van weergeefbuizen, waarin de drie verschillende luminiforen in de vorm van zeer dunne strepen (lijnen), respectievelijk punten afwisselend waren aangebracht op een enkel scherm. De drie opneembuizen waarop, weliswaar op primitieve doch in principe ook nu nog gebruikelijke wijze, de opgenomen scene in haar primaire componenten werden afgebeeld, vormden dus een simultaan werkend systeem, terwijl het weergeefapparaat nog volgens een kleurwisselsysteem werkte. Het was juist het probleem van de weergeefbuis, waarvan de oplossing het moeilijkste scheen te zijn en waardoor de definitieve uitwerking van het tegenwoordig algemeen aanvaarde systeem uiteindelijk werd vertraagd. Hoewel het gelukt was de drie verschillende luminiforen met de gewenste nauwkeurigheid in lijn- of puntvorm op het scherm aan te brengen, bleef toch

het probleem van de nu noodzakelijke gecompliceerde en buitengewoon nauwkeurige aftasting door de elektronenstraal eerder in een experimenteel, dan in een praktisch betrouwbaar stadium steken.

De uiteindelijke oplossing bracht pas het definitieve besluit over te gaan op een volledig *simultaansysteem*, dus door ook aan de zijde van de ontvanger de drie primaire kleurenbeelden tegelijkertijd weer te geven. Dit kon gebeuren door de ontwikkeling van de juist klaargekomen weergeefbuis met een scherm met puntstructuur in de richting verder voort te zetten, dat in deze buis *drie* elektronenkanonnen zodanig werden ingebouwd, dat de drie met het videosignaal gemoduleerde elektronenstralen tijdens de normale aftasting automatisch op de rode, groene respectievelijk blauwe luminifoorpunten vielen. Deze zogenaamde *schaduwmaskerbuis* (R.C.A.), die tot nu toe de enige praktisch gebruikte weergeefbuis is, wordt hieronder nog uitvoeriger beschreven; met deze buis was het weergaveprobleem bij een simultaansysteem op voorlopig bevredigende wijze opgelost, terwijl belangrijke voordelen werden bereikt ten opzichte van het kleurwisselsysteem. Het op vernuftige wijze opnemen van deze buis in een volledig simultaansysteem, respectievelijk de uiteindelijke uitwerking van een dergelijk systeem tot een stadium van perfectie, dat gedurende vele jaren aan alle eisen zou kunnen voldoen, geschiedde in een vorm, die in de geschiedenis van de elektronentechniek uniek is: onder de druk van het door de F.C.C. net gestandaardiseerde C.B.S.-kleurwisselsysteem, sloten zich enige van de belangrijkste Amerikaanse ontwikkelingslaboratoria aaneen tot het N.T.S.C. (National Television System Committee), met tot doel door verdeling van de problemen en de daardoor mogelijke intensiefste bestudering, binnen de kortstmogelijke tijd een kleurentelevisie-systeem uit te werken, dat beter was dan het C.B.S.-systeem. Reeds binnen een jaar kon het resultaat worden voorgelegd aan het F.C.C., een resultaat, dat door de koene gedachte niet minder fascineert dan door de diepgaande theoretische onderzoeken en de genialiteit van de praktische uitvoering. In zijn geheel bekeken zal dit N.T.S.C.-systeem nog voor lange tijd kunnen worden beschouwd als een bewonderenswaardige uiting van menselijk vernuft en combinatievermogen. In 1951 werd het systeem door de F.C.C. verheven tot het definitieve Amerikaanse kleurentelevisie standaardsysteem.

Het C.B.S.-kleurwisselsysteem is daardoor weliswaar uitgesloten voor openbare televisie, maar het zal tengevolge van zijn in verhouding eenvoudige



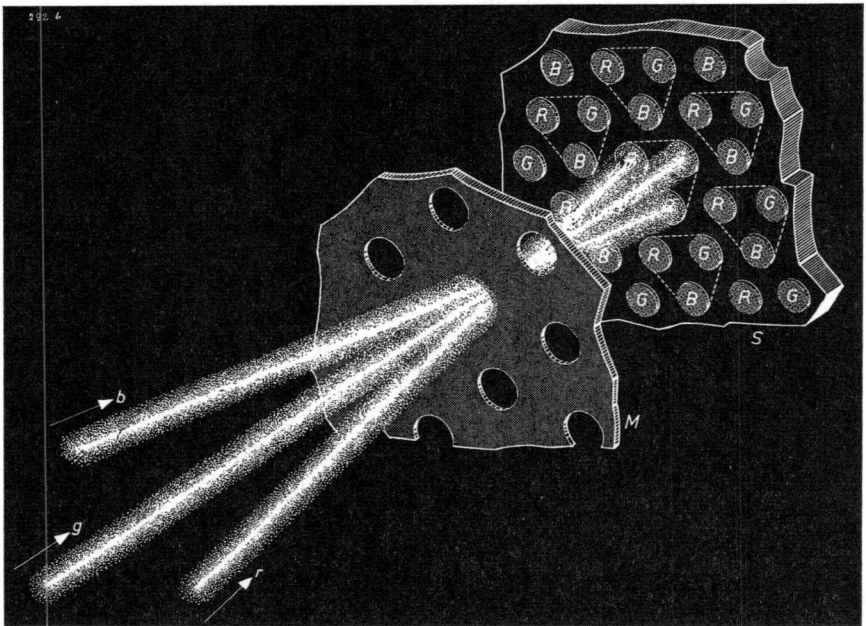
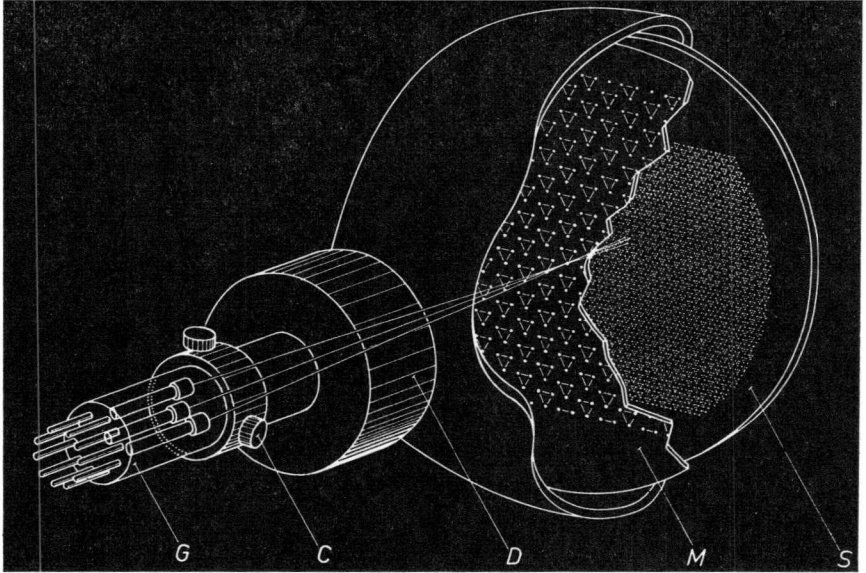
opzet ook verder een rol spelen voor kabeltelevisie of bij uitzendingen via een eigen kleine straalzender, voornamelijk voor industriële toepassingen van de kleurentelevisie. Een enkel, hoewel groot voordeel van het wisselsysteem mag niet over het hoofd worden gezien, nl. het volledig ontbreken van fouten voor zover het betreft de dekking van de kleuren. Het vermijden van deze fouten bij een simultaansysteem is, zoals reeds werd opgemerkt, een zowel tijdens de ontwikkeling als ook bij de bediening zeer grote nauwkeurigheid eisende opgave.

### De schaduwmaskerbuis

Deze buis is gebaseerd op het volgende theoretische principe van de kleurenweergave:

De in de drie primaire kleuren oplichtende luminiforen zijn als buitengewoon kleine punten zodanig over het vlak van het oplichtende scherm verdeeld, dat er een regelmatig systeem van zeer kleine driekleurige driehoeken ontstaat ( $R$ ,  $G$ ,  $B$  in fig. 27). De doorsnede van een luminifoorstip is ongeveer 0,42 mm, de onderlinge afstand ongeveer 0,72 mm. Daardoor onttrekt zich niet alleen de enkele punt, doch ook een gehele groep van drie aan het oplossend vermogen van het oog (tenminste op normale zichtafstand bekeken). Dat wil echter zeggen, dat bij verschillende lichtintensiteit van de luminifoorstippen van een groep van drie, het oog niet meer de drie verschillende soorten licht waarneemt, maar alleen, zoals de bedoeling is, het resultaat van hun additieve menging registreert.

Afgezien van de technologische en fabrikage-moeilijkheden bij het opbrengen van de luminifoorstippen is het theoretische principe van de buis dus buitengewoon eenvoudig. De moeilijkheden beginnen er echter mee, dat drie elektronenstralen, die gemoduleerd zijn met het  $R$ -,  $G$ -, resp.  $B$ -signaal, gedwongen moeten worden tijdens hun normale aftastbeweging over de groepen van drie heen te strijken, individueel echter binnen iedere groep slechts het ene, juiste luminifoorstip te treffen. Een verbluffend eenvoudige en absoluut betrouwbare, hoewel niet de elegantste oplossing is het aanbrengen van een zogenaamd *schaduwmasker* ( $M$ ) op korte afstand achter het beeldscherm (fig. 27 a ,b). Zoals zonder meer uit deze figuur blijkt, kunnen de drie elektronenstralen in het geval dat zij elkaar kruisen in één opening van het masker, niets anders dan daarachter telkens op het juiste



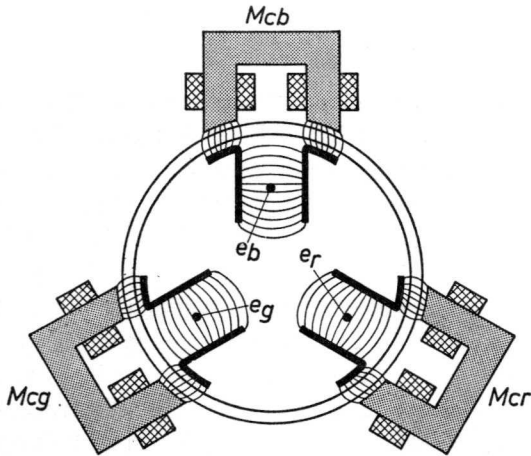


Fig. 28. a) Convergentsysteem voor de schaduwmaskerbuis; b) blauw-instelmagneet voor de schaduwmaskerbuis.

$eb$ ,  $eg$ ,  $er$  = elektronenstralen voor de blauwe, groene, resp. rode luminofoor,  $M_{bp}$  = blauwinstelmagneet;  $M_{cb}$ ,  $M_{cg}$ ,  $M_{cr}$  = convergentiemagneten voor blauw, groen, resp. rood.

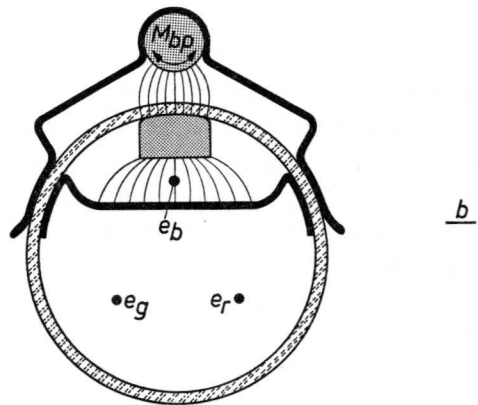


Fig. 27. De schaduwmaskerbuis. a) doorsnede van de buis; b) vergroot detail van de drie elektronenstralen die door het schaduwmasker vallen.  $b$ ,  $g$ ,  $r$  = elektronenstralen voor de rode, groene, resp. blauwe luminofoor;  $C$  = Convergentsysteem;  $D$  = Afbuigsysteem  $G$  = drie elektronenkanonnen;  $M$  = schaduwmasker;  $S$  = oplichtend scherm met de drie, in de vorm van een fijn stipraster, opgebrachte luminoforen.

luminifoorstip van een groep van drie vallen. Bij iedere groep van drie behoort dus één opening in het masker.

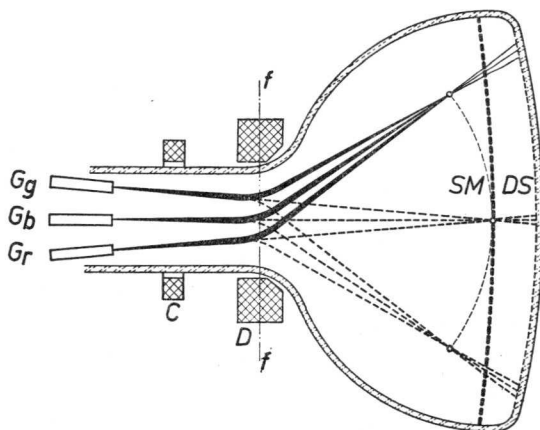
### Statische convergentie

Het gaat er nu alleen nog maar om, de elektronenstralen zodanig in te stellen, dat zij bij hun aftastbeweging over het vlak van het beeldscherm, elkaar steeds in het vlak van het masker kruisen of, zoals het in de ingeburgerde vaktaal heet, dat het *convergentiepunt* steeds in het vlak van het masker ligt. Voor het middelpunt van het scherm zou dat al te bereiken zijn door de kanonnen iets scheef op te stellen, praktisch echter ontstaan er niettegenstaande een nauwkeurige voorinstelling steeds kleine afwijkingen, die met behulp van zwakke magnetische afbuigvelden moeten worden gecorrigeerd.

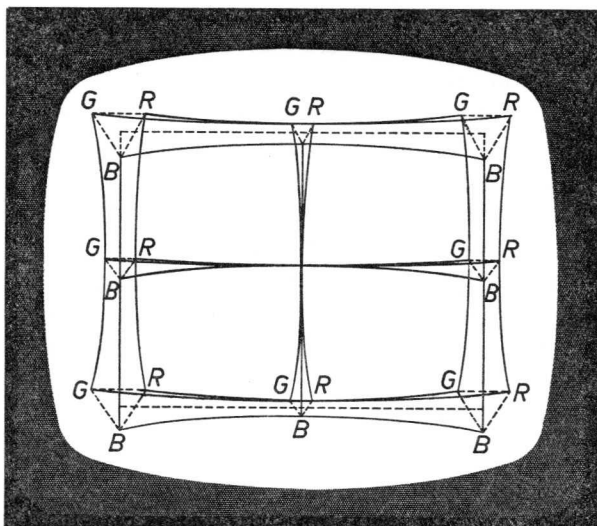
Tot dit doel zijn in de hals van de buis, vlak voor de uittree-openingen van de kanonnen, drie paren poolschoenen aangebracht, waar de elektronenstralen tussendoor moeten gaan. Worden buiten op de hals van de buis op deze plaats drie kleine elektromagneten geplaatst, waarvan de jukken corresponderen met de in de hals ondergebrachte poolschoenen, dan kunnen, door de stroom te regelen, die door de elektromagneten vloeit, zwakke velden tussen de poolschoenen worden opgewekt, waardoor de elektronenstralen in radiale richting kunnen worden „vershoven” (fig. 28 a en b). Door alleen een *radiale* beweging kunnen echter nog niet de drie stralen in één punt in het midden van het masker worden verenigd; minstens één straal moet nog in een tweede, zo mogelijk tangentiale richting kunnen worden verschoven. Daarvoor werd de „blauwe” straal uitgekozen, die nog een volgend paar poolschoenen moet passeren en daar dan, door een eveneens buiten de buis geplaatste „blauw-instel” magneet, in horizontale richting kan worden verschoven. Met deze vier magneten kunnen dus de drie elektronenstralen ongeveer in het middelpunt van het masker tot convergentie worden gebracht. Men noemt dit *statische convergentiecorrectie*.

### Dynamische convergentie

Aanmerkelijk moeilijker worden de convergentieproblemen, wanneer de invloed van de *aftastbeweging* op de convergentie van de drie elektronenstralen wordt onderzocht. Zoals uit fig. 29a blijkt, komt het convergentiepunt



a



b

Fig. 29. Dynamische convergentiefouten.

a) oorzaak;

b) resultaat daarvan op het beeldscherm;

$C$  = convergentie-eenheid;  $D$  = afbuigenheid;  $DS$  = punt-scherm;  $G_b$ ,  $G_g$ ,  $G_r$  = elektronenkanonnen;  $SM$  = schaduwmasker;  $f-f$  = afbuigvlak.

dan ver achter het masker te liggen, de elektronenstralen vallen niet meer tegelijk door een *enkele* opening, maar komen op verschillende plaatsen op het masker en daardoor ook op het beeldscherm terecht. Elk van de drie stralen ondergaat een andere geometrische vervorming van zijn afbuigbeweging, er ontstaan naar de rand van het beeld toe te grote fouten in de dekking van de drie beelden (kleurendekking), zoals ze in fig. 29b enigszins overdreven zijn aangegeven. De juiste weergave van de kleuren, dus de zuiverheid van de kleuren, wordt daardoor nog niet beïnvloed; de drie stralen vallen steeds nog op luminifoorstippen van de juiste kleur, ook wanneer deze niet meer in dezelfde groep van drie liggen.

Dit verlies aan convergentie moet worden vermeden door middel van zogenaamde *dynamische* convergentiecorrectie. Hiertoe worden dezelfde poolschoenen, resp. magneetjukkan gebruikt, die ook al voor de statische convergentiecorrectie dienst doen. Terwijl daarvoor echter per kanon een gelijkstroom van een bepaalde richting en sterkte voldoende was, moeten het nu nog extra, zowel in lijn- alsook in rasterfrequentie veranderlijke, correctiestromen zijn. Zoals blijkt uit fig. 29 b, zal het daarbij bij benadering gaan om paraboolvormige stromen, waaraan door superpositie met een zaagtandvormige stroom, de nodige asymmetrie wordt gegeven. Daaruit volgt, dat per kanon nog vier andere in hun amplitude regelbare stromen nodig zijn, en wel:

- a) een paraboolvormige stroom met de lijnfrequentie,
- b) een zaagtandvormige stroom met de lijnfrequentie,
- c) een paraboolvormige stroom met de rasterfrequentie,
- d) een zaagtandvormige stroom met de rasterfrequentie.

Tezamen met de gelijkstroom voor de statische convergentie en de blauwe horizontale verschuiving moeten er dus 16 regelmogelijkheden worden aangebracht voor het verkrijgen van zo volkomen mogelijke convergentie over het gehele oppervlak van het scherm.

De instelling van deze op zichzelf reeds zeer gevoelige regelaars krijgt nog een bijzondere noot, doordat het grote aantal correctiemogelijkheden per straal uiteindelijk slechts in hun complexe totale uitwerking invloed kan uitoefenen op het ene paar poolschoenen, dat per straal is aangebracht, zodat de elektronestraal slechts in een enkele richting een correctiebeweging kan uitvoeren (fig. 28a). De blauwe alleen maar in verticale richting, de rode, resp. groene straal van links onder resp. van rechts onder slechts onder een hoek van  $30^\circ$  ten opzichte van de horizontale as. Dat betekent, om een

extreem voorbeeld te kiezen, dat een noodzakelijk geachte kleine *vertikale* verschuiving van b.v. de rode straal een bijna twee maal zo grote *horizontale* verschuiving van de straal tengevolge heeft (cotg 30°). Een argeloos begonnen bijregeling van een enkele regelknop sleept dan ook meestal een eindeloze, meermalen herhaalde rondgang langs alle regelingen achter zich aan.

Over de regelschakelingen zelf zal hier, evenmin als over het verkrijgen van de parabool- en zaagtandvormige stromen uit de lijn-, resp. rastertijd-basis van de ontvanger, niet worden gesproken. Eén eis moet ook hier weer als voornaamste grondregel gelden: een maximale constantheid en stabiliteit. Dat is hier bijna nog belangrijker dan in alle andere delen van een kleuren-televisie-installatie, omdat het instellen, resp. bijstellen van de convergentie van de stralen zelfs voor geoefend personeel nog veel moeilijker en tijdrovender is dan welke ook van het werkelijk toch niet geringe aantal instellingen tussen opneem- en weergeefbuis.

### Kleurzuiverheid

Vele lezers zullen zich misschien na bestudering van fig. 29a hebben afgevraagd, hoe bij het schuin invallen van de stralen in de buitenste delen van het beeld de overeenstemming behouden kan blijven tussen de openingen in het masker en de groepen van drie op het beeldscherm; in verband hiermee wordt het volgende opgemerkt. Grondslag voor een juiste groepering van de luminifoorstippen op het beeldscherm is het gereed zijnde masker met openingen. Dit wordt naar een vele malen grotere, nauwkeurige tekening door fotografische verkleining en een etsproces eerst in vlakke vorm vervaardigd en daarna in de definitieve iets sferische vorm geperst. In een precisie-installatie wordt het dan op de juiste plaats ten opzichte van de buisbodemp gebracht, welke het ook later in de gereed zijnde buis moet innemen. Op de buisbodemp is inmiddels een van de luminiforen bijvoorbeeld de rode, in de vorm van een gelijkmatige, dunne emulsielaag aangebracht. De zo juist genoemde installatie bevat een puntvormige, sterke lichtbron precies op de plaats waar later in de gereed zijnde buis het theoretische afbuigpunt van de rode elektronenstraal ligt ( $D'$  in fig. 30).

Het masker doet nu voor de eerste keer zijn werk en wel doordat het licht door zijn openingen precies op die plaatsen van de luminifooremulsie laat vallen, waarop later ook de rode elektronenstraal tijdens zijn aftastbeweging

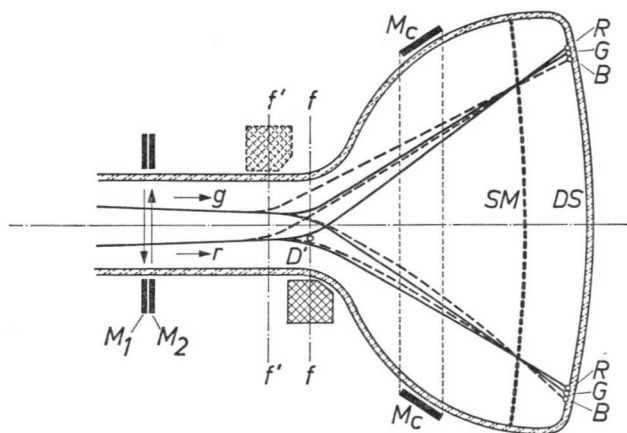


Fig. 30. Oorzaak van de fouten in de kleurzuiverheid.

Bovenste helft van de figuur: het afbuigingsysteem is uit zijn juiste stand  $f - f$  naar achteren verschoven ( $f' - f'$ ), de „rode” elektronenstraal  $r$  valt op een groene luminifoorstip, de „groene” straal  $g$  op een blauwe luminifoorstip.

Onderste helft van de figuur: door de invloed van een uitwendig magnetisch veld verlopen de elektronenstralen gebogen en vallen op verkeerde luminifoorstippen.

$D'$  = theoretisch juiste afbuigpunt voor de rode straal;  $M_1, M_2$  = kleurzuiveringsmagneten;  $M_e$  = correctiemagneet voor de uitwendige magnetische velden; overige aanduidingen als in fig. 29.

zal vallen. Door deze belichting wordt de luminifooremulsie fotochemisch zodanig omgezet, dat tengevolge van een met het fotografische ontwikkelen en fixeren te vergelijken proces, de luminifooremulsie op de onbelichte plaatsen oplost en wordt weggewassen; het regelmatige raster van de rode luminifoorstippen blijft dan over. Voor het opbrengen van de groene, respectievelijk blauwe luminifoorstippen wordt hetzelfde proces nog twee maal herhaald, waarbij de lichtbron in het latere afbuigpunt van de groene, respectievelijk blauwe straal wordt geplaatst en op de bodem van de buis een groene, respectievelijk blauwe luminifooremulsie wordt aangebracht.\*)

Op deze wijze wordt dus de overeenstemming van de openingen in het

\*) Het aanbrengen van de emulsie geschiedt volgens het slingerprocédé, d.w.z. op de in een snelle draaiende beweging gebrachte buisbodem verdeelt de emulsie zich tengevolge van de centrifugale kracht van het midden uit in een egale dunne laag over de gehele bodem van de buis. Opgemerkt wordt, dat behalve de hier beschreven methode ook nog enkele andere methoden bestaan voor de vervaardiging van het beeldscherm.



masker en de luminifoorstippen over het gehele vlak van het beeldscherm gewaarborgd. Tengevolge van de kromming van het beeldscherm moet ook het masker een zekere kromming hebben. Zou dit niet het geval zijn en het masker bijvoorbeeld vlak, dan zou de afstand en de doorsnede van de luminifoorstippen naar de rand van het beeldscherm toe kleiner worden, wat zou neerkomen op een zichtbare ongelijkvormigheid.

Het is duidelijk, dat de overeenstemming tussen masker en luminifoorstippen in de praktijk slechts dan zal bestaan, wanneer de afbuigpunten van de drie elektronenstralen ook werkelijk op de plaatsen liggen, waar zich tijdens de fabricage de lichtbronnen bevonden; dus in het vlak  $f-f$  in fig. 30.

Zonder er rekening mee te houden of de drie stralen convergeren of niet, zal er dan steeds een zuivere kleur zijn. Geheel anders is het echter als de afbuigpunten worden verschoven, b.v. door een onjuiste instelling van het afbuigstelsel. De afbuigpunten liggen dan in het vlak  $f'-f'$  (fig. 30) en de invalshoeken van de stralen op het masker zijn anders geworden. Nemen we bv. aan, dat de rode straal bij een onjuiste instelling precies de weg volgt, die de groene straal bij goede instelling zou nemen, dan treedt, zoals uit de figuur blijkt, op z'n minst op deze plaats van het scherm een volkomen verwisseling van kleuren op. Natuurlijk zullen dergelijke extreme onjuiste instellingen van het afbuigstelsel praktisch niet voorkomen, maar toch zijn reeds kleine fouten, tengevolge van het treffen van een gedeelte van verkeerde luminifoorstippen vooral aan de randen van het beeld, duidelijk te zien. Verzadigde kleuren, zoals rood, groen en blauw verliezen dan hun verzadiging, de *zuiverheid van de kleuren* gaat verloren.

Een onjuiste instelling van het afbuigstelsel is echter niet de enige oorzaak voor fouten in de zuiverheid van de kleuren. Op veel onaangenamer wijze beïnvloeden uitwendige magnetische velden, b.v. het magnetische veld van de aarde, de zuiverheid van de kleuren. Voor de onderste helft van fig. 30 werd bv. aangenomen, dat een magnetisch veld loodrecht op het vlak van de tekening aanwezig was. De elektronenstralen beschrijven dan een licht gebogen baan en treffen weer onder een verkeerde hoek het masker. De uitwerking daarvan is dezelfde als bij een verschuiving van het afbuigstelsel, de elektronenstralen vallen voor een gedeelte of geheel op verkeerde fosforpunten, de zuiverheid van de kleuren gaat verloren.

Wat betreft het magnetische veld van de aarde, hiervan kan worden aangenomen, dat dit in de gehele buis meer of minder gelijkmatig doordringt, dat

dus de elektronenstralen reeds direct na het uit treden uit de katode worden beïnvloed. Dan is er een eenvoudige mogelijkheid tot compensatie, namelijk het voor de kanonnen aanbrengen van een tegengesteld gericht veld. Tot dit doel worden dicht bij elkaar twee in diametrale richting gemagnetiseerde ringmagneten op de hals van de buis geschoven. Door het ten opzichte van elkaar of door het tezamen verdraaien van deze ringen om de hals van de buis kan het resulterende magnetische veld van de beide ringen in sterkte en richting precies tegengesteld worden gemaakt aan het magnetische veld van de aarde of een ander storend veld. Met deze ringmagneten wordt tevens de fout in de kleurzuiverheid gecompenseerd, die ontstaat doordat de elektronenstralen niet precies door het gewenste deel van het veld van de afbuigspoelen gaan.

De compensatie van een stoorveld in het *voorst*e gedeelte van de buis kan eveneens worden verkregen door een daaraan tegengesteld magnetisch veld. Hiertoe worden over de omtrek van het conische gedeelte 6—8 instelbare magneten aangebracht, waarvan de sterkte en de richting van het veld kunnen worden ingesteld ( $M_c$  in fig. 30). Na het instellen van de het eerst genoemde kleurenuiverheidsmagneten om de hals van de buis kunnen met de het laatts genoemde correctiemagneten de overblijvende kleine kleurfouten aan de randen van het beeld worden opgeheven.

De grote gevoeligheid van de buis voor uitwendige magnetische velden heeft ten gevolge, dat de zuiverheid van de kleuren van een ontvanger pas kan worden ingesteld, wanneer deze op haar definitieve plaats is opgesteld. Zelfs het enkele maar verdraaien van het toestel naar een andere richting, of een of andere verandering aan zich in de nabijheid bevindende ijzerdelen, maakt in het algemeen reeds een correctie van de zuiverheid van de kleur noodzakelijk. Opgemerkt wordt nog, dat ijzeren delen van de ontvanger zelf en vóór alles het uit een speciale staalsoort vervaardigde schaduwmasker door een ongelukkige samenloop van omstandigheden magnetisch kunnen worden. Dan helpt slechts een algehele demagnetisering van het gehele toestel in een voldoende groot en sterk wisselveld.

### **Algemene constructie van de schaduwmaskerbuis**

Op blz. 107 is een foto weergegeven van een schaduwmaskerbuis met alle tot nu toe besproken bijbehorende onderdelen. Dat zijn de „blauw instel”

magneet, kleurenuiverheidsmagneet, convergentie-eenheid en afbuigenheid. De buis wordt tegenwoordig slechts vervaardigd in een enkele uitvoering met een schermdoorsnede van 53 cm; een rechthoekige uitvoering, zoals bij zwart-wit buizen is voorlopig nog in ontwikkeling. Evenals bij zwart-wit buizen werd ook hier tijdelijk de buis niet geheel van glas, maar met stalen conus uitgevoerd. Behalve gewichtsbesparing schenen de nadelen van deze constructie echter zwaarder te wegen dan de voordelen, niet het minst tengevolge van het gevaar, dat de stalen conus magnetisch kon worden.

Zoals bij alle moderne beeldbuizen het geval is worden de elektronenstralen elektrostatisch gefocuseerd, waarvoor een gelijkspanning nodig is van ongeveer 4—5 kV. De spanning op het scherm bedraagt 20—25 kV, waarbij voor voldoende beeldhelderheid een schermstroom van ca. 1 mA wordt opgenomen. Dat komt overeen met een door de hoogspanningsgenerator afgegeven vermogen van 20—25 W; niet vergeten mag worden er op te wijzen, dat een hoogspanningsgenerator met een dergelijk groot vermogen beslist levensgevaarlijk is. De hoogspanning wordt, evenals dat bij de zwart-wit ontvangers het geval is, verkregen door het omhoogtransformeren en gelijkrichten van de lijnterugslagimpulsen, meestal in combinatie met een schakeling met seriespaardiode.

Het koppelen van de opwekking van de hoogspanning en de lijnafbuiging in de uitgangstransformator van de lijntijdbasis heeft hier een onaangenaam gevolg. Bij het in verhouding grote hoogspanningsvermogen uit zich veranderingen van de gemiddelde helderheid van het beeld, via de daaraan verbonden veranderingen van de gemiddelde schermstroom, als niet onbelangrijke belastingsvariëaties van de lijnuitgangstransformator. Bij toenemende helderheid van het beeld zullen alle spanningen van de transformator dalen. Afgezien van het breder worden van het beeld, dat daarvan een gevolg is (de dalende hoogspanning heeft een grotere en tegengestelde invloed op de afbuigamplitude dan de dalende afbuigspanning), zouden direct ook convergentie- (kleurendekkings-) fouten optreden, aangezien ook de voor de convergentiecorrectie benodigde parabool- en zaagtandvormige stromen uit de lijntransformator worden afgeleid. Het onder alle omstandigheden constant houden van deze stromen maakt een zeer doeltreffende stabilisatie van het lijnafbuig- en hoogspanningsgedeelte noodzakelijk. Het zal onnodig zijn er op te wijzen, dat om dezelfde redenen ook zeer veel aandacht moet worden

besteed aan de stabilisatie van de voedingsspanningen, voornamelijk van de afbuigschakelingen (ook de vertikale).

Het spoelensysteem voor de afbuiging is in principe gelijk aan dat van een zwart-wit beeldbuis, echter vergt het ontwerpen en de vervaardiging onvergelykbaar meer zorgvuldigheid en nauwkeurigheid. Zelfs kleine onregelmatigheden in de wikkeling van een van de spoelen, die een zekere storing veroorzaken in het homogene verloop van het afbuigveld, leiden tot convergentiefouten, die slechts moeilijk of helemaal niet zijn te corrigeren. De afbuighoek is kleiner dan bij zwart-wit buizen en bedraagt tegenwoordig  $70^\circ$ , terwijl buizen voor  $90^\circ$  afbuiging in ontwikkeling zijn.

Rest ons nog iets te vertellen over de modulatie van de drie elektronenstralen met de bijbehorende videosignalen. Evenals bij zwart-wit buizen kan deze modulatie in principe door toevoeren van de signalen òf aan de katode òf aan de wehneltcilinder ( $g_1$ ) plaats vinden. De voor de modulatie van deze twee niet gebruikte elektrode doet dan dienst om een regelbare gelijkspanning toe te voeren voor de instelling van het „zwartniveau”, waarbij er op moet worden gelet, dat het beeldscherm van een kleurenbeeldbuis alleen dan zwart zal zijn, wanneer bij het niet optreden van een videosignaal de drie kanonnen precies in hun afknijppunt (of daaronder) zijn ingesteld. In het algemeen zijn de daarvoor nodige spanningen bij de drie kanonnen onderling verschillend. Moet de beginhelderheid (het zwartniveau) om de een of andere reden helderder of donkerder worden gemaakt, dan moet volgens de reeds meermalen aangehaalde theorie de toe resp. afname van de lichtintensiteiten van de drie luminiforen in de verhouding 30 : 59 : 11 plaats hebben willen er geen kleurfouten optreden. Dat wil zeggen, dat rekening houdend met het rendement van de luminiforen en de nooit volkomen gelijke karakteristieken van de drie kanonnen, de drie voorspanningen voor de Wehneltcilinder in een volkomen bepaalde, van buis tot buis verschillende verhouding tegelijkertijd moeten worden ingesteld.

Precies hetzelfde geldt ook voor de juiste instelling, resp. regelbaarheid van de videosignalen. Zoals reeds werd opgemerkt werd vastgesteld, dat voor wit in het beeld de betreffende amplitudes van de rode, groene en blauwe videosignalen over de gehele overbrengingsketen gelijk moeten zijn. Pas voor de beeldbuis moeten de drie signalen in een zodanige onderlinge verhouding worden gebracht, dat rekening houdend met het rendement van de luminiforen en de karakteristieken van de drie kanonnen, de lichtintensiteiten van de

drie luminiforen zich verhouden als 30 : 59 : 11. Deze instelling heeft plaats in de aan ieder kanon voorafgaande videoversterker van de weergeefinstallatie. Vanzelfsprekend moet ook bij de videoversterkers veel waarde worden gehecht aan een constante versterking en bovendien aan volkomen lineariteit.

Zoals reeds eerder werd opgemerkt zal het geen rekening houden met deze beide eisen zich uiten in ontoelaatbare kleurfouten. Misschien overbodig wordt er hier aan herinnerd, dat de compensatie van de niet-lineariteit van de karakteristiek van de beeldbuis reeds plaats heeft aan de opneemzijde.

Na al deze uiteenzettingen zou de lezer de indruk kunnen hebben gekregen, dat het, gezien het zeer grote aantal overal loerende storingsmogelijkheden, het op zijn minst genomen onredelijk zou zijn te verwachten, dat met een dergelijk systeem ooit goede resultaten zijn te bereiken. De werkelijk bereikte resultaten bewijzen het tegendeel: een goede weergeefinstallatie zal bij enigszins vakkundige bediening steeds beelden van uitstekende kwaliteit leveren, die voor wat betreft de helderheid en zuiverheid van de kleuren alle andere reproductiemethoden, inclusief film- en diaprojectie, ver overtreffen. Des te meer moet men daarom bewondering hebben voor wat reeds eerder werd gezegd: de moed en de geniale gedachtengang, waarmee het grote aantal problemen onder handen werd genomen en werd verwezenlijkt. Vooral de schaduwmaskerbuis is een topprestatie door haar aan het onwaarschijnlijke grenzende eisen aan de elektronische werking en de technologische methoden van vervaardiging.

### **Kleurentelevisieprojectiesysteem**

Na de uitvoerige bespreking van de schaduwmaskerbuis, de tot op heden enige, ook buiten laboratoria toegepaste weergeefbuis, zullen we er van afzien enkele, zowel vroeger als ook tegenwoordig lopende ontwikkelingen nader te beschrijven. Zeker is, dat de schaduwmaskerbuis nog niet de uiteindelijke oplossing is. Bij de tegenwoordige stand van de techniek is echter nog niet te voorzien in welke richting deze uiteindelijke oplossing moet worden gezocht.

Behalve het zo buitengewoon gecompliceerde systeem van de (simultane) kleurenweergave met behulp van een *enkele* beeldbuis, bestaan en bestonden reeds sedert de eerste kleurentelevisie-experimenten, weergeefsystemen met *drie* beeldbuizen, waarvan de drie beelden in primaire kleuren door een of ander optisch hulpmiddel op een enkel projectiescherm worden verenigd tot

een beeld in de natuurlijke kleuren. Op blz. 27 werd dit systeem, dat op het eerste gezicht het eenvoudigste schijnt te zijn, reeds als voorbeeld aangehaald. Bij nadere beschouwing houden echter enkele moeilijkheden de praktische uitvoering daarvan tegen: behalve het feit, dat de daarvoor geschikte projectielenzen in verhouding niet lichtsterk zijn, was het voornamelijk het probleem van de, tengevolge van de scheve projectie optredende trapeziumvormige vertekening, dat destijds (omstreeks 1940) onoplosbaar scheen.

Een zeer bevredigende oplossing werd gevonden in het gebruik van drie kleine Schmidt-projectiesystemen, in plaats van de lenzen\*), waarbij de uit de projector tredende lichtbundels van primaire kleuren met behulp van twee dichroïtische spiegels in dezelfde richting werden afgebogen en zich op een transparant scherm tot een beeld in de natuurlijke kleuren verenigen (fig. 35, blz. 89). Dit systeem voldeed zeer goed en wordt in iets gewijzigde vorm zelfs tegenwoordig nog graag in laboratoria toegepast. De enige, noemenswaardige moeilijkheid, zit hem daarin, dat de aftastingen van de drie projectiebuisen volkomen identiek moeten zijn om drie in hun afmetingen geheel gelijke beelden in primaire kleuren te doen ontstaan. Is dat niet zo, dan dekken de drie beelden op het projectiescherm elkaar niet volkomen, er treden kleurendekkingsfouten op, de van ouds bekende en beruchte tekortkoming van ieder simultaansysteem.

De in fig. 35 afgebeelde projectie-installatie met projectiebuisen van 6 cm is voldoende voor afmetingen van het beeldscherm tot een diagonaal van ongeveer 21" (ca. 53 cm). Grootbeeldprojectie met afmetingen van het beeld tot ongeveer 3,60 × 4,80 m wordt sinds enige jaren op de in fig. 36, blz. 90 voorgestelde wijze met zeer veel succes gerealiseerd. Als uitgangspunt worden hier projectiebuisen van 13 cm toegepast, die zijn ondergebracht in naar verhouding grotere Schmidt-optieken. Er worden geen dichroïtische spiegels meer gebruikt, wat een aanmerkelijke winst betekent aan lichtsterkte en ook in scherpte van het beeld. Weliswaar moeten dan – om de drie primaire beelden op het projectiescherm over elkaar te laten vallen, de assen van de beide buitenste projectoren iets naar het midden toe worden gericht, wat leidt tot de reeds aan het begin genoemde trapeziumvormige vervorming (fig. 36b). Het weglaten van de spiegels kon pas in overweging worden ge-

---

\*) Zie: W. A. Holm „Televisietechniek zonder formules”, pag. 335.

nomen toen men door een tegengestelde vervorming van het beeld op de buis, in staat was de trapeziumvormige vervorming op het scherm te compenseren. Door het superponeren van nauwkeurig regelbare en zeer stabiele zaagandstromen met de lijn- en rasterfrequentie op de normale afbuigstromen gelukt dit onberispelijk en tezamen met een reeks fijnregelingen voor de lineariteit, beeldverschuiving, beelddraaiing en parallogramvervorming (zie blz. 53) is er een volkomen kleur- en beelddekking te verkrijgen.

Wat reeds over de schaduwmaskerbuis werd gezegd geldt ook hier in nog sterkere mate: de weergegeven kleurenbeelden zijn van een helderheid en zuiverheid van kleur, die alles dat van de filmprojectie bekend is verreweg overtreft en de grootbeeldprojectie maken tot een indrukwekkend reproductiemiddel. Zoals reeds elders is gezegd wordt de grootbeeldprojectie tegenwoordig steeds meer toegepast voor onderwijsdoeleinden, vooral in de chirurgie en andere medische wetenschappen, aangezien juist voor deze gebieden een aanvulling van het zwart-wit beeld met kleureninformatie van doorslaggevend belang is.

Behalve de zo juist beschreven projectiesystemen met Schmidt-optiek kan ook het Eidophor-projectiesysteem worden gebruikt voor grootbeeldprojectie in kleuren, weliswaar tot nu toe alleen maar volgens de wisselmethode\*). In de stralengang van de projector wordt dan een filterschijf met kleurenfilters in de drie grondkleuren opgenomen, die isochroon en in fase draait met de voor de opneembuis aangebrachte filterschijf (zie blz. 58). Aangezien er maar een opneem- en een weergeefbuis aanwezig is, vervallen alle mogelijkheden tot het ontstaan van kleurendekkingsfouten. Tengevolge van het zeer ingewikkelde proces waarbij de modulatie van het videosignaal via de focussing van de elektronenstraal, de deformatie van de olielaag, de lichtbreking aan de deformatieplaats en de lichtverstrooiing door de spiegeljaloezie, tenslotte wordt omgezet in de modulatie van de lichtbundel, is het echter zeer moeilijk om te komen tot een lineaire verhouding tussen de modulatie van het videosignaal en de modulatie van de lichtbundel.

Dit leidt ondermeer tot fouten in de juistheid van de kleuren en in de verzadiging van het gereproduceerde beeld. Tengevolge van de enorme licht-

---

\*) Zie: W. A. Holm „Televisietechniek zonder formules”, pag. 337.

sterkte van de gebruikte xenonlampen zijn beeldschermformaten tot ca.  $6 \times 8$  m mogelijk, wat voldoende is voor zalen met 1500 zitplaatsen. Opgemerkt zij, dat tegenwoordig een Eidophor-projectiesysteem voor het simultaansysteem in ontwikkeling is.



## HOOFDSTUK 4

### HET OVERBRENGINGSPROCÉDÉ

Een van de principiële eisen, te stellen aan de methode van overbrenging van kleurentelevisie is, zoals reeds eerder werd opgemerkt, die van de *verenigbaarheid*. Dat wil zeggen, dat de tegenwoordig in gebruik zijnde, normale zwart-wit ontvangers zonder enige verandering in staat moeten zijn ook kleurentelevisie-uitzendingen te ontvangen en deze met goede kwaliteit als zwart-wit beeld weer te geven. Dat wil zeggen, dat het uitgezonden kleurentelevisiesignaal, behalve de kleureninformaties rood, groen en blauw ook een normaal zwart-wit beeld moet bevatten en wel op de thans gebruikelijke wijze met negatieve amplitudemodulatie, met synchronisatie- en onderdrukingsimpulsen en passend in de vastgestelde televisiekanalen, dus met een bandbreedte van ca. 5 MHz. Het eerstgenoemde signaal, dat de drie kleureninformaties bevat, wordt *chrominantiesignaal* genoemd, terwijl men het laatstgenoemde signaal het *luminantiesignaal* of kortweg *Y-signaal*\*) noemt.

#### Het luminantiesignaal (Y-signaal)

Allereerst werpt zich de vraag op, hoe uit de drie door een kleurencamera geleverde primaire kleurensignalen een zwart-wit signaal kan worden gemaakt. Het antwoord op deze vraag wordt gegeven na een korte bestudering van het verschijnsel, dat wij de omgeving, die wij steeds in kleuren zien, zonder meer ook in een goede zwart-wit reproductie herkennen en aanvaarden. Uit ervaring denken wij ons namelijk de ontbrekende „kleureninformatie” voor de in zwart-wit reproducties alleen aanwezige „helderheidsinformatie” erbij. Dat schijnt een zeer alledaagse conclusie te zijn, want er is werkelijk niet veel voor nodig zich een hemel blauw of een grasveld groen voor te stellen. Toch gaat onze bekwaamheid in het kleurig zien van een zwart-wit beeld veel

---

\*) *Y* is de coördinaat van het door het C.I.E. vastgestelde *X, Y, Z*-Coördinatensysteem, dat op zichzelf alleen de *helderheidsindruk* van een kleur weergeeft, zie blz. 16.

verder; wij kunnen daarbij een onrijpe groene appel onderscheiden van een roodwangige rijpe, ja, we zien in een goede zwart-wit weergave zelfs de vele kleuren en kleurnuances van een bonte bos bloemen op de juiste wijze. Ons gezichtsbewustzijn schrijft dan namelijk aan iedere tint grijs, dus aan iedere helderheidsstrap van het zwart-wit beeld, die tint toe, welke dezelfde relatieve helderheidsgraad in de ooggevoeligheidskromme heeft. Dan is het dus vanzelfsprekend, dat als voorwaarde voor deze tinttoeschrijving, een goed zwart-wit weergave van kleuren zodanig moet zijn, dat de verschillende kleuren met een zodanige helderheid moeten worden weergegeven, als daaraan volgens de ooggevoeligheidskromme toekomt.

Iedere foto-amateur weet, dat normale zwart-wit film geen werkelijk goede resultaten geeft, vooral wanneer een blauwe lucht op de beelden voorkomt. De gevoeligheidskromme van de lichtgevoelige laag ligt namelijk in het blauwe en violette deel van het spectrum veel hoger dan de ooggevoeligheidskromme en loopt zelfs nog door tot in het ultraviolette gedeelte. Daardoor worden blauwe tinten veel te helder weergegeven: een blauwe lucht wordt wit. Door een geelfilter voor het opname-objectief te plaatsen kunnen de blauwe componenten van het zichtbare licht worden verzwakt nog voor zij de film treffen en de zwart-wit reproductie heeft een veel betere weergave van de kleuren in zwart-wit. De beste zwart-wit reproductie wordt verkregen als de spectrale karakteristiek van het opnamemateriaal, eventueel door het er voor plaatsen van enkele filters, gelijk wordt gemaakt aan de ooggevoeligheidskromme.

Dit principe geldt evenals in de fotografie, ook voor iedere andere reproductietechniek en ook voor de zwart-wit televisie. Ook hierbij moeten de natuurlijke kleuren van de opgenomen scènes worden weergegeven in de zwart-wit helderheidsgraad, die de betreffende kleuren in de ooggevoeligheidskromme hebben. Wanneer dus, en daarmee komen we op de kleuren-televisie terug, een zwart-wit (*Y*-) signaal uit de drie primaire kleursignalen moet worden samengesteld, dan moet dit zodanig gebeuren, dat aan de zo juist gestelde voorwaarde wordt voldaan.

Op blz. 30 fig. 12 werd aangegeven op welke wijze de kleuren van de opgenomen scène over de drie kleurkanalen worden verdeeld, respectievelijk met welke componenten zij vertegenwoordigd zijn in de drie primaire kleursignalen. Daarbij werd opgemerkt, dat de som van de drie componenten altijd gelijk moet zijn aan de voor deze kleur geldende waarde van de oog-

gevoeligheidskromme. Dat is echter juist wat we nodig hebben. Door het zonder meer optellen van de drie primaire kleursignalen  $R$ ,  $G$  en  $B$  wordt een somsignaal verkregen, dat precies zo verloopt als de ooggevoeligheidskromme, waarin dus iedere kleur is vertegenwoordigd met die waarde, welk haar overeenkomstig de kromme toekomt.

Nu mag niet worden vergeten, dat om redenen, welke op blz. 30 werden verklaard, de door de opneembuizen geleverde primaire signalen direct na hun ontstaan op dezelfde maximale waarden (voor wit) worden gebracht. Er werd ook aangetoond, dat, om deze fout weer goed te maken, aan het eind van de overdrachtsweg een reductie van de signalen in de verhouding  $0,30 : 0,59 : 0,11$  moet plaats hebben. Dit geldt natuurlijk ook voor de samenvoeging van de drie signalen tot het  $Y$ -signaal. Eerst moeten ze in de genoemde verhouding worden gereduceerd. Daardoor kan de formule voor het luminantie-signaal worden geschreven in de vorm:

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

De reductie en het samenvoegen van de drie primaire signalen  $R$ ,  $G$  en  $B$  heeft plaats in een z.g. matrixschakeling waarvan het principeschema is gegeven in fig. 31. In de praktijk wordt deze eenvoudige matrixschakeling bijna

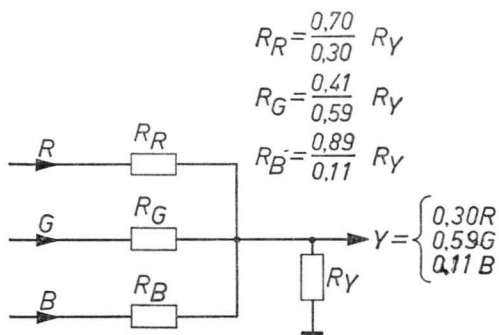


Fig. 31. Weerstandenmatrix voor het verkrijgen van het  $Y$ -signaal uit het  $R$ -,  $G$ - en  $B$ -signaal.

nooit gebruikt, aangezien ze te veel nadelen heeft. Meestal wordt eerst elk van de signalen gereduceerd en daarna worden de gereduceerde signalen met behulp van drie buisschakelingen met een gemeenschappelijk belastingsweerstand samengevoegd.

### Frequentievervlechting

Zoals reeds in het begin is gezegd, moet het uitgezonden kleurentelevisie-signaal behalve het zo juist beschreven *Y*-signaal (zwart-wit signaal), nog een tweede signaal met de eigenlijke kleurinformatie bevatten, het *chrominantie* signaal. Aangezien in het algemeen een kleurindruk wordt bepaald door de drie kenmerken: kleurtoon, verzadiging en helderheid, waarvan de helderheid echter al tot uitdrukking komt in het *Y*-signaal, moet het chrominantie-signaal informatie over de beide overblijvende kenmerken, kleurtoon en verzadiging tezamen bevatten.

Het is moeilijk twee van elkaar onafhankelijke informaties in een enkel signaal (een HF-draaggolf) zodanig onder te brengen, dat zij aan het einde van de overbrengingsweg, in de weergeefapparaten, gescheiden en zonder elkaar te beïnvloeden weer daaruit kunnen worden afgeleid (gedemoduleerd). Nog veel moeilijker echter wordt de opgave als dit HF-signaal moet worden ondergebracht in een normaal televisiekanaal, dat reeds geheel door het *Y*-signaal in beslag wordt genomen. Het *Y*-signaal moet wegens de eis van de verenigbaarheid overeenkomen met een normaal zwart-wit signaal, d.w.z. de beelddraaggolf, die voor een bepaald televisiekanaal is vastgelegd wordt gemoduleerd tot een bandbreedte van 5 MHz. Dit moeilijke probleem kon door een even interessante als doeltreffende methode, door zgn. frequentievervlechting worden opgelost.

Reeds eerder werd het frequentiespectrum van een televisie signaalbesproken\*). Zonder wiskundig bewijs werd vastgesteld, dat dit spectrum in de eerste plaats bestaat uit de harmonischen van de lijnfrequentie, dus uit de frequenties:

$$\begin{aligned} 1 \times 15.625 &= 15.625 \text{ Hz} \\ 2 \times 15.625 &= 31.250 \text{ Hz} \\ 3 \times 15.625 &= 46.875 \text{ Hz} \\ 320 \times 15.625 &= 5.000.000 \text{ Hz enz.} \end{aligned}$$

Om elk van deze frequenties groepeert zich een reeks harmonischen, namelijk die van de beeldfrequentie van 25 Hz; dus 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz enz. in fig. 33a is dit totale frequentiespectrum van een televisiekanaal nog eens

---

\*) Zie: W. A. Holm „Televisietechniek zonder formules”, pag. 239.

getekend ( $f'$ , getrokken lijnen). Hierbij valt het op, dat eigenlijk het grootste deel van de beschouwde frequentieband ongebruikt blijft en de gedachte komt naar voren deze vrije ruimte op zodanige wijze met een ander signaal te vullen, dat de beide signalen aan de zijde van de ontvanger weer van elkaar kunnen worden gescheiden.

Uit de figuur blijkt zonder meer, dat de tussenruimten kunnen worden opgevuld met een andere reeks harmonischen van de lijnfrequentie ( $f''$ , gestippeld). Worden deze harmonischen beschouwd als zijbandfrequenties

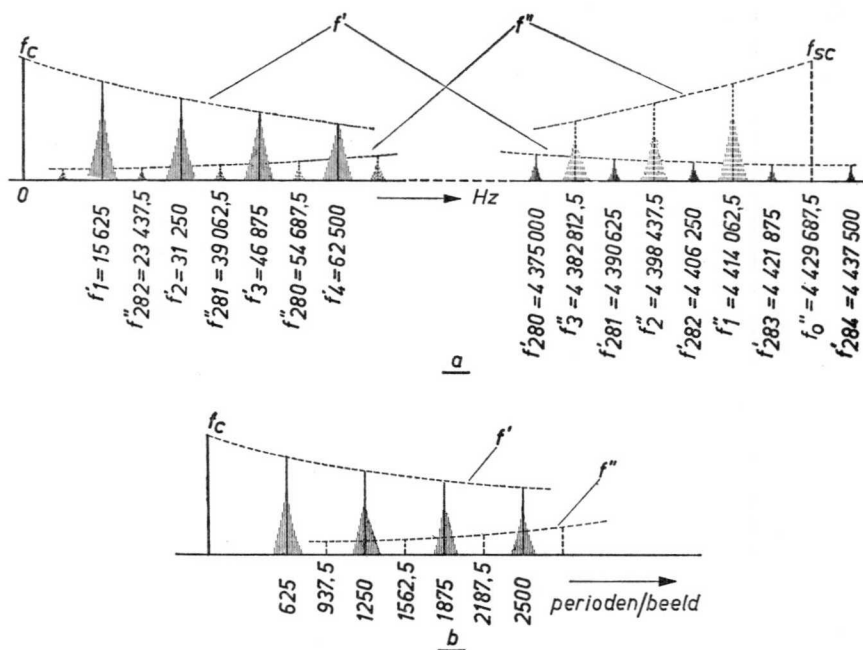


Fig. 32. Frequentievervlechting.

- Voorstelling van de hoofddraaggolfrequentie  $f_c$  met haar bovenzijbandfrequenties  $f'$  en de hulpdraaggolfrequenties  $f_{sc}$  met haar onderzijbandfrequentie  $f''$ ; aangezien de hulpdraaggolfrequentie het 567-voudige van de halve lijnfrequenties hoger ligt dan de hoofddraaggolfrequentie ontstaat er een „frequentiesprong” tussen de reeks harmonischen  $f'$  en  $f''$ , deze beide reeksen storen elkaar niet.
- Wordt de frequentieschaal van fig. a door 25 gedeeld, dan ontstaat het aantal perioden per beeld. Nu blijkt, dat de frequenties van de  $f''$ -reeks (hulpdraaggolfmodulatie) bij ieder beeld met een halve periode eindigt, dus in het volgende beeld in tegengestelde fase verschijnt.

van een andere draaggolf, dan kan de frequentie van deze draaggolfrequentie in een voorlopig willekeurig gebied van de 5 MHz-band, doch moet echter wel in ieder geval precies liggen midden tussen twee harmonischen van de lijnfrequentie van de  $f'$ -reeks. Men noemt deze nieuwe, binnen de 5 MHz-band liggende draaggolf een *hulpdraaggolf*. Wiskundig uitgedrukt zegt men, dat zijn frequentie een oneven veelvoud moet zijn van de halve lijnfrequentie (wat gemakkelijk is af te leiden uit fig. 32a). Om redenen, die later nog duidelijk zullen worden, wordt de frequentie van deze hulpdraaggolf tamelijk hoog gekozen, namelijk gelijk aan het 567-voudige van de halve lijnfrequentie, dat is 4.429.687,5 Hz of afgerond 4,43 MHz\*).

Door dit systeem met *frequentievervlochtening* kunnen dus twee, van elkaar onafhankelijke, gemoduleerde televisiesignalen in een enkel televisiekanaal worden uitgezonden. Het is vanzelfsprekend, dat tengevolge van de eis van de verenigbaarheid, de normale beelddraaggolf met het Y-signaal wordt gemoduleerd, de hulpdraaggolf echter met het chrominantiesignaal.

Rest nog te verklaren, hoe deze beide signalen in de ontvanger weer van elkaar kunnen worden gescheiden. Zoals zal blijken zijn, behalve een eigen demodulatortrap voor de hulpdraaggolf, eigenlijk geen speciale maatregelen nodig, omdat ook hier met succes van de traagheid van het menselijke oog kan worden gebruik gemaakt. Dit zal worden verklaard aan de hand van fig. 33.

Zoals we weten kan ieder signaal van willekeurige vorm worden gedacht te zijn opgebouwd uit een zeer groot aantal harmonischen van zuiver sinusvormige signalen\*\*). Wanneer dus in fig. 33 sinusvormige signalen worden aangenomen en daaruit een bepaald resultaat wordt afgeleid, dan geldt dit resultaat, omdat het voor alle willekeurige sinusvormige signalen geldig is, ook voor ieder willekeurig gevormd videosignaal.

De sinusvormige trilling van fig. 33a is een van de harmonischen van de  $f'$ -reeks, dus van het Y-signaal. Voor alle frequenties van deze reeks moet gelden, dat zij na het volledige aftasten van een beeld, dus na 1/25 sec. weer in gelijke fase moeten voorkomen, tenminste wanneer er van wordt uitge-

---

\*) Opgemerkt zij hierbij, dat de hier genoemde hulpdraaggolfrequentie weliswaar is voorgesteld als Europese norm, maar nog niet als zodanig is aangenomen. Bij het Amerikaanse systeem is de hulpdraaggolfrequentie tengevolge van de geringere bandbreedte van het kanaal lager, namelijk het 455-voudige van de halve lijnfrequentie, dat is ongeveer 3,58 MHz.

\*\*\*) Zie: W. A. Holm „Televisietechniek zonder formules”, pag. 237.

gaan, dat de beeldinhoud gedurende deze korte tijd niet noemenswaard is veranderd.

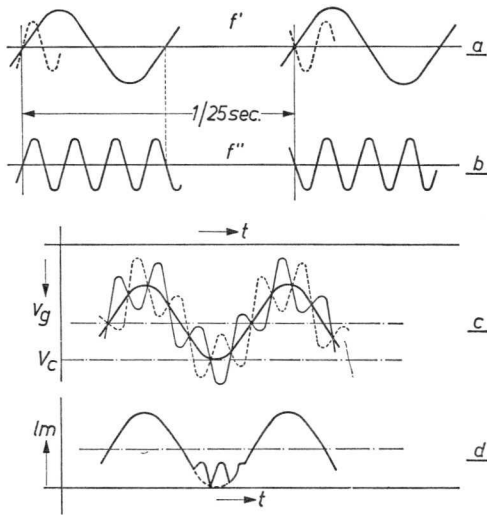


Fig. 33. Frequentievervlechting.

- Een willekeurige sinusvormige modulatiefrequentie  $f'$  van de hoofd draaggolf, die na ieder beeld in dezelfde fase terugkeert.
- Een willekeurige sinusvormige modulatiefrequentie  $f''$  van de hulp draaggolf, die na ieder beeld in tegenfase terugkeert (met streeplijn in a getekend).
- Interferentie van de beide modulatiefrequenties op het stuurrooster van de weergeefbuis; getrokken resp. streeplijn voor even, resp. oneven beelden;  $V_c$  = afknijpspanning van de beeldbuis.
- Door het oog opgevangen gemiddelde helderheidsindruk ( $I_m$ ), die overeenkomt met het modulatiesignaal  $f'$  van de hoofd draaggolf; de voortdurende fazesprong van de weerdraaggolfmodulatie  $f''$  kan tengevolge van zijn snelheid niet door het oog worden geregistreerd; pas als de afknijpspanning van de beeldbuis wordt gepasseerd ontstaan een fijn stoorpatroon.

In fig. 33b is een van de harmonischen uit de  $f''$ -reeks, dus van het chrominatiesignaal voorgesteld. Hieruit blijkt, dat alle harmonischen van deze reeks, na een volledige aftasting van het beeld, in tegenfase terugkeren. Het bewijs kan met behulp van fig. 32b gemakkelijk worden geleverd: deelt men de frequentieschaal van fig. 32a door 25, dan heeft men niet meer te maken met perioden per seconde, maar met perioden met 1/25 seconde, dus met perioden per beeldaftasttijd (fig. 32b). Terwijl de  $f'$ -reeks daarbij door gehele getallen wordt gevormd, namelijk:

$$\begin{array}{l}
 1 \times 625 \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots \\
 2 \times 625 \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots \text{ perioden per beeldaftasttijd} \\
 3 \times 625 \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot
 \end{array}$$

eindigt de nieuwe  $f''$ -reeks steeds op een halve periode, namelijk

$$\begin{array}{l}
 1 \times 625 + 312,5 \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots \\
 2 \times 625 + 312,5 \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots \text{ perioden per beeldaftasttijd} \\
 3 \times 625 + 312,5 \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\dots \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot
 \end{array}$$

Dat betekent echter niets anders, dan dat alle  $f''$ -frequenties na een volledige aftasting van het beeld over een halve periode verschoven, dus in tegenfase verschijnen. In fig. 33a is deze fazedraaiing van de  $f''$ -frequenties met een streeplijn ingetekend.

Wanneer nu de uit  $f'$ - en  $f''$  frequenties bestaande frequentieband na de ontvanger te zijn doorlopen uiteindelijk op de weergeefbuis komt, dan is de stuurspanning van deze buis op ieder moment gelijk aan de som van de momentele waarden van de spanningen van de optredende frequenties, in ons voorbeeld dus gelijk aan de som van fig. 33 a en b. Aangezien de spanningen met de  $f''$ -frequenties na iedere gehele beeldperiode in tegenfase verschijnen, zal de stuurspanning er dus voor het 1e, 3e, 5e,  $\dots\dots$  beeld anders uitzien dan die voor het 2e, 4e, 6e,  $\dots\dots$  beeld. In fig. 33 c zijn deze twee elkaar met een ritme van  $1/25$  sec afwisselende stuurspanningen met een getrokken, resp. een streeplijn getekend.

Op een beeldscherm heeft een dergelijke, met 25 Hz ritme wisselende stuurspanning tot gevolg, dat het uit de  $f'$ -frequentie opgebouwde beeld (nauwkeuriger: alle frequenties van de  $f'$  reeks) interfereert met een uit de  $f''$ -frequentie (nauwkeuriger: alle frequenties van de  $f''$ -reeks) opgebouwd storend beeld, dat met een 25 Hz ritme zijn fase wisselt, d.w.z. het verschijnt in dit ritme als positief, resp. negatief beeld. Een dergelijke snelle wisseling kan echter door het menselijk oog niet worden gevolgd, het zal daarvoor een gemiddelde waarde registreren, die in dit geval gelijk is aan het gewenste beeld, bestaande uit de  $f'$ -reeks (fig. 33d).



Zou de karakteristiek van de weergeefbuis (stuurspanning/luminofoorhelderheid) precies het omgekeerde zijn van het verloop van de gevoeligheid van ons oog (lichtsterkte/helderheidsindruk\*), dan zou de op deze wijze bereikte uitschakeling van de  $f''$ -frequenties volkomen zijn.

In werkelijkheid echter heeft in de donkerste delen van het beeld, ten gevolge van de sterke kromming van de karakteristiek van de beeldbuis, geen volledige compensatie van de in tegenfase zijnde beelden plaats, vooral als de stuurspanning gedeeltelijk onder de afknijpspanning van de buis komt ( $V_c$  in fig. 33c). Er wordt dan, zoals in fig. 33d met een getrokken lijn is aangegeven voornamelijk op deze plaatsen in het beeld een storend signaal zichtbaar in de vorm van een fijn netpatroon. Natuurlijk zal dit signaal des te minder storend zijn, naarmate zijn amplitude kleiner is en het patroon fijner, dus des te hoger zijn frequentie wordt. Dan is het echter het gunstigste, de  $f''$ -frequenties met de grootste amplitudes in het hoogste gebied van het 5 MHz televisiekanaal te leggen; dat wil echter zeggen, dat dan de hulpdraaggolf waarbij de  $f''$ -frequenties kunnen worden beschouwd als de zijbanden van de hulpdraaggolf, eveneens in het bovenste gebied van het televisiekanaal moet liggen. Zoals reeds werd gezegd bedraagt de hulpdraaggolfrequentie het 567-voudige van de halve lijnfrequentie, ongeveer 4,43 MHz. Waarom de hulpdraaggolf niet helemaal aan het eind van de 5 MHz brede band kan worden gelegd zal later nog duidelijk worden.

Als in het voorgaande de  $f'$ -frequenties als de gewenste en de  $f''$ -frequenties als de stoofrequentie werd beschouwd, dan is dat toch maar voor de helft juist. De eerste bevatten het luminantie-, de laatste het chrominantiesignaal. Net zo min echter als het luminantiesignaal door het chrominantiesignaal mag worden gestoord, mag het chrominantiesignaal bij de weergave door het luminantiesignaal worden gestoord. Het is niet moeilijk in te zien, dat ook voor het laatste geval precies dezelfde overwegingen gelden, die voor het eerste geval werden beschreven. Men moet er alleen aan denken, dat de  $f'$ -, resp.  $f''$ -frequenties van de figuren 32 en 33 werden aangenomen als te zijn ontstaan bij de demodulatie van de beelddraaggolf. Gaat men echter uit van de demodulatie van de hulpdraaggolf, d.w.z. van een demodulator, die is afgestemd op de hulpdraaggolf (en geen al te grote bandbreedte heeft), dan

---

\*) De ooggevoeligheid verloopt bij benadering logaritmisch, dat wil zeggen een voortgezette verdubbeling van de lichtsterkte komt overeen met een toename van de helderheidsindruk met steeds hetzelfde bedrag.

keert de situatie om: de  $f''$ -frequenties blijven na iedere wisseling van het beeld in fase, de  $f'$ -frequenties daarentegen verschijnen in tegenfase.

In de praktijk worden dus in de televisie-ontvangers twee demodulatoren achter elkaar geschakeld. De eerste, die is afgestemd op de frequentie van de beelddraag golf (nauwkeuriger: op de beeldmiddenfrequentie) levert het  $Y$ -signaal en de tweede, die is afgestemd op de hulpdraaggolf, levert het chrominantiesignaal.

Volledigheidshalve moet hier reeds worden gezegd, dat voor een verdere vermindering van de storing van het  $Y$ -signaal door het chrominantiesignaal, dit zonder eigenlijke draaggolffrequentie, dus slechts in de vorm van zijn zijbandfrequenties wordt uitgezonden. Daarenboven wordt in het  $Y$ -versterkerkanaal van de ontvanger nog een zeer scherp zuigfilter voor de

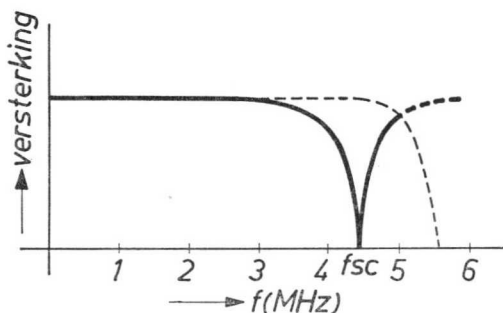


Fig. 34. Zuigfilter voor de onderdrukking van de hulpdraaggolffrequentie in de  $Y$ -versterker van de ontvanger.

hulpdraaggolffrequentie en de laagste zijbandfrequenties daarvan opgenomen (in Amerika noemt men dit het notchfilter, fig. 34)). Het wordt dan echter zeer moeilijk de kleine rest van de band tussen 4,43 en maximum 5 MHz vrij te houden van fazefouten.

### Het chrominantiesignaal

Niet minder moeilijk dan het zo juist beschreven onderbrengen van het chrominantiesignaal tezamen met het  $Y$ -signaal in een enkel televisiekanaal is het tweede, met het chrominantiesignaal samenhangende probleem. Zoals

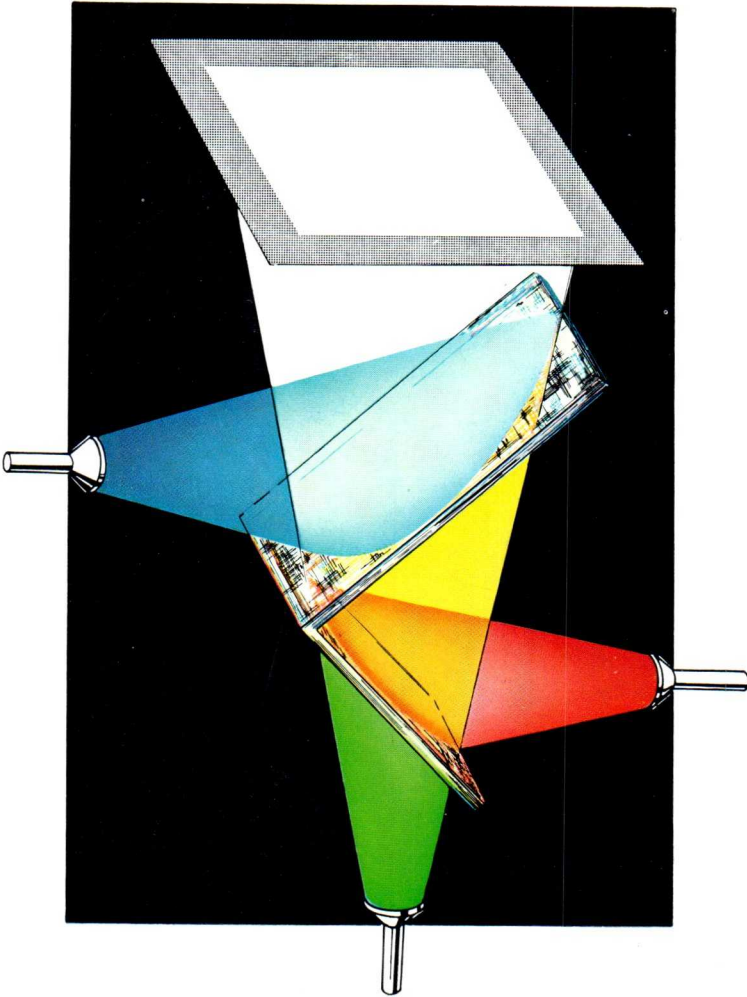


Fig. 35. Opbouw van een kleurentelevisie projectie-installatie.

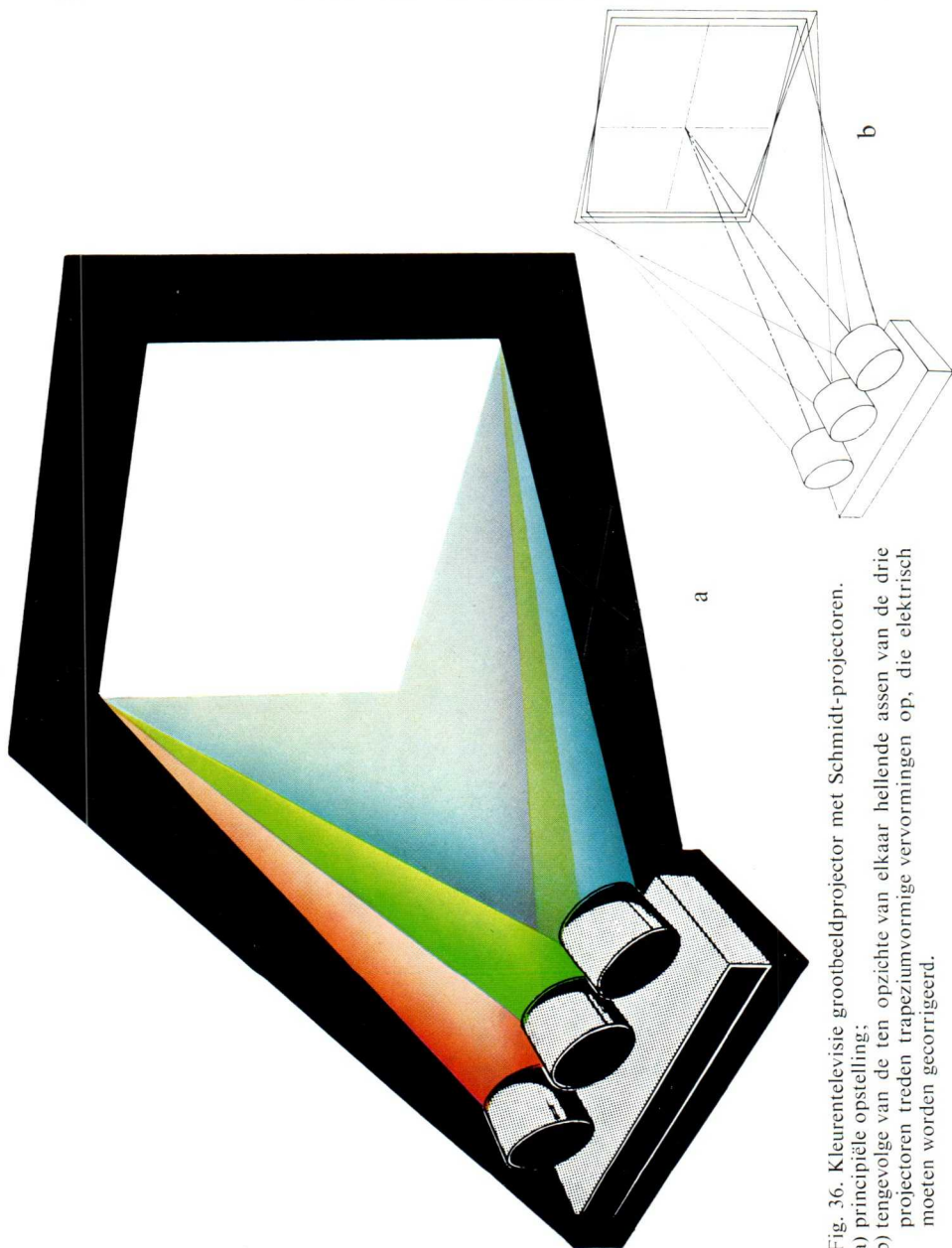


Fig. 36. Kleurentelevisie grootbeeldprojector met Schmidt-projectoren.  
a) principiële opstelling;  
b) tenvolge van de ten opzichte van elkaar hellende assen van de drie projectoren treden trapeziumvormige vervormingen op, die elektrisch moeten worden gecorrigeerd.

reeds werd opgemerkt, moet toch dit signaal de laatste twee van de drie kenmerkende eigenschappen van een kleurenindruk bevatten, namelijk kleurtoon en verzadiging. Als drager van deze beide informaties is er, volgens het hierboven behandelde, slechts een enkele draaggolf beschikbaar, namelijk de hulpdraaggolf. Voorlopig zullen we nog buiten beschouwing laten in welke vorm de kleurtoon en de verzadiging tot uitdrukking kunnen worden gebracht in een elektrische informatie. Eerst zal worden aangegeven hoe in principe twee informaties kunnen worden ondergebracht in een enkele draaggolf.

Aangezien het gaat om twee van elkaar onafhankelijke informaties, staat het vast, dat ook de draaggolf twee van elkaar onafhankelijke, bepalende eigenschappen moet hebben, waarop de twee informaties kunnen worden gemoduleerd. Dat is ook het geval, want een draaggolf heeft inderdaad niet meer dan twee bepalende eigenschappen: haar *amplitude* en haar *frequentie*. Terwijl over amplitudemodulatie verder niets is te zeggen, moet er bij de frequentiemodulatie op worden gewezen, dat iedere door de modulatie veroorzaakte frequentieverandering automatisch ook een volkomen bepaalde verandering van de faze tengevolge heeft. Tot op zekere hoogte kunnen daarom frequentie- en fazemodulatie aan elkaar gelijk worden gesteld, waarbij het speciaal in het geval waar het hier om gaat: de modulatie van de hulpdraaggolf, veel eenvoudiger is met het begrip fazemodulatie te werken. Niet in de laatste plaats omdat een doeltreffende frequentiemodulatie niet mogelijk is, dank zij de eis van een zuivere frequentievervlochtening.

Om bij dit laatste punt aan te knopen kan men nog beter rekening houden met de juiste praktische stand van zaken; dan heeft men nl. noch met frequentie-, noch met fazemodulatie van een *enkele* hulpdraaggolf te doen, maar met de zuivere amplitudemodulatie van *twee* hulpdraaggolven met dezelfde frequentie. Deze beide hulpdraaggolven worden, met de reeds vroeger genoemde frequentie van ca. 4,43 MHz opgewekt in een gemeenschappelijke generator, daarna echter wordt een van de twee, en dat is nu juist het belangrijkste daarbij, in een vertragsingsnetwerk precies over  $90^\circ$  in faze verschoven. Men zegt nu: de beide draaggolven staan „in quadratuur” en noemt de ene nu willekeurig *I*-hulpdraaggolf (In faze), de andere *Q*-hulpdraaggolf (Quadratuur). Deze beide golven kunnen onafhankelijk van elkaar op de gebruikelijke wijze in hun amplitude worden gemoduleerd. Daarbij zullen, hoewel het nog volkomen onbekend is *wat* wordt gemoduleerd, de beide modulerende signalen in het vervolg *I*-, resp. *Q*-signaal worden genoemd.

Voorlopig is slechts bekend, dat deze beide signalen op de een of andere wijze de kleurtoon en de verzadiging moeten bevatten.

Het is gebruikelijk de beide hulpdraaggolven na de modulatie niet meer afzonderlijk te bezien, maar ze op hun verdere weg te behandelen als een enkele additief samengestelde hulpdraaggolf. In fig. 37 wordt dit samenstellen verduidelijkt en wel in (a) voor de beide ongemoduleerd veronderstelde hulpdraaggolven  $F_I$ , resp.  $F_Q$ . Met opzet werd hier de bekende afleiding van een sinustrilling uit het ronddraaien van een „frequentiewijzer” herhaald. Met het oog op de overzichtelijkheid zal nl. bij de volgende beschouwingen als af-

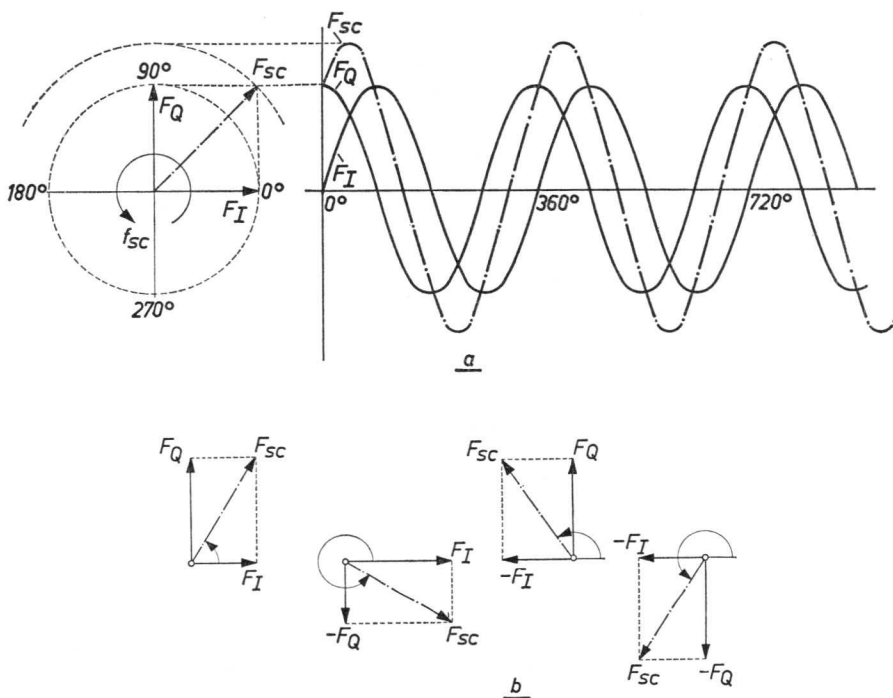


Fig. 37. Additieve menging van 2 in Kwadratuur staande hulpdraaggolven van dezelfde frequentie.

- optelling van twee hulpdraaggolven  $F_I$ , resp.  $F_Q$  met dezelfde amplitude en dezelfde frequentie  $f_{sc}$  tot de resulterende hulpdraaggolf  $F_{sc}$ .
- Vier voorbeelden van de optelling van twee hulpdraaggolven met verschillende amplitude en verschillende fase (+ of -).

kortingssymbool voor sinustrillingen slechts de frequentiewijzer worden getekend.\*)

In fig. 37b zijn vier verschillende modulatioetoestanden van de beide hulpdraaggolven  $F_I$  en  $F_Q$  aangenomen, d.w.z. hun amplitudes werden op een willekeurige manier gevarieerd tussen positieve en negatieve waarden, onder aanhouding van hun fazeverschuiving van  $90^\circ$  ten opzichte van elkaar. Richting en grootte van de wijzer  $F_{sc}$  geven hier direct de momentele amplitude en faze aan van de resulterende hulpdraaggolf. Het moeilijke tekenen van de sinuslijnen is daardoor overbodig geworden, wanneer men er maar aan denkt, dat elk van de getekende systemen roteert met een omloopsnelheid, die gelijk is aan de frequentie van de aangenomen draaggolven. In ons geval dus 4.429.687,5 omwentelingen/sec.

Zoals we zien hangen zowel de amplitude als ook de faze van de resulterende hulpdraaggolven ondubbelzinnig af van de amplitudes van de  $I$ -, resp.  $Q$ -hulpdraaggolf, d.w.z. uit de zuivere amplitudemodulatie van twee draaggolven is een gecombineerde amplitude- en fazemodulatie van een enkele draaggolf met dezelfde frequentie ontstaan, het chrominantiesignaal is gereed. Hier moet reeds worden opgemerkt, dat door de faze van de hulpdraaggolf, die van  $0^\circ$  tot  $360^\circ$  kan variëren, de *kleurtoon* van de over te brengen kleurindruk tot uitdrukking komt, door de amplitude van de hulpdraaggolf echter de *verzadiging* van deze kleurtoon. Een maximale amplitude betekent grootste verzadiging, geen amplitude betekent geen kleurindruk, dus wit. Op dit feit wordt hier nadrukkelijk gewezen, om de mogelijke verkeerde opvatting te voorkomen, dat kleurtoon en verzadiging reeds door het  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal worden uitgedrukt. Het samenstellen van deze beide signalen moet nog worden bewaard voor een latere beschouwing.

Met het tot stand komen van het, de  $I$ - en  $Q$ -signalen bevattende chrominantiesignaal, is het doorslaggevende probleem drie van elkaar onafhankelijke signalen in een 5 MHz band uit te zenden, voor zover het de zender betreft, opgelost. Zoals in fig. 38 is getekend wordt het chrominantiesignaal in een mengtrap additief samengesteld met het  $Y$ -signaal en dan tezamen verder toegevoerd aan de modulatietrap van de HF-zender. Zoals reeds werd gezegd moet de frequentie van de hulpdraaggolf gelijk zijn aan het

\*) In plaats van frequentiewijzer wordt zeer dikwijls ten onrechte de benaming vector gebruikt; een vector dient voor het aanduiden van natuurkundige grootheden in de ruimte naar richting en grootte. Een frequentie echter heeft geen richting. Zie verder: Televisietechniek zonder formules, pag. 147.





grootste gedeelte zijn geëlimineerd, blijft er toch nog een storing over, die hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de hoge hulpdraaggolfrequentie. Een aanmerkelijke verbetering wordt hier bereikt door deze hulpdraaggolfrequentie in de zender te onderdrukken. Meestal gebeurt dat al in de beide modulatietrappen, de  $I$ -, respectievelijk  $Q$ -modulator, door toepassing van zogenaamde balansmodulatorschakelingen of ringmodulatorschakelingen. Zonder op de details van deze schakelingen in te gaan wordt slechts opgemerkt, dat door een geschikte balansschakeling van twee buissystemen, het resultaat daarvan slechts bestaat uit de reeks som en verschilfrequenties van de beide toegevoerde signalen (modulatiefrequentie en hulpdraaggolfrequentie), terwijl deze beide signalen zelf echter door de balansschakeling geëlimineerd worden. Het uitgezonden chrominantiesignaal bestaat dus slechts uit de bovenste en onderste zijbandfrequenties, terwijl de centrale draaggolfrequentie ontbreekt.

Dit levert geen nieuwe gezichtspunten op in de tot nu toe gehouden theoretische beschouwingen, zolang er maar zorg voor wordt gedragen, dat in de ontvanger twee ter plaatse opgewekte draaggolfrequenties in het chrominantiesignaal worden gebracht, die in hun frequentie en vooral in de wederkerige fazedraaiing van  $90^\circ$  nauwkeurig overeenkomen met de in de modulatoren van de zender onderdrukte hulpdraaggolven. Tot dit doel wordt aan het eind van iedere lijn, nauwkeuriger gezegd op de achterstoep van de lijn-onderdrukkingsimpuls, een korte golftrein van minstens 8 perioden met de hulpdraaggolfrequentie uitgezonden: het zogenaamde „salvo” (Eng:burst, fig. 39). Deze korte, na iedere lijn zich herhalende hulpdraaggolfimpuls is voldoende om met behulp van een daarvoor geschikte fasevergelijkschakeling in de ontvanger een met een maximale constantheid oscillerende, plaatselijke oscillator niet slechts op dezelfde frequentie, doch ook in fase met de hulpdraaggolfoscillator in de zender te houden. Zelfs kleine faseverschuivingen van de ontvangerhulpdraaggolf zouden zich, zoals later nog zal worden aangetoond, direct uiteten in afwijkingen in de kleuren van het beeld op de ontvanger.

### **Demodulatie van het chrominantiesignaal**

De zo juist besproken, in de ontvanger opgewekte hulpdraaggolf doet dienst voor de scheiding en gelijktijdige demodulatie van de in het chrominantie-

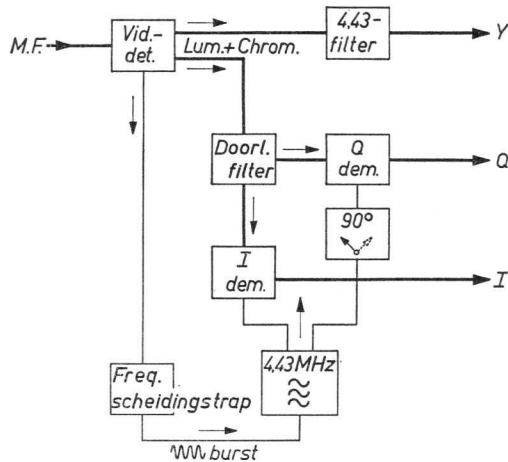


Fig. 40. Demodulatie in de ontvanger van het volledige kleurensignaal tot het  $Y$ -,  $I$ - en  $Q$ -signaal. Verklaring in de tekst.

signaal aanwezige  $I$ -, resp.  $Q$ -signalen. In fig. 40 is dit voorgesteld in de vorm van een zeer vereenvoudigd blokschema.

Uit het precies zoals bij een zwart-wit ontvanger geschakelde M.F.-gedeelte wordt door de gebruikelijke detectie het mengsel verkregen van het  $Y$ - en het chrominantie signaal (volledig kleurensignaal). Dit signaalmengsel wordt enerzijds direct toegevoerd aan de matrix schakeling van de weergeefbuis (zie blz. 105), anderzijds via een banddoorlatend filter aan de beide demodulatoren voor het  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal. Het banddoorlatend filter heeft een doorlaatgebied van ca. 2,5 tot 5 MHz, waardoor storingen van de  $I$ - en  $Q$ -signalen noch door de sterke lage zijbandfrequenties van het  $Y$ -signaal, noch door de geluidsdraaggolf bij 5,5 MHz kunnen optreden. De beide demodulatoren zijn zogenaamde synchrone demodulatoren, waarvan de werking aan de hand van fig. 41 als volgt kan worden verklaard.

Zoals reeds is gezegd, kan een draaggolf met een bepaalde onveranderlijke amplitude worden voorgesteld door een wijzer van een bepaalde lengte, die om zijn draaipunt roteert met een snelheid, die overeenkomt met de frequentie van de draaggolf (zie fig. 37). Een *amplitude gemoduleerde draaggolf* kan op overeenkomstige wijze worden voorgesteld, waarbij men moet bedenken, dat amplitudemodulatie in werkelijkheid het ontstaan betekent

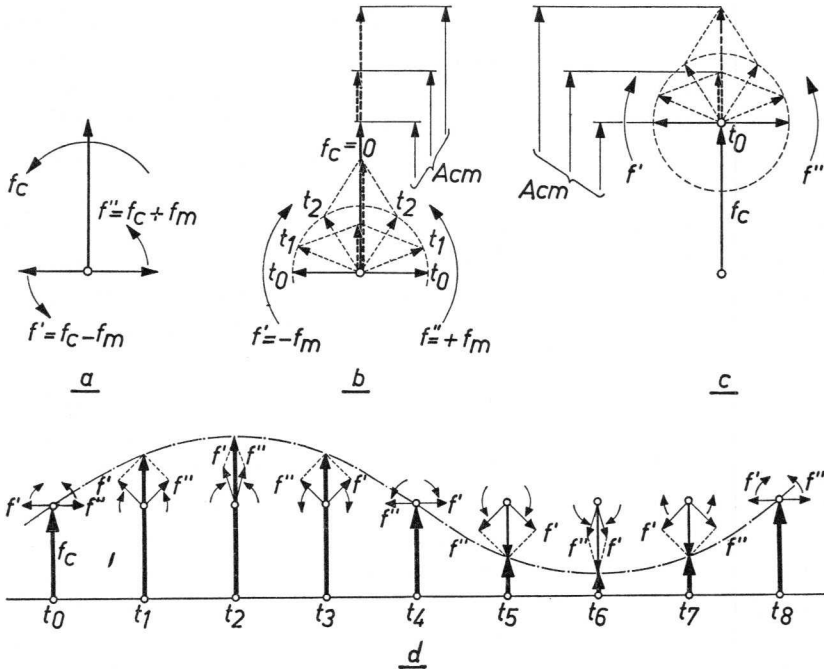


Fig. 41. Symbolische voorstelling van de amplitudemodulatie van een draaggolf  $f_c$  door de modulatiefrequentie  $f_m$ .

- De draaggolf is voorgesteld door de met een snelheid  $f_c$  draaiende wijzer; bij de modulatie ontstaat een bovenzijbandfrequentie (wijzer  $f''$  met de draaisnelheid  $f_c + f_m$ ) en een onderzijbandfrequentie (wijzer  $f'$  met de draaisnelheid  $f_c - f_m$ ).
- Wordt de wijzer van de draaggolf  $f_c$  stilstaand aangenomen, dan draaien de wijzers  $f'$ , resp.  $f''$  met dezelfde snelheid  $f_m$ , de eerste echter in de zin van een uurwerk, de laatste in tegengestelde richting; de beide wijzers kunnen dan op de elkaar opvolgende tijdstippen  $t_0, t_1, t_2$  meetkundig bij elkaar worden opgeteld en leveren tezamen met de amplitude van de ongemoduleerde draaggolf de momentele waarde  $A_{cm}$  op van de gemoduleerde draaggolf.
- Door de wijzer  $f'$  resp.  $f''$  aan de punt van de wijzer van de draaggolf  $f_c$  te plaatsen, wordt de getekende voorstelling eenvoudiger en overzichtelijker.
- Voor acht elkaar opvolgende tijdstippen is de modulatie van de draaggolf voor een volle periode van de modulatiefrequentie voorgesteld; de sinusvormige toe- en afname van de amplitude van de draaggolf is duidelijk te zien.

van een bovenste en onderste zijband. Wordt de draaggolffrequentie aangegeven met  $f_c$  en de modulatiefrequentie met  $f_m$ , dan is de onderste zijbandfrequentie  $f' = f_c - f_m$  en de bovenste  $f'' = f_c + f_m$ . Ook deze beide golven kunnen door een wijzer worden voorgesteld, waarbij het voor de

hand ligt, dat deze wijzers en die van de draaggolf om een gemeenschappelijk draaipunt roteren (fig. 41a). De draaisnelheid is daarbij voor alle drie de wijzers verschillend en wel roteert de onderste zijbandgolf langzamer, de bovenste zijbandgolf echter evenveel sneller dan de draaggolf, omdat dit ook overeenkomt met het frequentieverschil van deze drie golven. Als echter de snelheidsverschillen tussen  $f'$  en  $f_c$ , resp.  $f_c$  en  $f''$  even groot zijn, namelijk gelijk aan  $f_m$ , dan kan men ook de wijzer  $f_c$  stilstaand aannemen en alleen de wijzers  $f'$  en  $f''$  met een snelheid  $f_m$  laten draaien. Daaruit volgt dat  $f'$  in dezelfde richting draait als de wijzers van een klok,  $f''$  echter in tegengestelde richting (fig. 41 b). De beide wijzers van de zijbandgolven zullen dus steeds symmetrisch liggen ten opzichte van de draaggolf, wat als kenmerk voor amplitudemodulatie buitengewoon belangrijk is. Het resultaat echter, de in amplitude gemoduleerde draaggolf  $f_{cm}$ , wordt gevonden door meetkundige optelling van de wijzer  $f_c$  met de betreffende momentele waarden van de wijzers  $f'$  en  $f''$ . Dit is in fig. 41 b voor drie verschillende tijdstippen  $t_0$ ,  $t_1$  en  $t_2$  aangegeven.

De constructie van de in amplitude gemoduleerde draaggolf  $A_{cm}$  kan worden vereenvoudigd, als men volgens fig. 41 c de beide wijzers niet aan het voetpunt van  $f_c$ , maar aan de punt daarvan tekent en laat roteren. Deze wijze van voorstelling wordt algemeen toegepast, als het gaat om beschouwingen over gemoduleerde golven. In fig. 41 d is om een goed overzicht te krijgen de constructie voor verschillende tijdintervallen achter elkaar uitgevoerd en men herkent duidelijk de sinusvormige modulatie van de draaggolfamplitude. Binnen de verschillende tijdintervallen is daarbij elk willekeurig aantal perioden van de draaggolf (aantal omwentelingen van de wijzer  $f_c$ ) mogelijk.

In fig. 42 is dezelfde voorstellingswijze toegepast op het uit twee gemoduleerde hulpdraaggolven bestaande chrominantiesignaal. Fig. 42 a stelt de twee, met het  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal gemoduleerde en  $90^\circ$  ten opzichte van elkaar in fase verschoven hulpdraaggolven  $f_{cI}$ , resp.  $f_{cQ}$  voor. Fig. 42 b hetzelfde signaal na onderdrukking van de beide draaggolffrequenties, dus het chrominantiesignaal zoals het werkelijk wordt uitgezonden en ontvangen. In fig. 42c is de situatie aangegeven in de  $I$ -demodulator van de ontvanger, een nieuwe draaggolf, in fase met de  $I$ -hulpdraaggolf van de zender is aan het chrominantiesignaal toegevoegd. Daardoor is weer een normale in haar amplitude gemoduleerde hulpdraaggolf ontstaan, waaruit op de gebruikelijke wijze door een amplitudedetector het zuivere  $I$ -signaal kan worden gedemoduleerd.

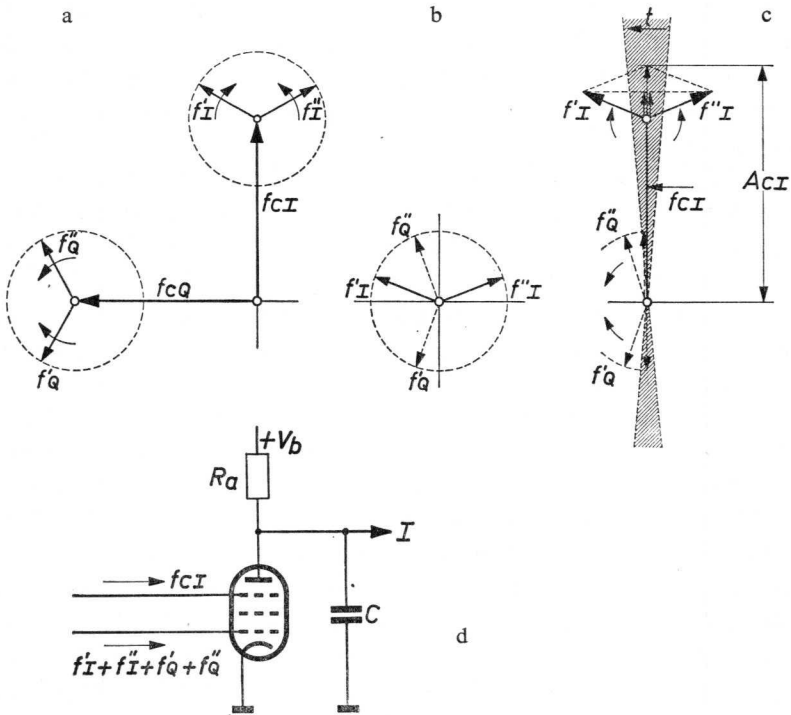


Fig. 42. Principe van de synchrone demodulator.

- De beide in kwadratuur staande hulpdraaggolven  $f_I$ , resp.  $f_Q$  met hun modulatie-frequenties  $f'I$ , resp.  $f'Q$  voor het onderdrukken van de hulpdraaggolfrequentie in de zender.
- Na het onderdrukken van de hulpdraaggolfrequentie zijn nog slechts de onder- en bovenzijbandfrequenties  $f''$ , resp.  $f''$  van de modulatiefrequenties  $f'I$ , resp.  $f'Q$  aanwezig; deze frequenties worden uitgezonden.
- De  $I$ -demodulator van de ontvanger voegt de hulpdraaggolf  $f_{cI}$  in de juiste fase toe aan het ontvangen signaal en demoduleert slechts gedurende het korte ogenblik  $t$ ; op dit tijdstip zijn de momentele waarden van  $f'Q$  en  $f''Q$  steeds tegengesteld gericht en heffen elkaar op; daardoor ontstaat slechts het gedemoduleerde  $I$ -signaal met de amplitude  $A_{cI}$ .
- Principeschema van een synchrone demodulator met een pentode.

Het toevoegen van de hulpdraaggolf en het daarop aansluitende demoduleren kan bijvoorbeeld plaats hebben op de, in fig. 42d in zeer vereenvoudigde vorm voorgestelde wijze. Het uit de zijbanden  $f_I$  en  $f_Q$  bestaande chrominantiesignaal wordt toegevoerd aan het stuurrooster van een buis met meer-

dere roosters (menghexode), terwijl aan het mengrooster ( $g_3$ ) de  $I$ -hulpdraaggolf wordt gelegd. De buis is zodanig ingesteld, dat de stroom slechts kan vloeien gedurende de zeer korte tijd waarin de hulpdraaggolf haar positieve maximale waarde bereikt ( $t$  in fig. 42c). De stroom gedurende deze korte momenten wordt dan bepaald door de momentele waarden van de vier golven  $f_I'$ ,  $f_I''$ ,  $f_Q'$  en  $f_Q''$ . Zoals uit fig. 42c blijkt zijn deze momentele waarden (de projecties van de wijzer op de verticale assen) voor de beide  $I$ -zijbandgolven steeds in dezelfde richting, die van de beide  $Q$ -zijbandgolven echter steeds tegengesteld gericht. De eerstgenoemden worden steeds bij elkaar opgeteld, waardoor de gewenste  $I$ -modulatie ontstaat, de laatsten daarentegen heffen elkaar op en hebben daardoor geen invloed op de door de buis vloeiende stroomimpulsen. De overeenkomstig de  $I$ -modulatie in hun sterkte variërende, stroomimpulsen veroorzaken over de weerstand  $R_a$  daarmee in verhouding zijnde spanningsimpulsen, die op de bekende wijze met behulp van een condensator  $C$  kunnen worden afgevlakt tot een zuiver  $I$ -signaal.

Evenals op de zo juist beschreven wijze met behulp van een  $I$ -hulpdraaggolf het  $I$ -signaal uit het chrominantiesignaal wordt gedemoduleerd, vindt in een tweede, parallel geschakelde synchrone demodulator, door het toevoegen van een  $90^\circ$  in fase gedraaide  $Q$ -hulpdraaggolf, de demodulatie plaats van het  $Q$ -signaal. Hiermee is het laatste moeilijke probleem van het overbrengingssysteem opgelost, het  $Y$ -,  $I$ - en  $Q$ -signaal worden uit het ingewikkelde zijbandspectrum van een enkele hoofdtraaggolf weer onberispelijk teruggewonnen.

Zoals reeds eerder werd opgemerkt wordt in het  $Y$ -kanaal van de ontvanger een scherp onderdrukkingsfilter voor 4,43 MHz ingebouwd, teneinde de storingsmogelijkheden van het  $Y$ -signaal door de grote hulpdraaggolf-amplitude te onderdrukken. Tegen het omgekeerde geval, dus storing van het  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal door de lage zijbandfrequenties van het  $Y$ -signaal, worden ook de bandbreedten van de eerste signalen begrensd en wel op 1,5 MHz voor het  $I$ -, resp. 0,5 MHz voor het  $Q$ -signaal. Zoals later zal blijken is voor het  $Q$ -signaal inderdaad geen grotere bandbreedte nodig. Wat echter aan bandbreedte bij het  $Q$ -signaal kan worden bespaard komt aan het belangrijkere  $I$ -signaal ten goede. Vandaar de ongelijke bandbegrenzing van het  $I$ - en  $Q$ -signaal.

Ook in de zender heeft een dergelijke begrenzing van de banden van deze beide signalen plaats en wel voor zij op de hulpdraaggolven worden gemodu-

leerd. Dit heeft voor het  $Q$ -signaal geen bijzondere gevolgen, aangezien, zowel voor de bovenste als ook voor de onderste zijband, een frequentieband van minstens 0,5 MHz ter beschikking staat. De hulpdraaggolfrequentie toch ligt meer dan 0,5 MHz lager dan de bovenste grens van het televisiebeeldkanaal met een bandbreedte van 5 MHz. Van de zijbanden van het met 1,5 MHz bandbreedte gemoduleerde  $I$ -signaal wordt echter de bovenste zwaar verminkt uitgezonden, omdat de beeldzender slechts een bandbreedte heeft van 5 MHz. Van de bovenste  $I$ -zijband worden dus slechts frequenties

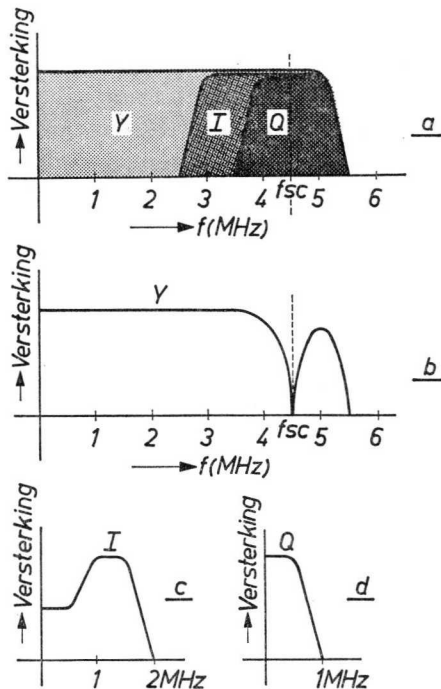


Fig. 43. De verschillende bandbreedten voor het  $Y$ -,  $I$ - en  $Q$ -signaal.

a) voor de zender.

b) voor het  $Y$ -kanaal van de ontvanger; zuigfilter voor extra onderdrukking van de hulpdraaggolf en de laagste modulatiefrequenties daarvan.

c) Voor het  $I$ -kanaal van de ontvanger; de versterkingskarakteristiek loopt tussen 0,5 en 1 MHz op tot de dubbele waarde, omdat tengevolge van de begrenzing van de bandbreedte van de zender in dit frequentiegebied de bovenzijband van de  $I$ -hulpdraaggolf verdwijnt (zie fig. a). Er heeft dus alleen maar enkelzijbanddemodulatie plaats met halve uitgangsamplitude.

d) Voor het  $Q$ -kanaal van de ontvanger.

tot ongeveer 0,5 MHz uitgezonden (fig. 43a). De onderste  $I$ -zijband daarentegen kan met de volle bandbreedte van 1,5 MHz worden uitgezonden. De demodulatie van dit „verminkte”  $I$ -signaal geschiedt dan niet zo nauwkeurig als bovenstaand is beschreven. Het gedemoduleerde signaal verschijnt in zijn lage frequenties tot ca. 0,5 MHz ongeveer dubbel zo sterk als in de frequenties tussen 0,5 en 1,5 MHz. Dit kan echter door een passende frequentie-karakteristiek van de op de demodulatie volgende versterker worden gecompenseerd (fig. 43b). Bovendien kunnen in de  $Q$ -demodulator de ongewenste  $f'_I$ , resp.  $f''_I$  frequenties, voor zover ze tussen 0,5 en 1,5 MHz liggen, elkaar niet meer wederzijds opheffen, omdat in dit gebied alleen nog maar  $f'_I$  frequenties voorkomen. In dit frequentiegebied is er dus geen zuivere demodulatie van het  $Q$ -signaal. Reeds daarom is het van belang het  $Q$ -signaal zelf tot een bandbreedte van 0,5 MHz te begrenzen.

Rest nog te verklaren hoe eigenlijk het  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal moeten zijn samengesteld om de kenmerken kleurtoon en verzadiging te kunnen overbrengen.

### Het $I$ - en $Q$ -signaal

Reeds meerdere malen werd opgemerkt, dat het  $I$ - en  $Q$ -signaal de informatie moeten bevatten over de kleurtoon, respectievelijk de kleurverzadiging, maar tot nu toe werd in het midden gelaten hoe deze informatie kunnen worden uitgedrukt in elektrische signalen. Dit probleem zal hieronder uitvoerig worden besproken.

Zoals reeds dikwijls werd gezegd is een principiële eis voor een kleuren-overbrengingssysteem de verenigbaarheid, d.w.z. dat een zwart-wit ontvanger een uitgezonden kleurensignaal in zwart-wit moet kunnen weergeven. Aan deze eis wordt voldaan door de uitzending van het luminantie- ( $Y$ -) signaal, dat voor een zo goed mogelijke zwart-wit weergave in een bepaalde verhouding is samengesteld uit de drie primaire componenten rood, groen en blauw, namelijk  $Y = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B$ . Er is echter ook nog een *omgekeerde verenigbaarheid*, dat is de geschiktheid van een *kleurenontvanger* om zonder speciale omschakeling ook een zwart-wit beeld te kunnen weergeven. In fig. 44 zijn deze beide eisen van verenigbaarheid schematisch voorgesteld; (a) heeft zeer zeker geen verdere verklaring nodig, bij (b) wordt er slechts op gewezen, dat de in de ontvanger aangegeven relatieve versterkingsfactoren 0,30, 0,59 en 0,11 slechts gelden voor het geval, dat de drie in ver-



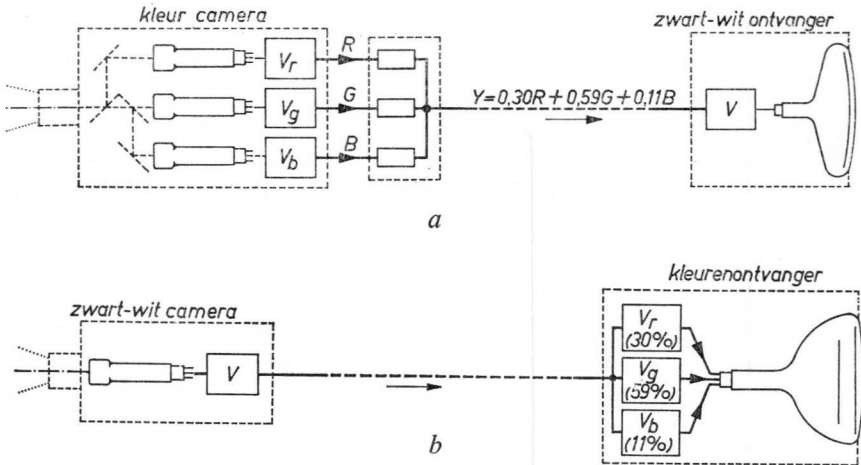


Fig. 44. Het principe van de verenigbaarheid.

a) een zwart-wit ontvanger moet het door een kleurentelevisiezender uitgezonden signaal in zwart-wit kunnen weergeven; daartoe is het Y-signaal noodzakelijk.

b) Omgekeerde verenigbaarheid; een kleurenontvanger moet het signaal van een zwart-wit zender automatisch als een zwart-wit beeld kunnen weergeven; hiertoe is een verdeling van het binnenkomende zwart-wit signaal over de drie kanonnen van de weer-geefbuis in een verhouding 30 : 59 : 11 nodig.

$V$  = enkelkanaalversterker;  $V_r$ ,  $V_g$ ,  $V_b$  = versterkers in het rode, groene, resp. blauwe kanaal.

schillende kleur oplichtende luminoforen hetzelfde rendement hebben. Aangezien dat in werkelijkheid niet het geval is, moeten de versterkingsfactoren daarmee in overeenstemming worden gebracht.

Essentieel in fig. 44b is, dat de drie versterkers van de kleurenontvanger voor het signaal van een zwart-wit zender parallel zijn geschakeld. Aangezien de ontvanger zonder omschakeling voor zwart-wit moet werken, is het duidelijk, dat men ook in geval van een kleurentuitzending het beste het luminantiesignaal (Y-signaal) kan toevoeren aan de drie parallelgeschakelde versterkers. Om dan behalve deze helderheidsinformatie ook nog de kleureninformatie in de drie versterkerkanalen te brengen bestaat de in fig. 45a getekende mogelijkheid:

$R - Y$ ,  $G - Y$  resp.  $B - Y$  in deze figuur betekenen het van elkaar aftrekken van elektrische signalen en niet van b.v. kleurwaarden. Dergelijke aftrekkingen zijn elektrisch heel eenvoudig uit te voeren als men bedenkt, dat wiskundig een aftrekking hetzelfde is als een optelling van negatieve

waarden. Zo is bv.  $R - Y = R + (-Y)$ , dat wil dus zeggen: men draait eerst het  $Y$ -signaal, met behulp van een buis, om in polariteit en krijgt dan  $-Y$ . In een normale additieve mengschakeling met twee buizen op een gemeenschappelijke anodeweerstand kan men het  $R$ - en het  $-Y$ -signaal optellen en krijgt dan  $R + (-Y) = R - Y$ . In fig. 45a werd aangenomen, dat op deze wijze in de zender de drie verschilsignalen  $R - Y$ ,  $G - Y$  en  $B - Y$  worden gevormd, in de een of andere vorm worden uitgezonden en op de ontvanger komen, hier uit de HF-draag golf worden gedemoduleerd en gescheiden. Worden dan deze signalen met het, over een andere HF-draag golf ontvangen en gedemoduleerde,  $Y$ -signaal in hun oorspronkelijke fase gemengd, dan moeten weer de zuivere  $R$ -,  $G$ - resp.  $B$ -signalen ontstaan, want  $R - Y + Y = R$  enz.

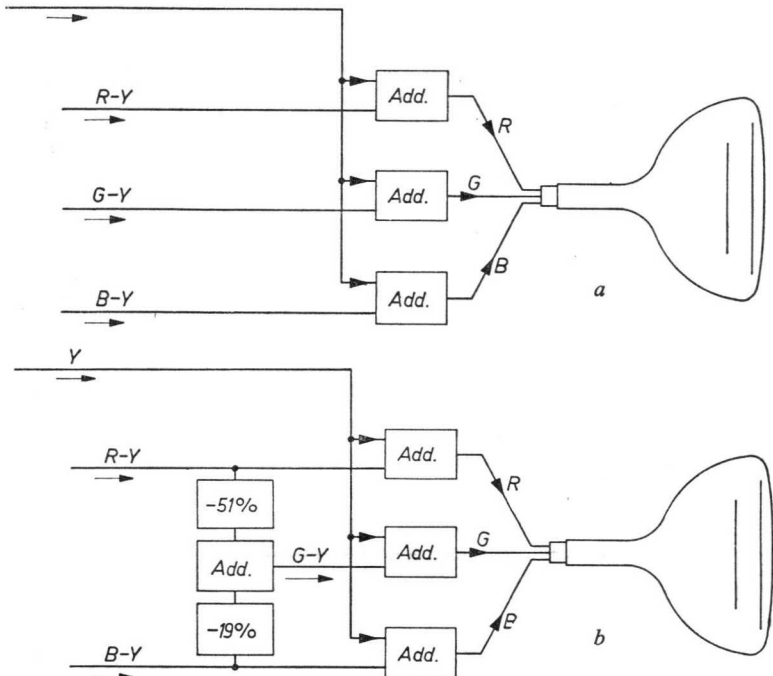


Fig. 45. a) Opwekken van het  $R$ -,  $G$ - en  $B$ -signaal in de ontvanger door optelling van het  $Y$ -signaal met de drie verschilsignalen  $R - Y$ ,  $G - Y$  en  $B - Y$ .

b) Het  $G - Y$  signaal wordt door optelling van  $51\%$  van het  $R - Y$  signaal en  $19\%$  van het  $B - Y$  signaal en ompoling verkregen.

De gang van zaken van fig. 45a heeft het nadeel, dat in de ontvanger blijkbaar vier signalen nodig zijn ( $Y$ ,  $R - Y$ ,  $G - Y$  en  $B - Y$ ), terwijl volgens de theorie reeds met drie signalen een oplossing moet kunnen worden gevonden, want iedere kleur is door drie kenmerkende grootheden volledig bepaald. Een korte overweging toont dan ook aan, dat de zo juist genoemde vier signalen niet als van elkaar onafhankelijk kunnen worden beschouwd. In het  $Y$ -signaal zitten namelijk reeds de  $R$ -,  $G$ -, resp.  $B$ -waarden, want  $Y = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B$ . Voegt men deze waarde in de drie verschilsignalen in, dan krijgt men:

$$\begin{aligned} R - Y &= 0,70 R - 0,59 G - 0,11 B \\ G - Y &= -0,30 R + 0,41 G - 0,11 B, \\ B - Y &= -0,30 R - 0,59 G + 0,89 B \end{aligned}$$

Om nu een van deze drie signalen te laten verdwijnen is het het beste b.v.  $G - Y$  in de beide andere verschilsignalen uit te drukken; er ontstaat dan

$$G - Y = -0,51 (R - Y) - 0,19 (B - Y)$$

Ook dit van elkaar aftrekken van twee signalen kan weer op een eenvoudige manier elektrisch worden gedaan. De  $(R - Y)$ -, resp.  $(B - Y)$ -signalen worden eerst door ompoling op hun negatieve waarde gebracht, tegelijkertijd tot op 51%, resp. 19% verzwakt en dan in een normale mengschakeling opgeteld. Er behoeven in dit geval nog slechts drie signalen te worden uitgezonden, nl.  $Y$ ,  $R - Y$  en  $B - Y$ . In de ontvanger wordt dan op de zo juist beschreven wijze uit  $R - Y$  en  $B - Y$  het  $(G - Y)$ -signaal gemaakt, waarna door optelling met het  $Y$ -signaal de  $R$ -,  $G$ - en  $B$ -signalen ontstaan. Deze gehele gang van zaken is voorgesteld in fig. 45b.

Zoals in de vorige paragrafen reeds uitvoerig werd beschreven, bestaat door frequentievervlochtening tussen de hoofddraaggolf en een hulpdraaggolf, alsmede door dubbele modulatie van deze laatste, de mogelijkheid drie signalen onafhankelijk van elkaar uit te zenden. Het zou dus het eenvoudigste zijn de zojuist genoemde drie signalen als  $Y$ -,  $I$ - en  $Q$ -signaal uit te zenden.

Dan zou men bv. krijgen:

$$\begin{aligned} Y &= 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B \\ I &= R - Y = 0,70 R - 0,59 G - 0,11 B \\ Q &= B - Y = -0,30 R - 0,59 G + 0,89 B \end{aligned}$$

In werkelijkheid echter worden deze signalen *niet* uitgezonden, omdat daarmee niet de optimale kwaliteit kan worden verkregen. De oorzaken daarvan zullen hieronder worden besproken.

Om te beginnen willen we er nog eens op wijzen, dat het in bovenstaande vergelijkingen niet gaat om het optellen van *kleuren*, maar van elektrische signalen; een + betekent optellen in de oorspronkelijke fase, een — betekent eerst een ompoling en daarna optellen. Nu zal aan de hand van de gegeven vergelijkingen worden getracht de *Y*-, *I*-, resp. *Q*-signalen af te leiden voor een reeks kleuren. In fig. 46 (blz. 107) is dat gedaan voor de belangrijkste kleuren van de regenboog, te beginnen met rood. Daarbij werd voor rood, groen en blauw uitgegaan van de primaire kleuren (ca. 610 m $\mu$ , 535 m $\mu$  en 470 m $\mu$ ), dus de kleuren waarbij steeds slechts een van de drie opneembuizen een signaal levert, dit echter met maximale sterkte (= 1,00). Voor geel, blauw-groen en purper werden de complementaire kleuren van de primaire kleuren aangenomen. Geel (ca. 572 m $\mu$ ) als complementaire kleur van blauw, blauw-groen (ca. 490 m $\mu$ ) van rood en purper (ca. — 535 m $\mu$ ) van groen. Deze laatste kleur komt in het spectrum van de regenboog niet voor, zij ligt op de onderste grenslijn van de kleurendriehoek (zie blz. 19 fig. 9). Als laatste „kleur” werd in fig. 46 wit gekozen, waarbij volgens de normalisatie alle drie de opneembuizen gelijke signalen met maximale sterkte (= 1,00) moeten leveren. Zoals echter vroeger reeds is gezegd behoeven de opneembuizen zelf nog geen even sterke signalen te leveren wanneer deze in de eerste versterktrappen op dezelfde amplitude worden gebracht.

Men kan zich nu voorstellen, dat de in fig. 46 aangenomen kleuren in de vorm van een gekleurd testbeeld worden opgenomen door een kleuren-camera. Dan zullen de door de drie versterkerkanalen geleverde signalen de vorm hebben die in de diagrammen *R*, *G* en *B* is aangegeven. Uit deze uitgangssignalen worden nu met behulp van de pas genoemde matrix- en optelschakelingen alle in de daaropvolgende diagrammen voorgestelde signalen afgeleid. Eerst het *Y*-signaal, dan het *R* — *Y*- en *B* — *Y*-signaal. Deze beide laatste worden dan gemoduleerd op de twee 90° in fase verschoven hulpdraaggolven, waardoor dan een zowel in amplitude als in fase gemoduleerde hulpdraaggolf ontstaat.

Eerst is de vectorische optelling getekend (kleine pijlen) en daaronder de met de verschillende kleuren overeenstemmende amplitudes van de hulpdraaggolf. Om tenslotte het totale, volledige kleurensignaal te krijgen waarmee de zender wordt gemoduleerd, moet het hulpdraaggolfsignaal worden opgeteld bij het *Y*-signaal. Dat is in het onderste diagram gedaan. Ook hier zijn weer de optredende amplitudes aangegeven en zoals we zien over-

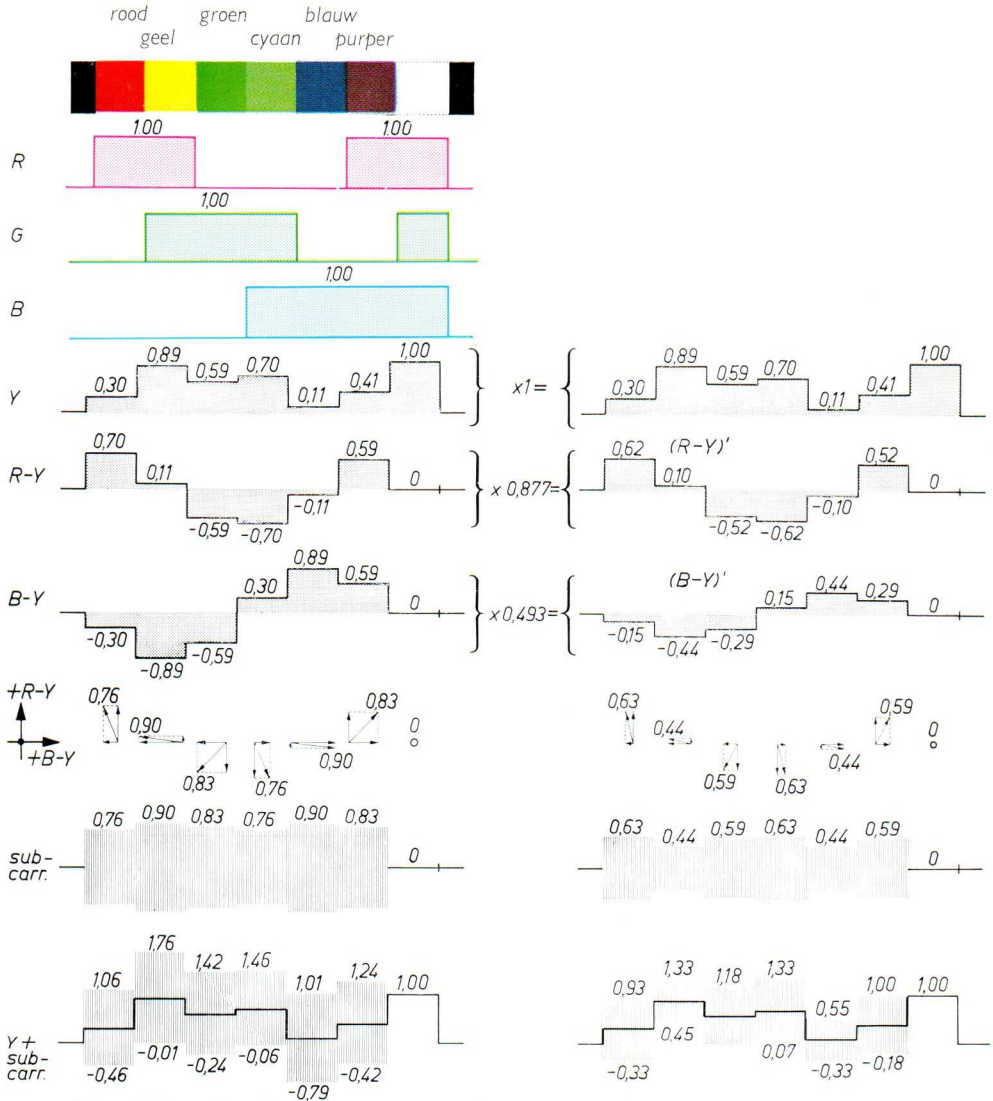
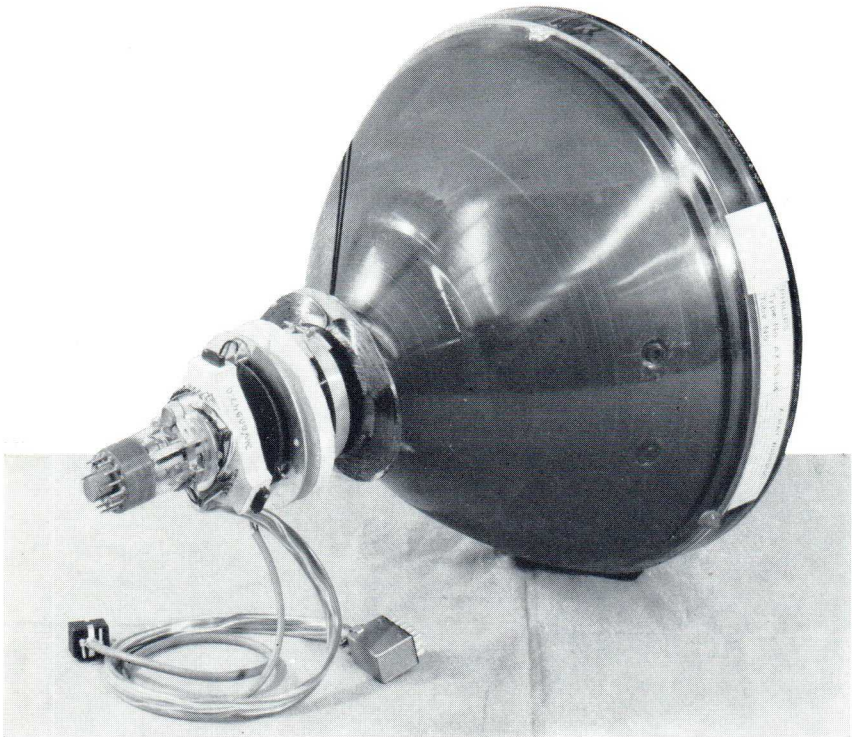


Fig. 46. Signaalamplitudes van de opneembuizen tot aan de gemoduleerde beelddraaggolf van de zender voor 6 verschillende kleuren.

Verklaring in de tekst.

a) zonder reductie van het  $R - Y$ , resp.  $B - Y$  signaal.

b) met reductie van de beide signalen om de overmodulatie van de zender te beperken tot 133%.



Schaduwmaskerbuis met afbuig- en convergentiesysteem.

schrijden deze ten dele aanmerkelijk de normale waarde 1,00. Nu moet er weer op worden gewezen, dat het systeem verenigbaar moet zijn, zodat een zwart-wit ontvanger uit het *Y*-signaal, waarop zij toch alleen reageert, een goed zwart-wit beeld moet maken. Dat betekent echter, dat het *Y*-signaal met zijn maximale waarden van 1,00 de draaggolf van de zender voluit moet moduleren, doch de amplitude-overschrijdingen van het volledige kleuren-signaal de zender dus sterk zullen overmoduleren en daardoor veel onaangename vervormingen en storingen in de versterkers zullen veroorzaken.

Er moet echter niet worden vergeten, dat de in fig. 46a getekende amplitudeverhoudingen slechts voor geheel verzadigde, dus bijna zuivere spectrale kleuren gelden, die in de praktijk slechts zelden voorkomen. Meestal gaat het dan om veel minder verzadigde kleuren, dus kleuren, die meer of minder zijn gemengd met wit.

Ook voor deze niet verzadigde kleuren zouden dezelfde diagrammen kunnen worden afgeleid als in fig. 46a zijn getekend. Dan zou blijken, dat daarbij de maximale amplitudes aanmerkelijk kleiner zouden worden, waardoor niet zo'n sterke overmodulatie van de draaggolf zou optreden. Niettemin is het nodig de maximale amplitudes iets te reduceren en wel door een verzwakking van het *R* — *Y*, respectievelijk *B* — *Y* signaal, alvorens zij op de beide hulpdraaggolven worden gemoduleerd.

Daar de ervaring heeft aangetoond, dat een oversturing van de draaggolf met ca. 33%, wanneer zij slechts zelden voorkomt, op de koop toe kan worden genomen, heeft men de reductiefactoren voor de *R* — *Y*, respectievelijk *B* — *Y* signalen zodanig gekozen, dat met de in fig. 46a aangenomen, zuivere spectrale kleuren een maximumwaarde van de amplitude van 1,33 maal de amplitude van zwart tot wit door het volledige videosignaal (onderste diagram) niet wordt overschreden. De betreffende reductiefactoren moeten dan 0,877 voor het *R* — *Y*-signaal en 0,493 voor het *B* — *Y*-signaal bedragen. Dan wordt:

$$(R - Y)' = 0,877 (R - Y) = 0,62 R - 0,52 G - 0,10 B \text{ en}$$

$$(B - Y)' = 0,493 (B - Y) = -0,15 R - 0,29 G + 0,44 B$$

Deze twee gereduceerde signalen zijn in fig. 46b getekend, evenals de vectorische optelling van de met deze signalen gemoduleerde hulpdraaggolven en tenslotte de totale amplitude van het uit het (ongereducerde) *Y*-signaal en de hulpdraaggolf samengestelde, volledige kleurensignaal. Zoals

uit dit laatste diagram blijkt, wordt nu inderdaad de als toelaatbaar beschouwde 1,33-voudige waarde van de genormaliseerde amplitude van 1,00 (voor wit) niet meer overschreden.

Het spreekt vanzelf, dat de voor de modulatie van de hulpdraaggolf in de zender toegepaste reductie van het  $R - Y$ -, resp.  $B - Y$ -signaal na de demodulatie van deze beide signalen in de ontvanger door een overeenkomstige extra versterking weer moet worden gecompenseerd. Pas dan is de overbrenging vrij van kleurfouten.

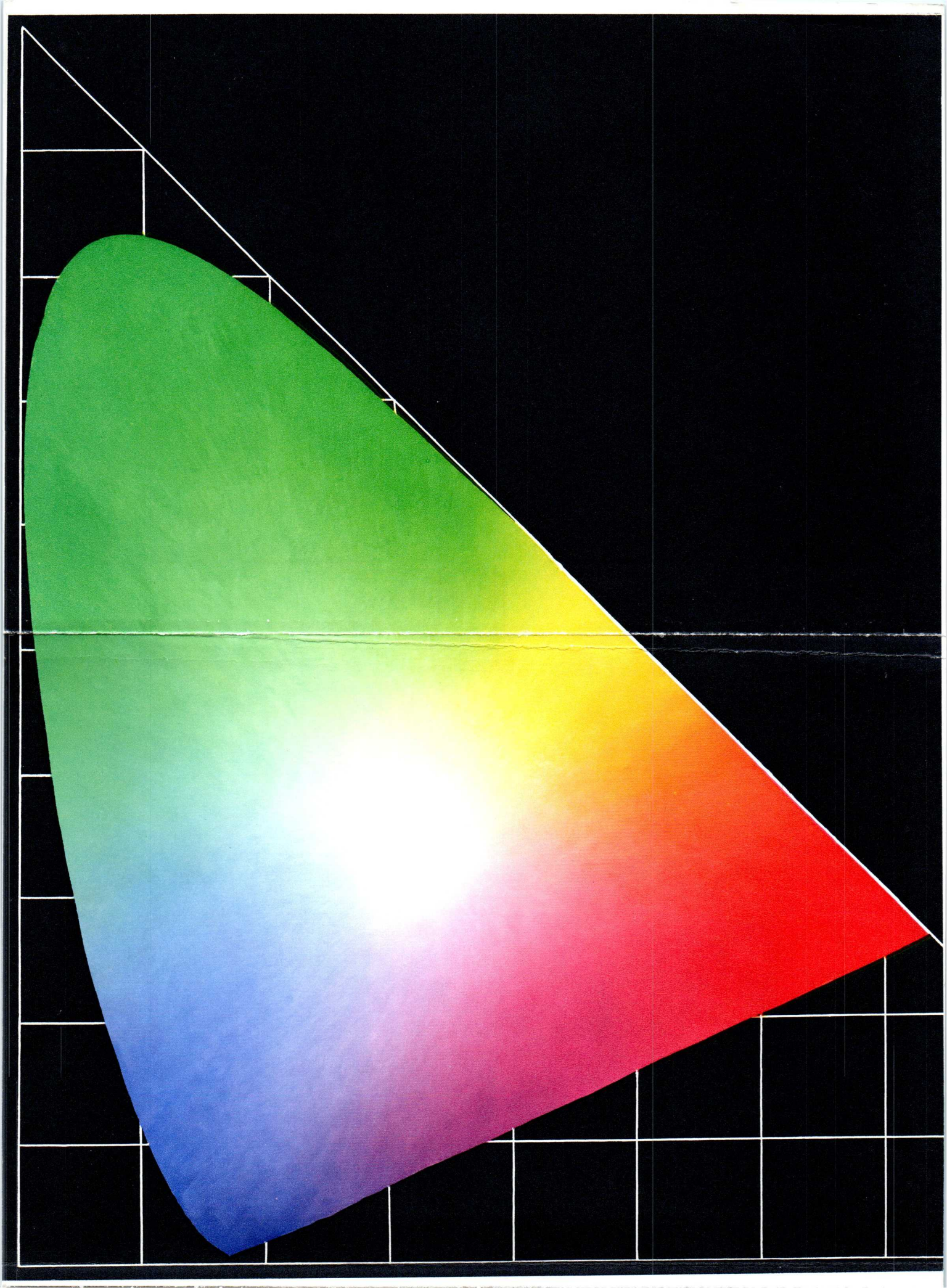
De in fig. 46b slechts zeer klein geschetste vectorische optelling van de twee over  $90^\circ$  in fase gedraaide hulpdraaggolven tot een resulterende hulpdraaggolf is in fig. 47 nog eens nauwkeuriger en uitvoeriger voorgesteld. Voor een goed begrip van deze figuur verwijzen wij naar fig. 37b (blz. 92) waarin het samenstellen van twee  $90^\circ$  in fase verschoven hulpdraaggolven met willekeurig aangenomen positieve-, resp. negatieve amplitudes tot een resulterende hulpdraaggolf in vier voorbeelden werd getoond. In fig. 47 heeft dezelfde samenstelling plaats gehad, echter met 6 voorbeelden in een enkele figuur, namelijk voor de zes kleuren van fig. 46 (zonder wit). Terwijl in fig. 37 de beide hulpdraaggolven werden aangeduid met  $F_I$ , resp.  $F_Q$ , zijn ze in fig. 47 aangegeven met  $(R - Y)' = [F_Q^*]$ , resp.  $(B - Y)' = [F_I^*]$ .

Er moet hier nogmaals op worden gewezen, dat deze met een sterretje (\*) aangeduide hulpdraaggolven slechts de eenvoudigste theoretische mogelijkheid voorstellen. In werkelijkheid wordt, zoals verderop zal worden aangetoond, nog een zekere, gezamenlijke fazedraaiing van de beide hulpdraaggolven teweeggebracht.

### Fazehoek van een kleur

Een korte beschouwing van fig. 47 toont, dat de resulterende hulpdraaggolf  $[F_{sc}^*]$  voor iedere kleur een zekere fase heeft en wel een zodanige, dat wanneer men b.v. bij rood begint, tegen de draairichting van een uurwerk in de gehele regenboogscala in natuurlijke volgorde zal worden doorlopen, dus van rood via oranje, geel, groen enzovoorts tot blauw en bovendien nog de purperinten, die de afsluiting vormen van de kleurendriehoek. Zeer duidelijk blijkt ook nog uit de afbeelding, dat de paren complementaire kleuren (rood/blauw-groen, groen/purper, blauw/geel enz.) juist in tegenfase zijn, evenals ze ook in de kleurendriehoek van het witpunt uit juist tegengestelde richtingen hebben.





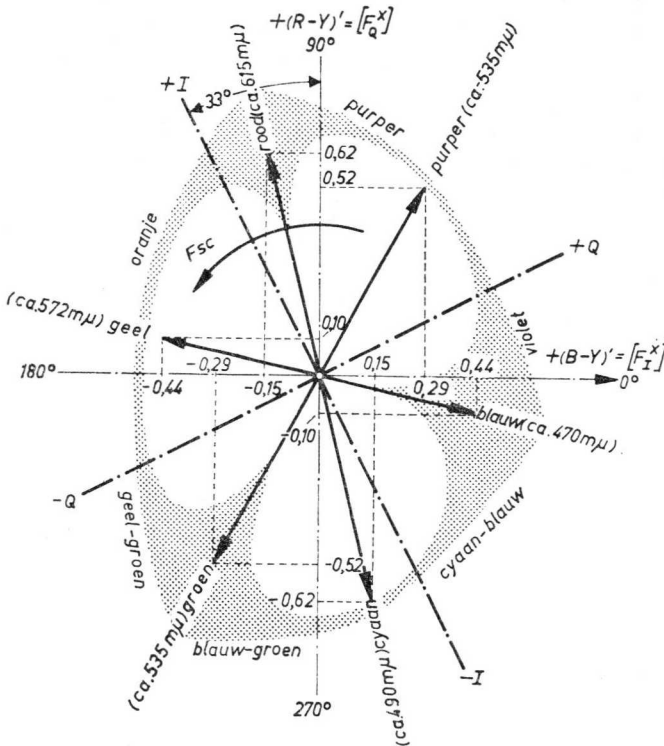


Fig. 47. Vergroting van de in fig. 46b slechts zeer klein aangegeven meetkundige optellingen van het  $(R - Y)'$  en  $(B - Y)'$  signaal tot de resulterende hulpdraaggolf voor de zes kleuren van fig. 46 (getrokken lijn). De in grijs aangegeven, omhullende sferische driehoek duidt de samenhang tussen de faze van de hulpdraaggolf op dat moment en de betreffende tint in de kleurendriehoek aan (zie ook fig. 48). Met dikke punt-streeplijnen is het  $I - Q$  assenkruis ingetekend, waarmee een betere weergave van de details kan worden verkregen dan met het  $(R - Y)' / (B - Y)'$  kruis, omdat de  $I$ -as in het gebied van het oranje ligt.

De in fig. 47 aangegeven amplitudes van de resulterende hulpdraaggolf komen steeds overeen met de grootste verzadiging van de betreffende kleur, zoals ook in fig. 46 was aangenomen. Voor minder verzadigde kleuren, dus voor een menging met wit, worden de amplitudes kleiner, bij zuiver wit verdwijnt de hulpdraaggolf geheel (zie ook fig. 46). Zoals reeds eerder werd opgemerkt drukt dus de faze van de resulterende hulpdraaggolf de kleurtoon uit, de amplitude daarentegen de verzadiging.

Wanneer in het diagram van fig. 47 iedere richting (faze) overeenkomt met een zekere kleurtoon, dan moeten ook voor de richtingen van de beide (voorlopig aangenomen) hulpdraaggolven  $[F_I^*]$ ,  $[F_Q^*]$  overeenkomstige kleuren kunnen worden aangegeven. Met behulp van de vergelijkingen voor  $(R - Y)'$ , resp.  $(B - Y)'$  en het aan de driehoek ten grondslag liggende kleurcoördinatenschema zijn deze kleuren te berekenen. Het resultaat is aangegeven in fig. 48. De oorspronkelijk loodrecht op elkaar staande richtingen van de hulpdraaggolven verschijnen hier als een scheefhoekig assenkruis met de oorsprong in het witpunt van de kleurendriehoek. Om de overeenkomst tussen dit assenkruis en dat van fig. 47 te verduidelijken, zijn ook hier de richtingen

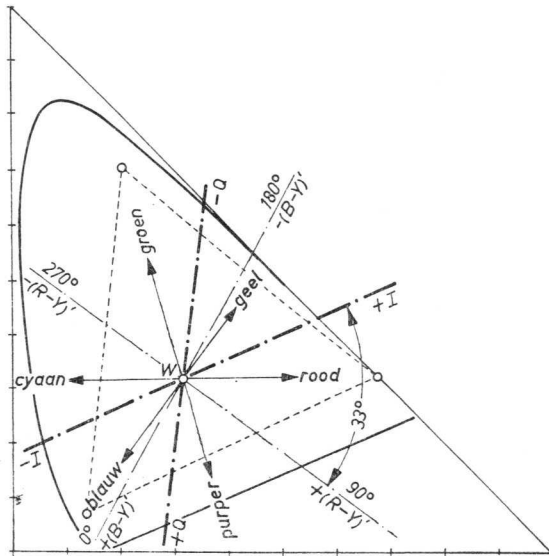


Fig. 48. Stand van de  $(R - Y)'$  en  $(B - Y)'$  assen, benevens de definitieve  $I$ - en  $Q$ -hulpdraaggolfassen in de kleurendriehoek.

van de primaire kleuren en hun complementaire kleuren aangegeven.

De ligging van het assenkruis in de kleurendriehoek heeft de volgende, zeer belangrijke betekenis: zouden de beide signalen  $(R - Y)'$  en  $(B - Y)'$  worden gemoduleerd op de beide hulpdraaggolven, dan zou de ene hulpdraaggolf de kleurtonen bevatten, die liggen langs de as  $+(R - Y)' \leftrightarrow$

—  $(R - Y)'$ . Dat zijn maar twee kleurtonen, namelijk de complementaire kleuren purper (ca. —  $496 \text{ m}\mu$ ) en blauwgroen (ca.  $496 \text{ m}\mu$ ), in verschillende graden verzadigd: van gehele verzadiging, tot wit. De andere draaggolf  $(B - Y)'$  zou alleen maar het complementaire kleurenpaar geelgroen (ca.  $570 \text{ m}\mu$ ) en violet (ca. —  $570 \text{ m}\mu$ ) in alle graden van verzadiging tot wit bevatten. Aangezien, zoals reeds werd besproken, de beide gemoduleerde hulpdraaggolven met verschillende bandbreedten moeten worden uitgezonden (zie blz. 102) moet de keus worden gemaakt welke van de beide signalen voordeliger met een kleinere bandbreedte kan worden uitgezonden, d.w.z. bij welke van de zo juist genoemde kleuren het best een verlies aan details op de koop toe kan worden genomen.

Een diepgaande studie van dit onderwerp leverde interessante resultaten op. Het bleek, dat het onderscheiden en registreren van kleurindrukken door het oog niet zo volkomen is, dat ook voor de kleinste gekleurde details nog ondubbelzinnig de kleur kon worden aangegeven, dat wil zeggen dat terwijl voor alle gekleurde objecten met een groot oppervlak de tot nu toe beschreven overwegingen over het tot stand komen van de oneindige veelheid van kleurindrukken door drie componenten primaire kleuren volledig opgaan, de daarvoor geldende wetten bij een toenemende fijnheid van gekleurde details kunnen worden vereenvoudigd. Worden bijvoorbeeld de details zo fijn, dat zij volgens televisiebegrippen ongeveer overeenkomen met  $0,5 \text{ MHz}$ , dan is het onderscheidingsvermogen voor kleuren van ons oog zodanig verminderd, dat iedere afzonderlijke kleur van de veelvoud van kleuren nog slechts als meer of minder verzadigd oranje of als blauwgroen of als een bepaalde grijswaarde wordt onderscheiden en geregistreerd.

Worden de gekleurde details nog fijner, zodat ze in het videosignaal voorkomen als frequenties hoger dan ca.  $1,5 \text{ MHz}$ , dan kan het oog zelfs geen onderscheid meer maken tussen oranje en blauwgroen, maar registreert nog slechts een bepaalde grijswaarde, dus een bepaalde helderheid.\*)

Uit dit resultaat van het onderzoek kunnen de volgende voor de kleuren-televisie belangrijke praktische conclusies worden getrokken.

a) De weergave van grote vlakken moet net als de grovere details (frecuen-

\*) Om mogelijke onduidelijkheden te vermijden wordt er op gewezen, dat dit afnemende onderscheidingsvermogen natuurlijk slechts geldt voor een gekleurd detail in een groter, andersgekleurd vlak. Vormen echter de verschillend gekleurde fijne details in een meer of minder regelmatige plaatsing zelf een groter vlak, dan geldt de normale, ook aan de kleurentelevisie ten grondslag liggende wet voor de optelling van verschillend gekleurd licht.

ties onder 0,5 MHz) in de natuurlijke kleuren plaats hebben, d.w.z. de drie primaire kleuren moeten worden uitgezonden.

- b) Fijnere details (frequenties tussen 0,5 en 1,5 MHz) behoeven slechts in een van de twee tinten te worden weergegeven, namelijk of in oranje, of in blauwgroen van een bepaalde verzadiging, of ook wel in een bepaalde grijswaarde.
- c) De fijnste details (frequenties boven 1,5 MHz) behoeven helemaal niet meer in kleuren te worden weergegeven, de uitzending van het luminantie-sigitaal ( $Y$ -sigitaal) is voldoende.

Met de onder (a) genoemde voorwaarde werd reeds rekening gehouden door het vastleggen van de subcarrierfrequentie op meer dan 0,5 MHz afstand van de bovenste grens van de voor de beeldzender beschikbare frequentieband. Zoals reeds eerder werd opgemerkt kunnen daardoor de twee signalen, die de kleureninformatie bevatten ( $I$ -, resp.  $Q$ -sigitaal), tot 0,5 MHz met symmetrische zijbanden worden gemoduleerd op de hulpdraaggolven, zodat tot deze frequentie ook een nauwkeurige scheiding in de ontvanger mogelijk is. Daarmee is de nauwkeurige overbrenging van de volledige kleureninformatie tot 0,5 MHz verzekerd.

Uit punt (b) kan worden afgeleid, dat voor fijnere details (frequenties tussen 0,5 en 1,5 MHz) men aan een enkele gemoduleerde hulpdraaggolf voldoende heeft. Aangezien het, om voor de weergave van deze details noodzakelijke tinten oranje, respectievelijk blauwgroen, dus om een paar complementaire kleuren gaat, moet tussen een gemoduleerde hulpdraaggolf, die oranje en een die blauwgroen weergeeft, een fazeverschil van  $180^\circ$  bestaan. (Zie de met streppuntlijn getekende as in fig. 47). Het fazeverschil van  $180^\circ$  betekent echter niets anders dan een fazesprong van een golf (van een hulpdraaggolf) uit een zekere faze in de tegenfaze. Een tweede eveneens aanwezige golf (een tweede hulpdraaggolf) is hiervoor nu niet alleen niet nodig, maar zelfs storend. Met dit feit, dat voor frequenties tussen 0,5 en 1,5 MHz nog maar één hulpdraaggolf (de  $I$ -hulpdraaggolf) nodig is, wordt door de zijbandbegrenzing van de andere hulpdraaggolf ( $Q$ -hulpdraaggolf) reeds rekening gehouden. Er moet nu alleen nog maar voor worden gezorgd, dat de alleen overblijvende  $I$ -hulpdraaggolf ook werkelijk met een oranje/blauwgroen sigitaal wordt gemoduleerd en niet met het ( $R - Y$ )', of ( $B - Y$ )' sigitaal, want deze toch komen volgens figuur 47 overeen met de complementaire kleurenparen purper/blauwgroen, resp. violet/geelgroen.

Er moet aan worden herinnerd, dat het bij de signalen  $Y$ ,  $(R - Y)'$  en  $(B - Y)'$  uiteindelijk slechts gaat om een zuiver door berekening verkregen combinatie van de drie, door deze manipulaties wat op de achtergrond geraakte, primaire componenten  $R$ ,  $G$  en  $B$  van een of andere willekeurige kleur. Min of meer toevallig komen daarbij de combinaties  $(R - Y)'$ , resp.  $(B - Y)'$  overeen met de kleuren van de purper/blauwgroen lijn, resp. de violet/geelgroen lijn. Het moet nu echter mogelijk zijn door een andere rekenkundige manipulatie twee nieuwe signaalcombinaties te vinden, die weer  $90^\circ$  fazeverschil bezitten in het diagram van fig. 47 en waarvan de ene overeenkomt met de oranje/blauwgroen lijn in dit diagram (met streep-puntlijn getekende  $I$ -as). Een dergelijke manipulatie is zonder meer toegestaan,

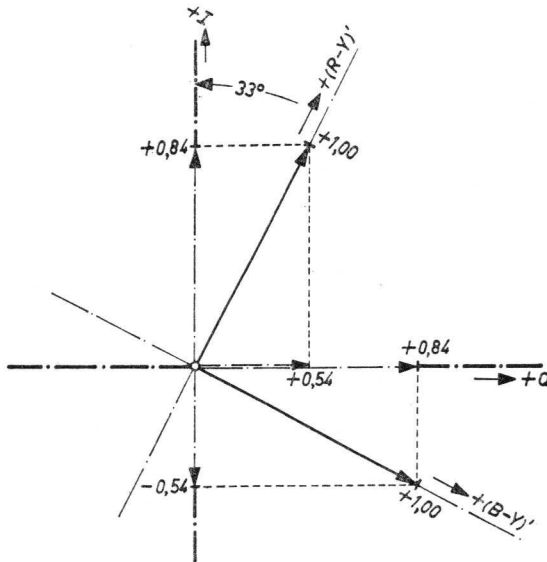


Fig. 49. Ontbinding in componenten van het  $(R - Y)'$  en  $(B - Y)'$  signaal in de richting van de  $I$ - en  $Q$ -hulpdraaggolven. Verdere verklaring in de tekst.

wanneer de gevolgen daarvan door een omgekeerde manipulatie in de ontvanger weer worden opgeheven.

De hoek tussen de oranje/blauwgroen lijn en van de  $(R - Y)'$  as bedraagt

$33^\circ$  (fig. 47 en 49). Nu kan volgens fig. 49 zowel het  $(R - Y)'$  als het  $(B - Y)'$  signaal worden ontbonden in een component in de richting van de oranje/blauwgroen lijn en in een component loodrecht daarop. De eerste richting zullen we aanduiden met de  $I$ - en de laatste met de  $Q$ -richting. Dan is voor het  $(R - Y)'$ -signaal de  $I$ -component gelijk aan  $(R - Y)' \cos 33^\circ = 0,84 (R - Y)'$  en de  $Q$ -component gelijk aan  $(R - Y)' \sin 33^\circ = 0,54 (R - Y)'$ . Voor het  $(B - Y)'$  signaal is de  $I$ -component gelijk aan  $(B - Y)' (-\sin 33^\circ) = -0,54 (B - Y)'$  en de  $Q$ -component gelijk aan  $(B - Y)' \cos 33^\circ = 0,84 (B - Y)'$ .

Om dus het  $(R - Y)'/(B - Y)'$  assenstelsel in het  $I/Q$  assenstelsel over te brengen moeten de  $I$ - en  $Q$ -componenten worden opgeteld.

Hieruit ontstaat:

$$I = 0,84 (R - Y)' - 0,54 (B - Y)'$$

$$Q = 0,54 (R - Y)' + 0,84 (B - Y)'$$

Zet men voor  $(R - Y)'$ , resp.  $(B - Y)'$  de reeds eerder berekende waarden van de primaire componenten  $R$ ,  $G$  en  $B$  in de plaats (zie blz. 109) dan ontstaat:

$$I = 0,60 R - 0,28 G - 0,32 B$$

$$Q = 0,21 R - 0,52 G + 0,31 B$$

Met behulp van eenvoudige matrix- en optelschakelingen kunnen dus uit de drie primaire signalen  $R$ ,  $G$  en  $B$  het definitieve  $I$ - en  $Q$ -signaal worden samengesteld. Dit is nu werkelijk *het definitieve  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal*, waarmee de  $I$ -, resp.  $Q$ -hulpdraaggolf kan worden gemoduleerd en waarmee optimale resultaten kunnen worden verkregen. Zoals reeds werd gezegd, wordt de  $I$ -hulpdraaggolf gemoduleerd met een bandbreedte van 1,5 MHz en de  $Q$ -hulpdraaggolf met een bandbreedte van 0,5 MHz. Het  $I$ -signaal ligt in de kleurendriehoek volgens wens op de oranje/blauwgroen lijn, het  $Q$ -signaal op een overigens onbeduidende violet/geelgroen lijn.

Het spreekt vanzelf dat in de ontvanger door daartoe geëigende matrixschakelingen weer het  $(R - Y)$ , respectievelijk  $(B - Y)$  signaal uit het  $I$ -, resp.  $Q$ -signaal terug moet worden gewonnen.

Een eenvoudige berekening levert op:

$$(R - Y) = 0,96 I + 0,62 Q$$

$$(B - Y) = -1,10 I + 1,70 Q$$

Hierin is reeds begrepen de correctie van de in de zender met een factor 0,877

respectievelijk 0,493 verzwakte ( $R - Y$ ) respectievelijk ( $B - Y$ ) signalen. Uit de op deze wijze verkregen signalen wordt door ompoling en optelling in een eenvoudige matrixschakeling het ( $G - Y$ ) signaal verkregen, waarbij (zie blz. 106)

$$(G - Y) = -0,51 (R - Y) - 0,19 (B - Y)$$

In drie opteltrappen worden de signalen ( $R - Y$ ), ( $B - Y$ ) en ( $G - Y$ ) met het  $Y$ -signaal samengesteld, zodat de zuivere primaire signalen  $R$ ,  $G$  en  $B$  ontstaan, die nu kunnen worden toegevoerd aan de drie kanonnen van de weergeefbuizen.

### Slotopmerkingen

Hiermee is ook het laatste van de principiële problemen besproken en er zal nog slechts aan de hand van twee blokschema's een overzicht worden gegeven van de belangrijkste manipulaties enerzijds in het zendergedeelte, anderzijds in de ontvanger. Fig. 50 stelt het tot op het noodzakelijkste vereenvoudigde schema van de zender en fig. 51 dat van de ontvanger voor. Na de uitvoerige beschrijving is een verklaring van beide schema's welhaast overbodig. Nieuw daarin zijn alleen de vertragingsleidingen achter de filtertrappen. Iedere filtertrap betekent namelijk voor het toegevoerde signaal een zekere vertraging, waarbij de vertragingstijd des te groter wordt naarmate de bandbreedte van het filter kleiner is. Het 0,5 MHz-filter in het  $Q$ -kanaal heeft dus de langste vertragingstijd (meer dan 1  $\mu\text{sec}$ ), het 5 MHz-filter in het  $Y$ -kanaal de kortste (nauwelijks 0,1  $\mu\text{sec}$ ). Deze looptijdverschillen worden door het opnemen van vertragingsleidingen in het  $I$ -, resp.  $Y$ -kanaal gecompenseerd, waarbij het  $I$ -signaal enkele tienden  $\mu\text{sec}$ , het  $Y$ -signaal ongeveer 1  $\mu\text{sec}$  wordt vertraagd. De looptijdcompensatie is minder nodig voor het vermijden van echte kleurdekkingsfouten in het weergegeven beeld, dan wel hoofdzakelijk ter vermindering van een volkomen verkeerde kleurenweergave aan de verticale contouren in het beeld. Bij deze overgangen van de ene kleur op de andere zouden namelijk de verschillende optel- en matrixschakelingen volkomen oncontroleerbare resultaten opleveren.

Tot slot willen we de fig. 50 en 51 nog vergelijken met fig. 10 blz. 27. We zien hoeveel gecompliceerder het draadloze overbrengsysteem is in vergelijking met het kabelteleviesysteem.

Het gedeelte van de installatie, dat de door de correctieversterkers ge-



leverde  $R$ -,  $G$ -,  $B$ -signalen in de verschillende matrix- en optelschakelingen combineert tot  $Y$ -,  $I$ - en  $Q$ -signalen, de beide laatsten omvormt tot een dubbel gemoduleerde hulpdraaggolf en deze met het  $Y$ -signaal verenigt tot het volledige kleurensignaal, wordt *codeerder* genoemd, omdat deze de  $R$ -,  $G$ -,  $B$ -signalen in een code omzet, dat door de schakelingen in de ontvanger weer gedecodeerd wordt. Omgekeerd is de *decodeerder* het overeenkomstige deel van de ontvanginstallatie waarin uit het, na de gebruikelijke

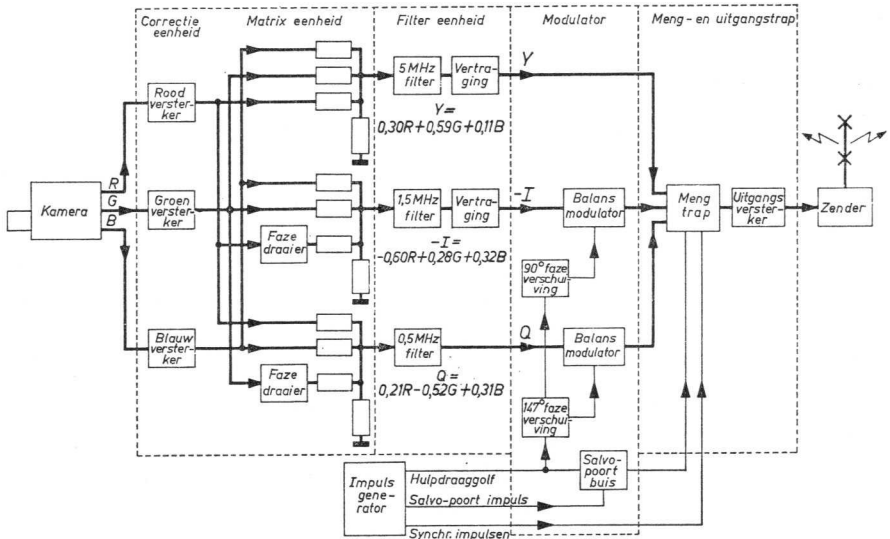


Fig. 50. Schema van de loop van het signaal in de zendinginstallatie.

A.M.-detectie, verkregen volledige kleurensignaal, na verschillende manipulaties weer het  $R$ ,  $G$  en  $B$  signaal wordt teruggewonnen. Men zal gemakkelijk inzien, dat vooral de codeerder en de decodeerder niet alleen hoge eisen stellen aan de theoretische kennis van de constructeur, maar ook aan zijn praktische ervaring om de beslist noodzakelijke stabiliteit, constantheid ten opzichte van de tijd en ongevoeligheid voor storingen te waarborgen.

Niettegenstaande de bewondering, die we koesteren voor het geniaal doordachte overbrengingssysteem blijft er toch ook nog het minder bevre-

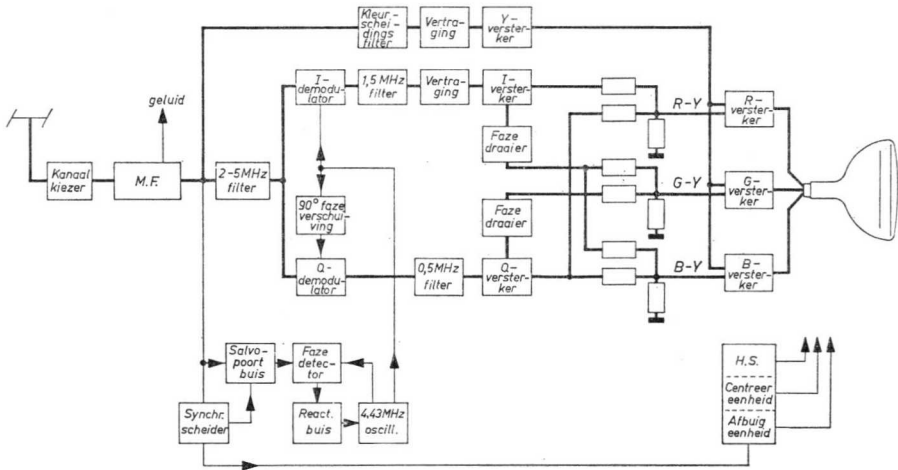


Fig. 51. Schema van de loop van het signaal in de ontvanger.

digende gevoel bestaan, dat al die enorme inspanning in hoofdzaak nodig was voor slechts twee verlangens. Ten eerste het onderbrengen van het kleurensignaal in de bestaande 7 MHz brede televisiekanalen en ten tweede de eis van de verenigbaarheid. Het is slechts te hopen, dat in de toekomst bij de verbreiding van de openbare kleurentelevisie ook in Europa, de industrie in staat zal zijn tegen redelijke prijzen ontvangers te bouwen, die voldoende stabiel en geautomatiseerd zijn om ook bij maandenlange ondeskundige bediening nog beelden weer te geven van bevredigende kwaliteit.



## INDEX

Aardmagneetveeld . . . . .	7	Golftheorie . . . . .	2
Additieve menging . . . . .	69	Grondkleur . . . . .	10, 28
Blauwinstelmagneet . . . . .	68	Grijstrap . . . . .	51
Burst (Salvo) . . . . .	94	Helderheid . . . . .	20
Candela . . . . .	22	Hoofdvlak . . . . .	40
C.B.S. (Columbia Broadcasting System) . . . . .	59	Hulpdraaggolf . . . . .	83
Chrominantiesignaal . . . . .	88	Huygens . . . . .	1
C.I.E. (Commission Internation d'Eclairage) . . . . .	10	I-signaal . . . . .	102
Closed circuit Television . . . . .	27	In-faze modulatie . . . . .	91
Codeerder . . . . .	118	Interferentielagen . . . . .	36
Complementaire kleuren . . . . .	8, 19	Kabeltelevisie . . . . .	27
Convergentiesysteem . . . . .	65	Kleurcoördinaten . . . . .	16
Corpusculaire theorie . . . . .	1	— dekkingsfouten . . . . .	52
Correctiemagneet . . . . .	71	— fouten . . . . .	46
Decodeerder . . . . .	118	— componenten 10 . . . . .	10
Dichroïtische spiegel . . . . .	33	— ontleding . . . . .	29
Dominerende golflengte . . . . .	17	— selectieve spiegel . . . . .	33
Dynamische convergentie . . . . .	66	— toon . . . . .	3, 20
Emanatie theorie . . . . .	1	— verzadiging . . . . .	20
Fazemodulatie . . . . .	91	— wisselingsmethode . . . . .	57
F.C.C. (Federal Communications Commission) . . . . .	61	— zuiverheid . . . . .	69
Flying spot scanner . . . . .	39	— zuiverheidsmagneet . . . . .	71
Footlambert . . . . .	25	Kleurendriehoek . . . . .	15
Frequentievervlechting . . . . .	82	— televisieprojectie . . . . .	75
Gammacorrectie . . . . .	47	Komptabiliteit . . . . .	61, 79
Gezichts bewustzijn . . . . .	9	Lichtsterkte . . . . .	21
		Lichtstipaftaster . . . . .	39
		Lichtstroom . . . . .	11, 22
		Lineariteit . . . . .	47
		Luchtbeeld . . . . .	42
		Lumen . . . . .	11, 22

Luminantie . . . . .	25	R.C.A. (Radio Corporation of America). . . . .	59
— signaal . . . . .	79	Salvo (burst) . . . . .	94
Luminoforen . . . . .	19	Schaduwmaskerbuis . . . . .	63
Lux . . . . .	26	Simultaanmethode . . . . .	61
Lijnwisselsysteem . . . . .	61	Spectrale kleur . . . . .	3
Matrixschakeling . . . . .	81	Standaardwit . . . . .	17
Mengkleur . . . . .	3	Statische convergentie . . . . .	66
Newton . . . . .	1	Steuvlakmaat . . . . .	41
— ringen . . . . .	36	Stilb . . . . .	25
Nit . . . . .	25	Subjectieve helderheidsindruk . . . . .	21
Notchfilter . . . . .	88	Subtractieve kleurmenging . . . . .	4
N.T.S.C. (National Television System Committee) . . . . .	62	Synchroon-demodulator . . . . .	99
Onzuivere kleur . . . . .	3	Trichromatische kleurcoëfficiënten . . . . .	12
Ooggevoeligheidskromme . . . . .	13, 81	Ultravioletstralen . . . . .	14
Photomultiplier . . . . .	39	Verenigbaarheid . . . . .	61, 79
Polarisatieverschijnselen . . . . .	37	Verlichtingssterkte . . . . .	26
Primaire lichtsoort . . . . .	10	Verzadigde kleuren . . . . .	3
Puntwisselsysteem . . . . .	61	Warmtestralen . . . . .	14
Purperkleuren . . . . .	3	Werkafstand . . . . .	41
Q-signaal . . . . .	102	Witpunt . . . . .	17
Quadratuur-modulatie . . . . .	91	Y-signaal . . . . .	79
Quantummechanica . . . . .	2	Zwarte lichaam . . . . .	22