http://www.intermedia.c3.hu/oktanyag/video/videoeshangrendszerek/

http://www.intermedia.c3.hu/oktanyag/video/videotetelek.htm

1. Tv-rendszerek

1.1. A fény, a szín és a látás a tv-technika szemszögébõl

Darwin A fajok eredete c. könyvében a következõket írja: "Az a feltevés, hogy a szem utánozhatatlan szerkezetének, a látásélességet a különbözõ távolságokhoz igazító, a különbözõ fénymennyiségeket átengedõ, valamint a szferikus és kromatikus hibákat kiküszöbölõ képességének természetes kiválasztódás útján kellett kialakulnia, be kell vallanom, elég lehetetlennek tûnik. "Darwin e kissé misztikus kijelentésébõl mindenesetre jól érzékelhetõ, hogy a szem rendkívül bonyolult erzékelõ "szerkezet", amely az adatfeldolgozó aggyal együttmûködve képessé teszi az embert környezetének optikai leképezésére. Ez a leképezés azonban szubjektív, azaz az emberben kialakuló érzet az érzékelés - az agy által végzett adatfeldolgozás - eredménye.

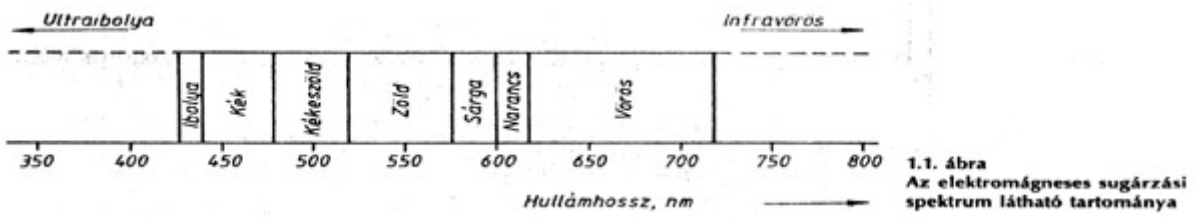
A gyors folyamatokat az emberi látószerv nem képes felbontani, a folyamatok összefolynak. A szem, a látóidegek és az agy együttesen biztosítják a fény- és színérzékelést. Ezek a szervek szubjektíven érzékelik a színt, ily módon színérzetrõl beszélhetünk.

A tv-képalkotás kifejezetten az emberi látásérzet tulajdonságaira épül. Képzeljük csak el, mit érzékelne egy "tökéletes" látású földön kívüli "szuperlény" vagy akár egy földi rétisas, ha az ember által szerkesztett tv-képet szemlélné! Még a rétisas is igen nagy gondban lenne, mivel látása sokkal érzékenyebb a képi állapotok változására, mint az emberé. A tv-képernyõn egy vízszintes irányban, bizonyos rendszer szerint "rohangáló" fénypontot látna, ami a tetejében még a sor-, ill. a képkioltás alatt el is tûnik és villog. Szerencsére látószervünk a futó fénypont által befutott felületet Egységes képnek érzékeli.

A világ bármely tv-rendszerét vizsgálva megállapíthatjuk, hogy tervezésekor a fentieket vették alapul. Meglehetõsen bonyolult a látásérzet határainak pontos kitapogatása. A színes tv-rendszerek megjelenésekor ez okozta a legnagyobb gondot, ugyanis a színinformációval kibõvített tv-rendszereknek kompatibilitást (összeférhetõséget) kellett biztosítaniuk a fekete-fehér rendszerekkel, azaz a meglevõ fekete-fehér készülékekkel a mûsornak vehetõnek kellett maradnia. Ezt csak úgy lehetett megvalósítani, hogy a járulékos színinformációt a fekete-fehér kép spektrumába "beleszõtték". Ez a kényszermegoldás zavaróeffektusokhoz vezetett (cross colour, moiré). Az utóbbi idõben kifejlesztett nagy felbontású tv (HDTV = High Definition Television) és az új képátviteli rendszerek - amelyeket a mûholdas sugárzásban is alkalmaznak -, mint pl. a MAC (Multiplexed Analogue Components) rendszer, már tökéletesen kiküszöbölik a három fõ színes rendszer (PAL, SECAM, NTSC) hiányosságait.

A fény kettõs természete

Az elmúlt évszázadokban a tudósok több hibás elméletet állítottak fel a fénnyel kapcsolatos jelenségek fizikai magyarázatára. Századunk elején ismerte csak fel a tudomány a fény valódi tulajdonságait. A kísérletek bizonyították, hogy a fény sajátosan kettõs természetû, bizonyos körülmények között hullámként, máskor részecskeként viselkedik. Egyrészt tehát kiderült, hogy a fény elektromágneses hullám, amelynek hullámhossza az elektromágneses sugárzási spektrum kb. 380 nm és 780 nm közötti tartományában helyezkedik el. Valójában e tartományból az emberek többsége a 420 nm és 720 nm közötti fényhullámokat érzékeli (1.1. ábra).



1.1 ábra Az elekromágneses sugárzási spektrum látható tartománya

Ez a tartomány az elektromágneses sugárzási spektrumnak csak töredékét alkotja az infravörös és az ultraibolya sugárzás között. A legkisebb frekvenciájúak a vörös színek, majd a frekvencia növekedésével a narancs, a sárga, a zöld, a kékeszöld, a kék színen keresztül az ibolya képviseli a legnagyobb frekvenciát a látható tartományban.

A fény részecsketulajdonságát Planck kvantumelmélete írja le, amely kimondja, hogy a fénykibocsátás és -elnyelés nem folytonosan, hanem "energiaadagokban" (kvantumokban) történik. Az f frekvenciájú sugárzáshoz tartozó energiakvantum $W = hf$, ahol h a Planck-állandó.

Einstein az energiakvantumokat fotonoknak nevezte el, amikor magyarázatot adott a fényelektromos jelenségre. A klasszikus hullámelmélet ugyanis teljesen csõdöt mondott a fényelektromos jelenség értelmezésekor. (Fényelektromos jelenség akkor lép fel, ha egy fém- vagy félvezetõ felületet megvilágítva a fény hatására elektronok lépnek ki a felületbõl.) A klasszikus hullámelméletbõl kiidulva (amely az interferencia és a fényelhajlás jelenségét értelmezni tudta) képtelenség volt megmagyarázni, hogy miért független a kilépõ elektronok energiája a fényhullám intenzitásától (az csak az elektronok számát befolyásolja!), viszont közvetlen összefüggésben van a fény frekvenciájával, azaz színével. Einstein zseniális felismerése volt, hogy a fényenergia az anyaghoz hasonlóan "atomos" (részecske-) szerkezetû, s legkisebb "atomja" a foton. A foton energiája fordítottan arányos a hullámhosszal, azaz a különbözõ színû fények fotonenergiája eltérõ. Einstein szerint a fotonoknak nyugalmi tömegük nincs. Tömegük csak fénysebesség mellett értelmezhetõ. Azaz a foton tömege:

$$m = W/c^2 = hf/c^2,$$

ahol W a foton energiája, c a fénysebesség. Einstein fotonelmélete kitüntetett jelentõségû a tv-technikában is. Ezzel az elmélettel magyarázhatók azok a fényelektromos jelenségek, amelyek a felvevõcsövekben, ill. újabban a CCD (Charged Coupled Device) típusú

szilárdtest-képérzékelõkben játszódnak le, a fény-energia elektromos energiává való átalakításakor.

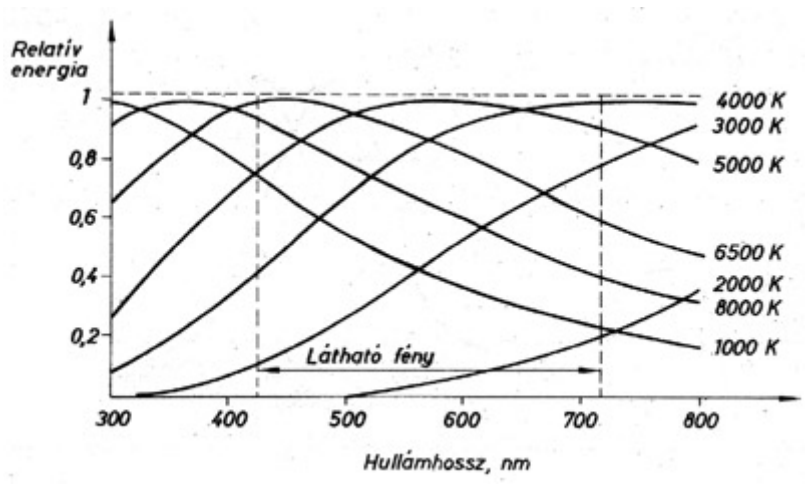
Ennek a folyamatnak sajátossága, hogy az atomból csak akkor lép ki elektron, ha a foton *hf* energiája megegyezik az atomra jellemzõ ún. gerjesztési energiával, vagyis csak meghatározott frekvenciájú fény beesése esetén lép fel fotoeffektus.

A szín

Fényforrások színhõmérséklete

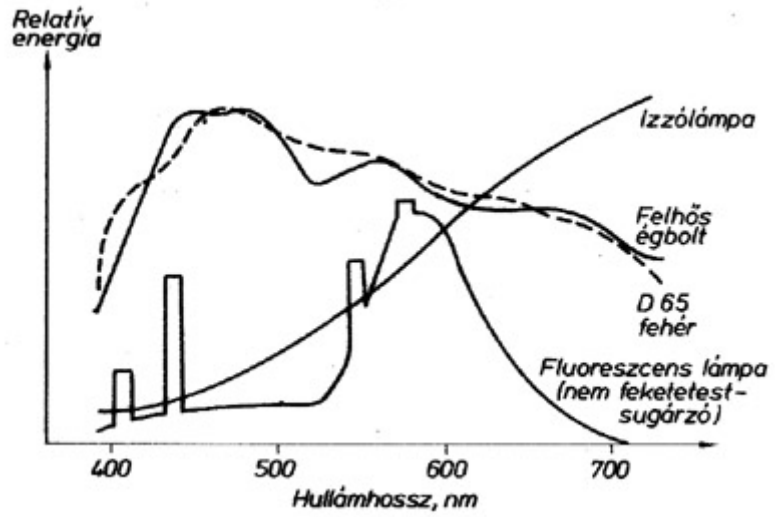
A nagy hõmérsékleten izzított testek fényt bocsátanak ki, amelynek színe függ az izzított tárgy hõmérsékletétõl. A kibocsátott fényenergia hullámhossz szerinti függõségét spektrális eloszlásnak vagy spektrumnak nevezzük.

A színhõmérséklet meghatározására vezessük be a fizikából jól ismert feketetest fogalmát! A feketetest olyan sugárzó, amely minden rá esõ sugárzást (energiát) elnyel. A feketetest sugárzásának spektrális eloszlása a Planck-törvényt követi (a görbe folytonos), és a hõmérséklettol függõen változik, de adott hõmérsékleten mindig azonos. (A kisugárzott fény színe kis hõmérsékleten vörös, majd emelve a hõmérsékletet, sárgás, fehér, majd kék színû lesz.) A feketetest hõmérséklete tehát kielégítõ információt ad a spektrális eloszlásra vonatkozóan, és ily módon adott színû fényt a test hõmérséklete alapján pontosan reprodukálhatunk. Bevezetjük a színhomérséklet fogalmát, amely a a fény színhatását pontosan jellemzõ adat. Az 1.2. ábrán is látható, hogy a spektrum a legkiegyenlítettebb az 5500 K körüli hõmérsékleten, s formája hasonlít a napfény spektrális eloszlásához. (A szaggatott vonallal jelölt egyenes az ún. egyenlõ energiájú fehérnek felel meg.)



1.2. ábra A Plank-féle feketesugárzó energiaeloszlása különbözõ hõmérsékleteken

Az 1.3. ábrán különbözõ fényforrások energiájának spektrális eloszlása látható.

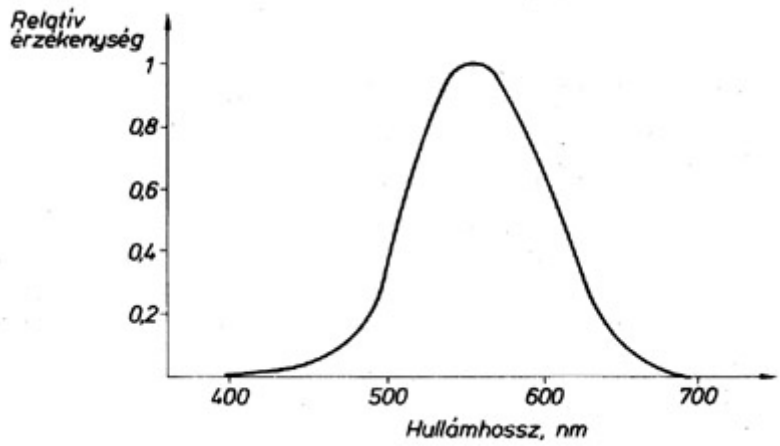


1.3. ábra Különféle fényforrások spektrális energiaeloszlása

A feketetest széles sávban sugározza energiáját (mint általában a természetes és mesterséges fényforrások többsége). Egyes mesterséges fényforrások - a fénycsõ, a gázkisülésû csövek (nátriumlámpa, higanygõzlámpa, fémhalogénlámpa stb.) - fényének spektruma erõteljes vonalakat, ill. lyukakat tartalmaz. Ma már létezik egy olyan rnesterséges fényforrás, a lézer, amely energiáját rendkívül koncentráltan, egyetlen hullámhosszon és rendezetten adja le. Ezért a lézert koherens fényforrásnak nevezzük. A lézer és az elõbb említett fényforrások fénye nem jellemezhetõ a színhõmérséklettel.

A színlátás

Az emberi szem az elektromágneses sugárzás spektrumának csak szûk tartományát észleli, ráadásul még a látható spektrumot sem érzékeli egyenletesen. A szem érzékenységi diagramján (1.4. ábra) jól követhetõ, hogy a görbének a zöld színnek megfelelõ hullámhossz környékén maximuma van. (Ebben a tartományban található egyébként a napsugárzás energiamaximuma is.) A diagramot sok ember szemének érzékenységi görbéjét átlagolva szerkesztették, így a diagram az átlagos emberi szem spektrális érzékenységét jellemzi. Érdemes megemlíteni, hogy a görbe alakja nem változik jelentõsen a fényerõsség függvényében.

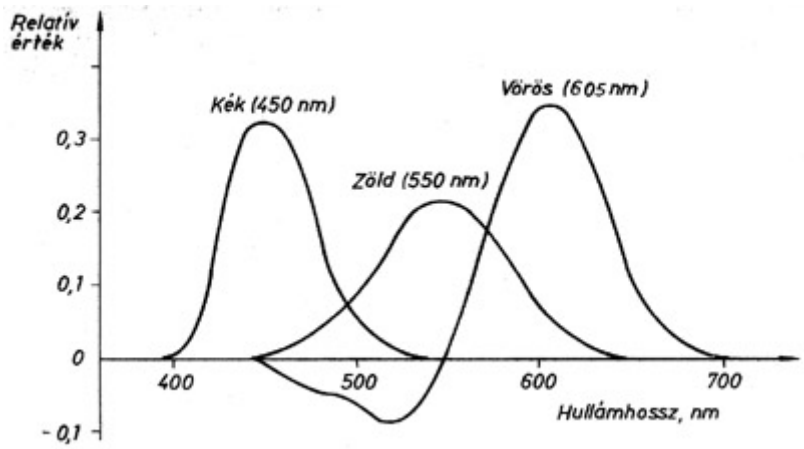


1.4. ábra Az átlagos emberi szem spektrális érzékenysége (CIE)

Fizikai tanulmányainkból jól ismert a népszerû kísérlet: ha a közel ideális fehér fénynek tartott, kb. 5500 K-es napfényt megfelelõ szögben egy prizmára bocsátjuk, akkor a fehér fény összetevõire, azaz spektrális színekre bomlik fel. A színek átmeneti tartományai nem különböztethetõk meg egymástól, mivel a napfény energiájának hullámhossz szerinti eloszlása gyakorlatilag folytonos. Ha azonban a színspektrumot laboratóriumi körülrnények között egy keskeny résen át szemléljük, hozzávetõlegesen 350 különbözõ színt érzékelhetünk. Ebbõl arra következtethetnénk, hogy szemünk kb. 350 különbözõ receptorral (érzékelõvel) rendelkezik, amelyek mindegyike csak egy igen keskeny színsávban mûködik. A valóságban azonban nem ez a helyzet! A tudomány mai állása szerint szemünkben három különbözõ típusú színérzékelõ van.

A szem recehártyáján elhelyezkedõ fényérzékelõk (receptorok) a bíborfolyadékban lejátszódó fotokémiai reakció segítségével az idegszálakon keresztül információkat továbbítanak az agy megfelelõ részeibe. A receptorok egyik fajtája, az ún. *pálcikák* rendkívül érzékenyek, így elsõsorban a gyenge fény felfogására alkalmasak, és nagy felbontást biztosítanak (fekete-fehér formában). A szín feldolgozásában feltehetõleg nem játszanak szerepet. A színes látást az ún. *csapok* biztosítják, amelyekbõl - mint mondottuk - három különbözõ típus létezését tételezik fel. A kék és vörösérzékelõ tulajdonságai ismertek, a zöldérzékelõ tulajdonságait illetõen feltételezések vannak.

Három monokromatikus fény összekeverésével a spektrum valamennyi színárnyalata kikeverhetõ. A CIE e fényeket 1931-ben szabványosította. Meghatározták, hogy egy-egy spektrumszín elõállításához milyen arányban kell keverni õket. Az eredményt az 1.5. ábrán láthatjuk (spektrális alapszín-összetevõ függvények). Az ábrán jól követhetõ, hogy a látható spektrum szélsõ értékeit kivéve a görbék átfedik egymást.



1.5. ábra A spektrális alapszín-összetevõ függvények (CIE-1931)

A hullámhossznak megfelelõen az ember 300...500 színárnyalatot tud megkülönböztetni. Ezek a telített színek. A szín telítettségének változása szubjektív színérzetváltozást okoz, ami kb. 50...150-szeresére növeli az érzékelt színek számát.

Az, hogy a szem nem egyformán érzékeny a spektrum színeire, bonyodalmakat okozott a fekete-fehér tévérendszereknél. A probléma magva a következo: a spektrum színeit általában különbözõ sötétségûnek látjuk, de vannak olyanok, amelyeket egyformának. A fekete-fehér tv-rendszernek ilyen esetben a szürkeértékeket kell közvetítenie, holott más-más színekrõl van szó. Annak érdekében, hogy azok a színárnyalatok legyenek egyforma szürkeértékûek a képernyõn, amelyeket egyforma sötétségûnek is látnánk, a tv-kamerák felvevõcsövének átvitelét megfelelõ szûrõkkel úgy kellett kialakítani, hogy az legalább közelítõleg kövesse a szem spektrális érzékenységi görbéjét.

Az elsõ színes tv-rendszer kialakítása során (amelynek kifejlesztésében a CBS magyar származású kutatómérnöke, Goldmark Péter, úttörõ szerepet vállalt!) mélyreható vizsgálatokat folytattak a szem különleges tulajdonságaira vonatkozóan. Az eddigieken kívül kiderült egy igen fontos dolog, nevezetesen az, hogy a szem színfelbontó képessége lényegesen gyengébb, mint a világosságrészleteket (akromatikus) megkülönböztetõ képessége. Azaz, az apró színrészleteket (amelyek nagyobb frekvenciának felelnek meg a tv-jelátvitelben!) összetéveszti a hasonló fényességû szürkével. Tehát bizonyos méretû pontstruktúrán túl már nem érzékeli a szín, csak a szürkeérték változását. Ez a "színtévesztés" természetesen nem független a szem spektrális érzékenységétõl (l. az 1.4. ábrát). Azaz az 550 nm körüli zöld színt téveszti össze a szürkével legkésõbb; a legtöbb részletet ebben a színtartományban érzékeli. A szem korlátozott színfelbontó képességére vonatkozó felismerés jelentõsen befolyásolja a színes rendszerek kialakítását. A vizsgálatok azt jelezték, hogy a kép színtartalmát képviselõ információt nem kell teljes sávszélességgel (részletgazdagsággal) átvinni. Ezért a színinformáció sávszélességét kb. 1 MHz-re korlátozták. Az utóbbi idõben viszont egyértelmûvé vált, hogy az 1 MHz sávszélesség nem felel meg a korszerû tv-jelátvitel követelményeinek, egyéb zavaróeffektusokról nem is beszélve (pl. a világosságjel-színjel-keresztmoduláció). Az újabban kifejlesztett tv-átviteli rendszerek, mint pl. a MAC, már mentesek a korábbi rendszerek említett hiányosságaitól.

Színkeverés

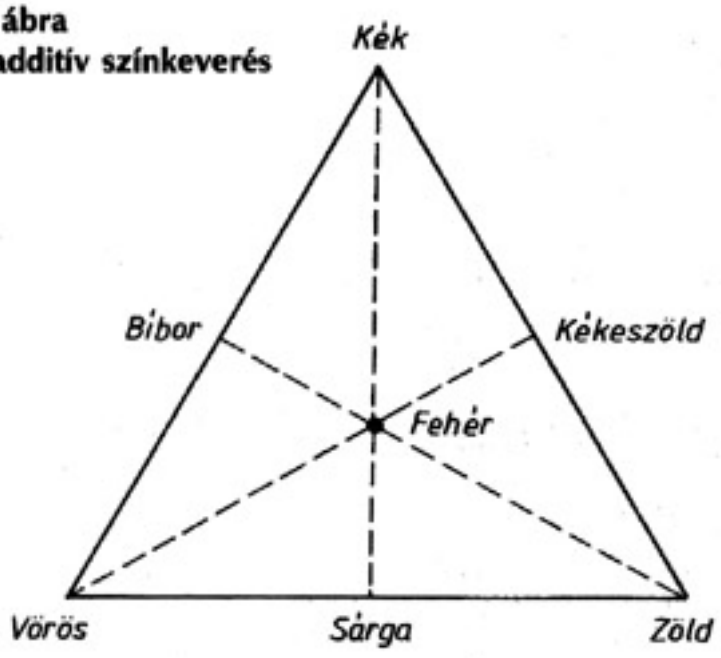
Az elõzõekben láthattuk, hogy az optikai prizma a fehér fényt spektrális színekre bontja fel. Ha ezeket a színeket megfelelõ módon összegezzük, újra elõállíthatjuk a fehér fényt. A színelmélet szerint a szem három különbözõ típusú színreceptorának gerjesztésével gyakorlatilag bármely szín érzékelhetõ. Pl. az 589 nm hullámhosszúságú sárga szín csak a zöld és a piros csapokat aktiválja (l. az 1.5. ábrát). Következésképp hasonló színérzet keletkezik, ha a zöld és a vörös fényt megfelelõ arányban összekeverjük.

A színes tv-technikában a szem három színérzékelõ csaptípusával összhangban a piros (*R* = red) a zöld (*G* = green) és a kék (*B*=blue) alkotja az alapszíneket. Ezek keverékébõl bármely, a gyakorlatban használt szín elõállítható. A szín elõállításának ezt a formáját *additív* vagy összegezõ típusú színkeverésnek nevezzük. A tv-készülék képcsöve is additív színkeverés útján állítja elõ a különbözõ színeket.

Az 1.6. ábrán egy háromszög segítségével szemléltetjük az összegezõ típusú színkeverést. A háromszög csúcsain helyezkednek el az alapszínek, a csúcsokat összekötõ oldalakon pedig a keverékszínek. Pl. a sárga (az elõbbieknek megfelelõen) a vörös és a zöld között foglal helyet. Mindhárom alapszínt összegezve, fehéret kapunk eredményül, amely a háromszög középpontjában helyezkedik el.

Ha két szín additív keveréke fehéret ad, akkor ezek a színek egymásnak *komplementer* vagy kiegészítõ színei. Az alapszínek komplementer színei a kékeszöld (cián), a bíbor és a sárga, mivel a kékeszöld a vörössel, a bíbor a zölddel és a sárga a kékkel fehéret hoz létre.

1.6. ábra
Az additív színkeverés



R + G = Sárga

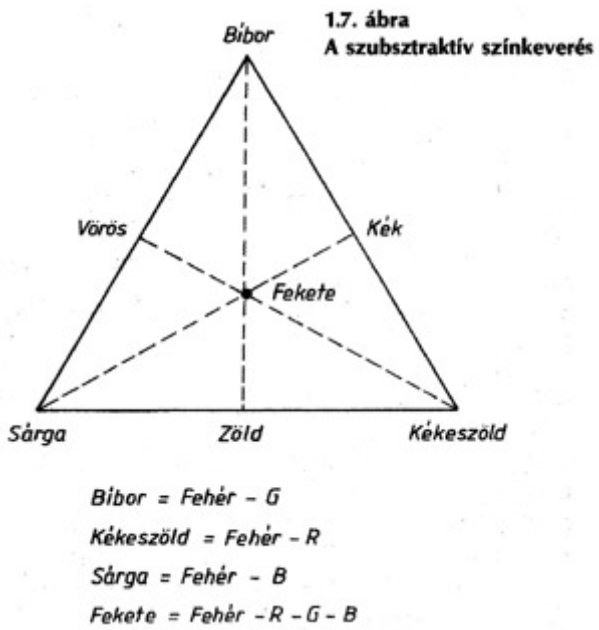
R + B = Bíbor

G + B = Kékeszöld

R + G + B = Fehér

A festészeti, fotográfiai ismeretekkel rendelkezõk bizonyára kételkednek a színek elõállításának ilyen módjában. A festészetben ui. pl. a sárga alapszínnek számít, és a zöld és a vörös keveréke sohasem sárga, hanem sötétbarna vagy fekete lesz. Ez esetben azonban nem additív, hanem ún. szubtraktív vagy kivonó típusú színkeverésrõl van szó, amelyre másfajta szabályok érvényesek. A sárga festék pl. elnyeli a kék fényt és visszaveri a zöldet és a pirosat, ezért látjuk sárgának. A sárga színszûrõ is hasonlóan mûködik: elnyeli a kék színt, átengedi a zöldet és a pirosat. A videokamerák technológiájában ezt a tulajdonságot kitûnõen fel is használják.

Az 1.7. ábra a szubtraktív színkeverést szemlélteti, az elõzõekhez hasonlóan színháromszöggel. Látható, hogy az addítív színkeverés során használt alapszínek jelen esetben komplementer színek, ill fordítva. Sárga bíbor és kékeszöld színt úgy állítunk elõ, hogy a fehérbõl kivonjuk a kéket, a vöröset és a zöldet. A szubtraktív színkeverésnél a festékeket keverjük, és nem a fényeket, mint az additív keverés esetén. A festékek összekeverése a fényelnyeléseket (kivonásokat) összegezi.



1.7. ábra
A szubsztraktív színkeverés

A CIE színdiagram

Az *RGB* háromszög alapján nem állítható elõ a természetes spektrum minden színe. Egyes színek elõállításakor abba a nehézségbe ütköznénk, hogy két alatpszín összegét és a harmadik különbségét kellene képeznünk. (Erre utal az 1.5. ábrán a vörös összetevõ negatív szakasza!) Negatív fénynek azonban fizikai értelme nincs, így a CIE (Comission Internationale de L'Eclairage = Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság) bevezette azt a színháromszöget, amelynek csúcspontjai ún, szupertelített színeket reprezentálnak. Az 1.8. ábrán az *X*, az *Y* és a *Z* pont fiktív, a gyakorlatban nem realizálható szín (a "szupertelített" vörös, zöld és kék színnek felelnek meg). Ezeket a pontokat úgy választották meg, hogy a spektrum színei pozitív elõjelû alapszínek összegeként adódjanak.

Egyébként az egyes színeket pontosan egy háromdimenziós térvektor határozza meg, amelyet a három spektrális színösszetevõ képvisel. A színek térbeli ábrázolása azonban igen körülményes, így a térgörbébõl kétszeres transzformációval állították elõ a gyakorlatban kitûnõen használható CIE színdiagramot, amellyel az *x, y* koordináták alapján minden szín azonosítható.

A CIE diagram jellegzetes, patkó alakú görbéje a spektrális színeket köti össze. A görbe két végpontját *(R, B)* összekötõ nevezetes vonal a bíborvonal, amely nem monokromatikus, hanem keverék színeket képvisel. A *W*-vel (white) jelölt pont a referenciafehéret képviseli. A 100%-os telítettségû spektrális színektõl (*R, G, B* pontok) egy egyenes mentén a *W* pont felé haladva a szín telítettsége csökken, de a színárnyalat nem változik. A *W* pont után a nevezett szín komplementer színe következik. A vörös, zöld és kék zónák tartománya meglehetõsen tág. A színek reprodukálhatósága érdekében a CIE 1951-ben meghatározta a választott *R, G, B* alapszíneknek megfelelõ hullámhosszakat:

$$\lambda_R = 700 \text{ nm},$$
$$\lambda_G = 546{,}1 \text{ nm},$$
$$\lambda_B = 435{,}8 \text{ nm},$$

A színes tv-képcsövek gyártási technológiája azonban más alapszíneket követelt. A cél az volt, hogy az alapszíneket elõállító foszforpontokat egyenlõ energiájú elektronsugárral gerjesztve azok fehér színt hozzanak létre. További szempont volt, hogy a patkón belül elhelyezkedõ 3 alapszín pontjai között a lehetõ legnagyobb terület legyen. Ezek alapján az FCC (Federal Communication Commission) az NTSC rendszer bevezetésével egyidejûleg (1953-ban) bevezette a 6770 K színhomérsékletû, ún. *C* fehéret és az ehhez tartozó

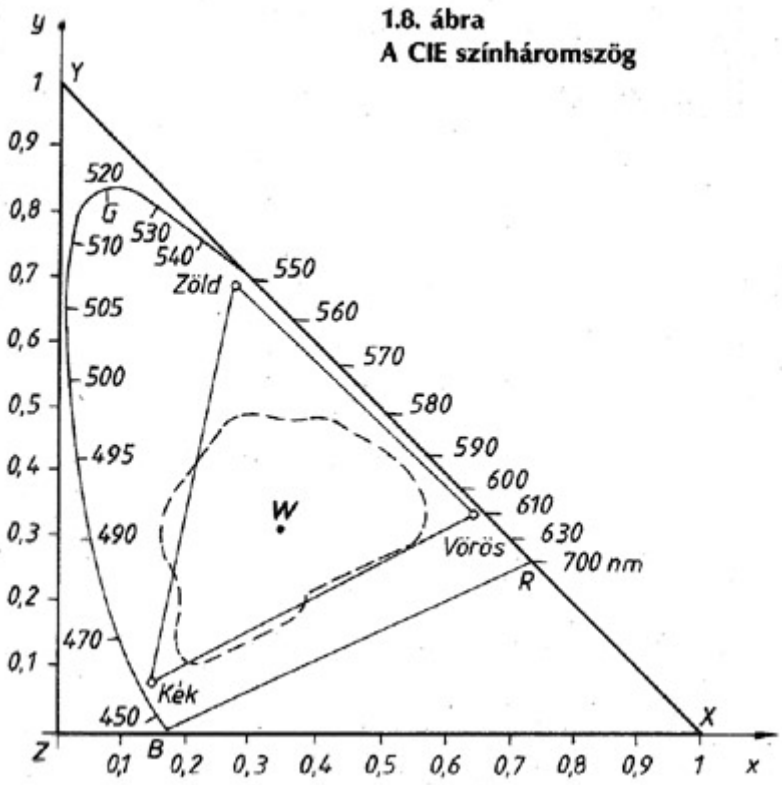
$$\lambda_R = 615 \text{ nm},$$
$$\lambda_G = 532 \text{ nm}$$
$$\lambda_B = 470 \text{ nm}$$

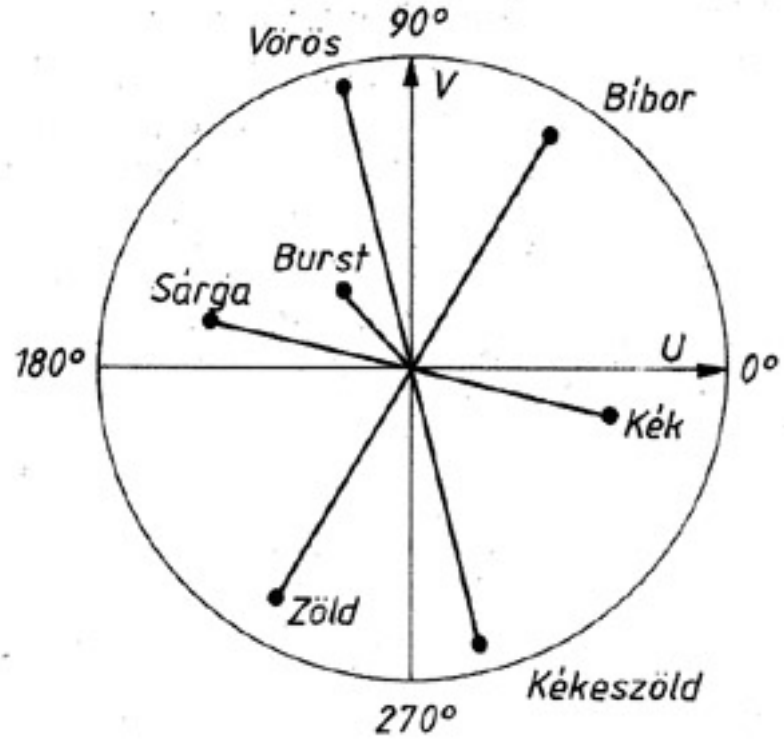
hullámhosszakat. Ez a referenciafehér idõközben többször módosult (8500 K, 9300 K), annak érdekében, hogy a képcsövek nagyobb fénysûrûséget legyenek képesek elõállítani. Napjainkban a 6504 K színhõmérsékletû, ún. D_{65}fehéret használják az EBU (European Broadcasting Union) szabványa alapján. A színek hullámhosszai:

$$\lambda_R = 610 \text{ nm},$$
$$\lambda_G = 550 \text{ nm}$$
$$\lambda_B = 470 \text{ nm}.$$

A zöld az elõzõekhez képest lényegesen telítettebb irányba tolódott el. A patkóba rajzolt háromszög szemlélteti tehát a színes tv-rendszer által reprodukálható színek halmazát. Elsõ pillantásra úgy tûnik, hogy a színes tv színátvitele meglehetõsen szegényes, a gyakorlatban azonban elég jól követi a természetben elõforduló színeket. A szaggatott görbe az 1.8. ábrán az egyéb színes rendszerekkel - mint pl. a fénykép, a film, a színes nyomtatás stb. - reprodukálható színeket jelzi. Látható, hogy a színes tv lényegesen bõvebb színtartományt ölel fel.

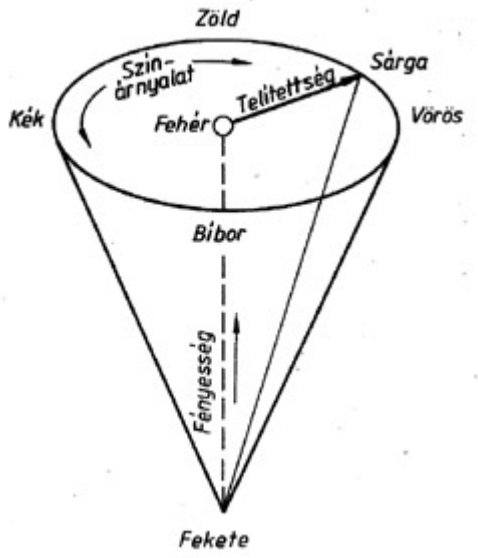
1.8. ábra
A CIE színháromszög





1.9. ábra
A 100%-os színsávok vektordiagramja

A tv-stúdiótechnikában a színhárornszög helyett az ún. színkört használjuk, amelyet vektorszkóppal jelenítünk meg (1.9. ábra). A diagram az alap- és a komplementer színeket ábrázolja a PAL tv-jel *n*-edik sorában (100%-os *color bar*). Az egyes színek a referenciatengelyhez (*U* tengely) viszonyított szöggel határozhatók meg, tehát vektorok. A telítettség a középponttól mért távolság függvénye. A gyakorlatban az ábra nem egészen így fest, mivel a PAL rendszer tulajdonságainak megfelelõen a színsegédvivõ fázisa 180°-kal, a burst fázisa pedig 90°-kal megváltozik az (n + 1)-edik sorban. Ily módon a színvektorok is változnak, majd a vektorszkóp az n + 1-edik megváltozott állapotot egyberajzolja az n-edikkel, ill. szemünk a két állapotot egynek látja. A telítettség, a színárnyalat és a fényerõ (fényesség) viszonyát az 1.10. ábra érzékelteti.



1.10. ábra
A fényesség, a színárnyalat és a telítettség viszonya

10. A földi mûsorszóró színes televízió-képátvitel rendszertechnikája

A színes televízió-képátvitel kifejlesztésére és bevezetésére az igény mindenütt akkor merült fel, amikor a fekete-fehér tv a kérdéses országban, ill. földrészen már hosszú évek óta üzemben volt, és a használatban levõ fekete-fehér vevõkészülékek száma igen tekintélyesre növekedett. Ez a tény alapvetõen befolyásolta a színes képátvitel rendszertechnikáját, hiszen erre már többször is rámutattunk: a már meglevõ tv-vevõkészülékek tulajdonosait nem lehetett és ma sem lehet arra kényszeríteni, hogy egy új szolgáltatás, a színes tv bevezetése kedvéért dobják el fekete-fehér vevõiket, és vásároljanak jóval drágább színes vevõt. Az elmúlt idõszak teljesen igazolta az annak idején meghozott döntést, ami csak olyan színes rendszertechnika bevezetését engedte meg, amely összeférõ rendszert alkot a korábbi fekete-

fehér képátviteli rendszerrel. Más szavakkal ez az összeférõség vagy kompatibilitás azt jelenti, hogy egyrészt a régi fekete-fehér tv-vevõk minden változtatás nélkül használhatók az új rendszerben sugárzott színes mûsorok vételére (természetesen a színes mûsor ezeken a vevõkön fekete-fehérben jelenik meg), másrészt viszont a színes tv-vevõk természetesen alkalmasak arra, hogy a "hagyományos", nem színesben sugárzott tv-mûsorokat is venni tudják, természetesen fekete-fehérben.

Visszatekintve a mûsorszóró televízió fejlõdésének erre a szakaszára sajnálattal kell megállapítani, hogy nem sikerült megvalósítani az egységes színes tv-rendszertechnikát még azokban az országokban sem, ahol a fekete-fehér képátviteli rendszer legfontosabb paraméterei (tv-sorszám, félképfrekvencia) egyébként azonosak. A jelenlegi helyzet az, hogy három különbözõ színes tv-képátviteli rendszer terjedt el. Az alábbiakban idõrendi sorrendben foglaljuk össze a színes tv fejlõdésének számunkra érdekesebb lépcsõit.

1949: A Nemzeti Televízió Rendszer Bizottság (NTSC) az USA-ban kidolgozta a színes mûsorszóró tv-képátvitel egy gyakorlati megoldását, és azt a Bizottság angol nyelvû kezdõbetûivel (National Television System Committee) NTSC rendszernek nevezte el.

1953: Megteremtve, a színes tv-mûsorszórás alapjait, az USA-ban megkezdõdik az NTSC rendszerû színes tv-mûsorszórás.

1957: A francia nemzetiségû Henry de France nyilvánosságra hozta az általa feltalált új színes képátviteli rendszert, amelyet a francia nyelv (Séquentiel A Mémoire) alapján SECAM rendszernek nevezett el (tárat tartalmazó szekvenciális rendszer).

1961: Walter Bruch (NSZK) bejelenti az általa kifejlesztett új színes képátviteli rendszert, amelyet az angol nyelv alapján (Phase Alternation Line) PAL rendszernek nevezett el (soronkénti fázisváltós rendszer).

1964: Az Európai Mûsorszóró Unió (European Broadcasting Union: EBU) keretében a három színes átviteli rendszert (NTSC, SECAM, PAL) összehasonlítják, értékelik.

1965: A Nemzetközi Rádióhírközlõ Bizottság (Comité Concultatif International de Radio Communications, CCIR) Bécsben ülésezik, hogy egész Európára egységes színes tv-rendszert válasszon. A megbeszéléseken nem születik végleges döntés.

1966: A CCIR Oslóban újra megkísérli az egységes európai színes tv-rendszer létrehozását, de sajnos nem jön létre megegyezés. A televíziózás terén legfejlettebb nyugat-európai államok többsége úgy dönt, hogy nem vár tovább. Õk a PAL rendszert választják, és a hatalmas televízió-iparág megkezdi a színes tv-re való áttérést, megindulnak a kísérleti adások.

1967: Az NSZK-ban megkezdõdik a rendszeres PAL rendszerû színes tv-mûsorsugárzás, ugyanekkor Franciaország bevezeti a SECAM rendszert.

1968: Elsõ kísérletképpen képmagnóra rögzített SECAM színes mûsort sugárzott a budapesti tv-adó.

1969: Megkezdõdött a kísérleti SECAM színes mûsorsugárzás az UHF sávban mûködõ budapesti adóberendezéssel.

1971: A 2. mûsor bevezetésével egyidejûleg megszûnik a színes mûsorsugárzás kísérleti jellege, és Magyarországon mind az 1., mind a 2. mûsor keretében megindul a színes mûsorok sugárzása.

1984: A Magyar Televízió valamennyi stúdiója csak színes mûsort gyárt. A vidéki körzeti stúdiók berendezéseinek színesre való kicserélése is kezdetét veszi.

Az 1984-es helyzetnek megfelelõen az NTSC rendszert 27, a PAL rendszert 53, a SECAM rendszert 30 ország vezette be, ill. alkalmazza.

Azokban az országokban, ahol csak ezután döntenek a színes tv-rendszer bevezetéséröl, valószínû, hogy a PAL és a SECAM közül fognak választani. Ez a választás az elektronika mai fejlettségi fokát figyelembe véve már nem a mûszaki paraméterektõl függ, hanem egyéb, elsõsorban gazdaságpolitikai megfontolások a döntõek. A technikai részleteket a soron következõ fejezetekbõl meg fogjuk ismerni, és belátható lesz az, hogy jelenleg már nincs számottevõ muszaki elõnye vagy hátránya egyik színes tv-átviteli rendszernek sem a másik kettõhöz képest. Az azonban nyilvánvalóan nem elhanyagolható a rendszer kiválasztása szempontjából, hogy mekkora mûszaki kapacitás áll egyik vagy másik fejlesztése, mûszerezettsége, gyártása mögött, nem beszélve a használatért járó különbözõ jogdíjak, szabadalmi kérdések szövevényes kérdéskomplexumáról.

Nekünk minden esetre számolnunk kell azzal a megváltoztathatatlan ténnyel, hogy az NTSC, PAL és SECAM színes tv-képátviteli rendszer mindegyike létezik, mindegyiket használják, és a mûholdakkal létrehozott mûsorcserék, ill. a 80-as években bevezetésre kerülõ közvetlen mûholdas mûsorszórás mindhármat egymás közvetlen közelébe hozza, a földrajzi távolságoktól szinte függetlenül.

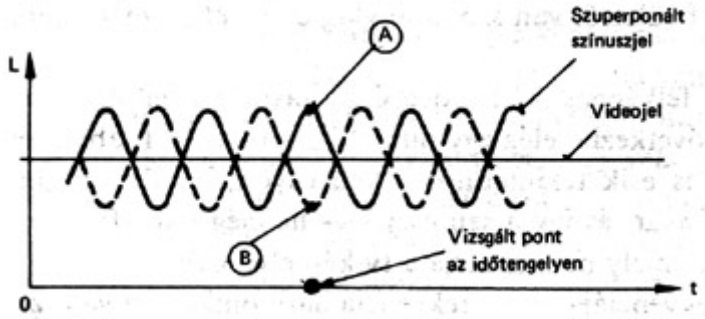
10.2.1. A színsegédvivõ fogalma, bevezetése

A legfontosabb és egyben legfõbb problémát okozó követelmény, a kompatibilitás kielégítése volt a legnehezebb feladat. Nem volt szabad megváltoztatni a videojelnek sem a korábbi szabványos felépítését, sem a sávszélességét, nem is beszélve a hang- és képvivõk frekvenciatávolságáról, vagy azok modulációs rendszerérõl. Ugyancsak kötött volt a korábbi csatornabeosztás, ami nem engedte meg a színes kép járulékos információjának a sávon kívüli elhelyezését.

A látszólag lehetetlen feladat megoldására a korábbi évek fekete-fehér vételtechnikai tapasztalatai vezettek. Számtalan esetben megfigyelték ugyanis, hogy nagyfrekvenciás külsõ eredetû zavar esetén a fekete-fehér tv-vétel minõsége alig észrevehetõen romlott, ha a zavaró jel frekvenciája valamilyen meghatározott viszonyban volt az eltérítési frekvenciákkal, míg ugyanekkor erõs interferencia észlelhetõ, ha a zavaró jel frekvenciája ettõl eltér.

Ezen a nyomon elindulva számos kísérletet végeztek fekete-fehér videojelre szuperponált szinuszos zavaró jel "láthatóságára". Igen gyorsan adódott a tapasztalati eredmény: ha a szuperponált szinuszos jel frekvenciája a vízszintes eltérítési frekvencia felének éppen páratlan számú többszöröse, akkor az észlelt zavar minimális, míg a zavar a legerõsebben akkor látszik, ha a frekvenciaérték a sorfrekvencia egész számú többszöröse, azaz harmonikus. Ez utóbbi esetben álló függõleges csíkozódás volt tapasztalható, ami elfedte a képet és erõsen zavarta a látást. További tapasztalat volt, hogy annál kisebb a zavar, minél nagyobb a szuperponált szinuszos jel frekvenciája.

Az alábbi egyszerû számítással könnyen megmagyarázható a fenti, kísérleti úton nyert eredmény. Keressünk meg gondolatban a tv-képernyõn egy olyan pontot, ahol egy adott idõpillanatban a videojelre szuperponált szinuszos jelnek éppen maximuma van, azaz, ahol a képernyõ ennek következtében világosabb, mint egyébként lenne. Jegyezzük meg gondolatban pontosan ennek az ernyõpontnak a helyét, valamint azt az idõpontot, amikor az elektronsugár éppen ezen a ponton fut keresztül. A 10.1. ábra az idõtartományban ábrázolja a kérdéses idõpont környezetében az ernyõ fénysûrûségét. A folytonos vonallal rajzolt szinuszgörbe *A* pontja a vizsgált pont.



Számítsuk ki, hogy akkor, amikor az elektronsugár legközelebb (azaz 2 félkép elteltével) pontosan ugyanezen az ernyõponton fut keresztül, milyen fázisú lesz a szuperponált szinuszjel.

A félképfrekvencia:

$$f_V = \frac{2f_H}{s},$$

ahol s, a tv-sorok száma egy páratlan szám (525 az NTSC rendszerben). Egy félkép ideje $T_V = 1/f_V$, tehát a két félkép ideje:

$$2T_V = \frac{2}{f_V} = \frac{s}{f_H}.$$

A videojelre szuperponált szinuszos jel f_{sz}frekvenciája - legkisebb zavar esetén - a sorfrekvencia felének páratlan számú többszöröse:

$$f_{sz} = (2k+1)\frac{f_H}{2},$$

ahol *k* egész szám.

f_{sz}reciproka, T_{sz}adja a periódusidõt:

$$T_{sz} = \frac{2}{(2k+1)f_H}.$$

A két félkép idejét elosztva a (10.4)-gyel:

$$\frac{2T_V}{T_{sz}} = \frac{s}{f_H}\,\frac{(2k+1)f_H}{2} = \frac{s(2k+1)}{2} = \frac{(2l+1)}{2}.$$

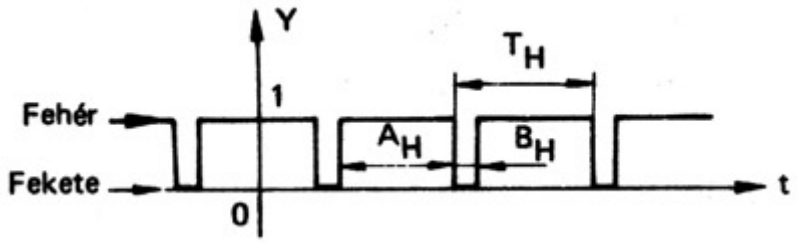
Hányadosként egy páratlan szám felét kapjuk, ami így 0,5-re végzõdik. Ez tehát azt jelenti, hogy a vizsgált tv-sorban két félkép elteltével a szuperponált szinuszos jel félperiódussal eltolva jelenik meg az elõzõ helyzetéhez képest. Ezt a 10.1. ábra szaggatott vonalú szinuszgörbéje ábrázolja. A *B* pont adja meg a képernyõ fénysûrûségét a korábbi megfigyelt ernyõpontban. Jól látható, hogy amíg elõzõleg a szinuszjel a képernyõ kivilágosodását okozta (*A* pont), addig most ugyanazon az ernyõponton elsötétülés jön létre (*B* pont). Bár a világosságnak ez a változása egy adott ernyõpontban $f_V/2$frekvenciájú csupán, ami kisebb, mint a szem fúziós frekvenciája, azért elég nagy ahhoz, hogy amennyiben kis felületrol van szó, aránylag észrevétlen maradjon, ne zavarjon.

Könnyû belátni, hogy ez a két félképenként bekövetkezõ zavarkiegyenlítés bármelyik másik ernyõpontban is bekövetkezik, elég egy pillantást vetni a 10.1. ábra két szinuszgörbéjére. Vagyis bárhová is esik tekintetünk a képernyõn, mindenütt "kiegyenlítõdik" a szinuszjel okozta zavar, és így a szinuszjel - ha elég nagy frekvenciájú - olyan pontháló t hoz létre, amely nem zavarja a tv-kép élvezetét.

Ha ezzel szemben a szinuszjel frekvenciáját a sorfrekvencia harmonikusára választjuk, akkor belátható, hogy egy-egy ernyõpontban mindig azonos fázisú lesz a zavar, tehát lényegében állóképet hoz létre függõleges sötét-világos csíkok formájában. Közbensõ esetekben pedig a pontháló ferde helyzetû, mozogni látszó interferencia csíkokat eredményez.

Volt tehát egy lehetõség a videojel frekvenciasávján belül szinuszos vivõhullám elhelyezésére anélkül, hogy az a képen látható zavart keltett volna, csupán arra kellett vigyázni, hogy szigorúan betartsák a frekvenciakövetelményt: a szinuszos vivõ frekvenciája a félsorfrekvencia páratlan számú többszöröse lehet csupán. Ezt a vivõhullámot ezután moduláció céljára fel lehet használni, és így színinformációt lehet átvinni a videojelre szuperponálva anélkül, hogy a fekete-fehér tv-vevõkön észrevehetõ zavart.okozna.

Mielõtt továbbmennénk, az egész kérdést érdemes megvizsgálni a frekvenciatartománybeli kép alapján is. Elsõként határozzuk meg a fekete-fehér tv-kép amplitúdó-spektrumának jellegét! Pontos számítás is elvégezhetõ lenne, de az túl bonyolult és hosszadalmas. Számunkra elegendõ, ha egyszerûsítésekkel élünk, és csupán a spektrum jellegét, energiacsomósodási helyeit számoljuk ki. Mivel a videojel általában véletlen változó mennyiség, ezért elsõ egyszerûsítésként használjunk olyan mérõjelet, amely periodikusan ismétlõdik, tehát állóképet ad az ernyõn. A legegyszerûbb jel a homogén szürke (vagy fehér) tónusú kép, ennek *Y* jele konstans, csupán a sor- és félképváltás idején van megszakítva. Vázlatosan, néhány tv-soron keresztül ezt az *Y* jelet a 10.2. ábra mutatja.



Tekintsünk el egyelõre a félképváltás okozta megszakítástól, így roppant egyszerûen felírható az ábra *Y* jelének Fourier-sora. Az ábra jelöléseivel:

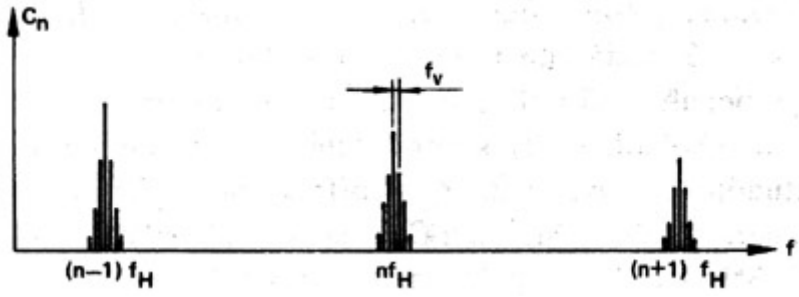
$$Y(t)=\frac{A_H}{T_H}\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\frac{\sin n\omega_H\frac{A_H}{2}}{n\omega_H\frac{A_H}{2}}e^{jn\omega_H t}.$$

Ennek alapján megállapítható, hogy a képkioltás nélküli, homogén fehér (vagy szürke) tv-kép *Y* jelének vonalas amplitúdóspektruma van, a spektrumvonalak a sorfrekvencia harmonikusainál lépnek fel, és nagyságuk növekvõ frekvenciával csökken.

A képkioltás hatását legegyszerûbben úgy vehetjük figyelembe, ha (10.6) kifejezését beszorozzuk a képkioltást megvalósító impulzussorozat Fourier-sorával. Ennek alakja megegyezik a 10.2. ábra *Y* jelformájával, de most $T_H$helyett a félképidõt, T_V-t, $A_H$helyett pedig A_V- t, a hasznos félképidõt, $B_H$helyett B_V-t a félképoltási idõt kell venni. A szorzás

$$e^{jn\omega_H t}e^{jk\omega_V t}$$

jellegû szorzatokat eredményez, amelyek felbonthatók nf_H+kf_Vfrekvenciájú tagokra. Ezek szerint a homogén fekete-fehér tv-kép *Y* jelének spektruma $f_H$harmonikusainál fellépõ vonalak körül szimmetrikusan, egymástól $f_V$távolságban jelentkezõ és gyorsan csökkenõ amplitúdójú vonalakból áll. A frekvenciatengely egy kiragadott részletén a spektrumot a 10.3. ábra mutatja. Jól megfigyelhetõ, hogy a frekvenciatartomány csak $f_H$többszörösénél van "foglalva", ezek között jelentõs frekvenciasávban gyakorlatilag nincs spektrumösszetevõ.



10.3. ábra Fekete-fehér tv-jel amplitúdóspektrumának jellegzetes képe

Nem nehéz elképzelni, hogy ez a struktúra nem vádtozik meg jelentõsen akkor sem, ha homogén mezõ helyett véletlen változó; valódi mûsorkép analízisérõl van szó, hiszen két, egymást követõ félkép (ill. kép) csak jelentéktelenül különbözik egymástól, hirtelen változás csak ritkán, témaváltozásokkor fordul elõ. Vagyis az energia csomósodik a sorfrekvencia egész számú többszöröseinél, és köztük jelentõs kihasználatlan "terület" van. Ezt az egyszerû megfontolással nyert megállapítást mérésekkel számtalan esetben gyakorlatilag is igazolták.

Nézzük meg most a szuperponált szinuszos vivõ spektrális elhelyezkedését abban az esetben, amikor minimális az ernyõn látható zavar. Ha folyamatos lenne a színsegédvivõ (nem lenne sor- és félképfrekvenciásan megszaggatva), akkor egyetlen spektrumvonal adódna a sorfrekvencia felének páratlan számú többszörösénél. Ez pedig éppen két *Y*-jelcsomósodási pont közé esik, azaz a spektrum egyébként is üres helyére.

A valóságos helyzet ennél bonyolultabb, hiszen a kompatibilitás biztosítására a vivõt ki kell oltani mind a sor-, mind a félképvisszafutási idõ alatt. E megszaggatásoknak, kapuzásoknak a hatását a spektrális képre egyszerûen számíthatóvá teszi a 10.4. ábra modellje.

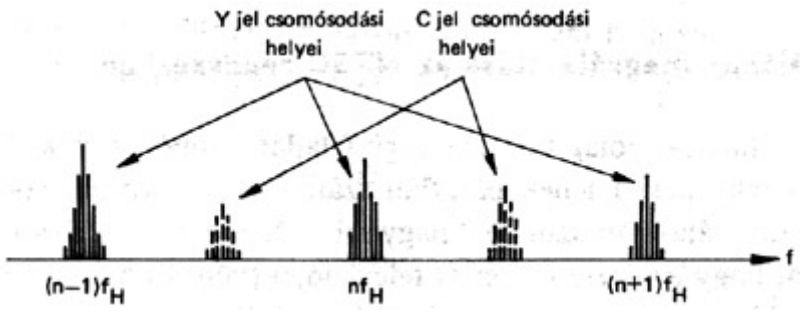
Ez egy ideális szorzóáramkör, amelynek egyik bemenetére a szinuszos vivõ, a másikra a sorkioltó jel kerül. A szorzat zérus, ha a kioltójel zérus, míg a vivõ akadálytalanul megy tovább a hasznos soridõben, amikor a kioltójel egységnyi.

A szorzatjelet *C*-vel jelölve felírható az eredmény (a 10.2. ábra jelalakját és jelöléseit felhasználva sorkioltó kapujelnek):

$$C(t)=U_{sz}\cos\omega_{sz}t\,\frac{A_H}{T_H}\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\frac{\sin n\omega_H\frac{A_H}{2}}{n\omega_H\frac{A_H}{2}}\,e^{jn\omega_H t}\,.$$

A két idõtõl függõ tényezõ szorzata ($f_{SZ}+nf_H$) frekvenciájú összetevõkre bontható, és így megállapítható, hogy a sorfrekvenciás ütemben kioltott (kikapuzott) vivõhullám spektruma

f_{SZ}-re, a szuperponált vivõ frekvenciájára nézve szimmetrikusan, egymástól $f_H$távolságra levõ vonalakból áll, amelyek természetesen f_{SZ}-tõl távolodva hiperbolikusan csökkenõ amplitúdójúak. Mivel pedig f_{SZ}a sorfrekvencia felének páratlan számú többszöröse (minimális zavar esetén), ezért $C(t)$ spektrumvonalai pontosan az $Y(t)$ energiacsomósodási helyei közé, a spektrumban üres helyre kerülnek. Ugyanerre az eredményre vezet az is, ha a 2. fejezetben leírtak alapján a (10.7) összefüggést egy AM-DSB jelnek tekintjük, ahol f_{SZ}a vivõhullám frekvenciája, U_{SZ}az amplitúdója, és a kapujel a moduláló jel. Láttuk, hogy az AM jel spektrális képe a moduláló jel spektrumából úgy származtatható, hogy a moduláló jel spektrális képét eltoljuk, áthelyezzük a frekvenciatengelyen úgy, hogy az eredeti origó átkerüljön f_{SZ}, ill. - f_{SZ}értékekre, és az amplitúdókat felére csökkentjük. Ha még figyelembe vesszük a félképfrekvenciás (f_V) kioltást is (hasonló módon eljárva, mint korábban az *Y* jel számításánál már tettük), akkor végeredményben azt kapjuk, hogy a szuperponált szinuszos vivõ spektruma a sorfrekvencia felének páratlan számú többszöröseinél mutat energiacsomósodást: minden ilyen helyen több spektrumvonal lép fel egymástól félképfrekvenciás távolságra. Az *Y* és a *C* jel spektrumának egymáshoz képesti elhelyezkedését mutatja a 10.5. ábra. A frekvenciatengelyen csupán egy kis szakasz látható, vízszintesen nyújtott léptékben. Jól megfigyelhetõ ezen az ábrán az, amit frekvencia-közbeszövésnek (frequency interlace) neveznek: a videojelre szuperponált, megfelelõen megválasztott frekvenciájú szinuszos vivõ spektruma pontosan "közbeszövõdik" a világosságjel spektrumával. Más szavakkal úgy is mondhatnánk, hogy a szuperponált vivõ spektruma éppen ott mutat energiacsomósodási pontokat, ahol a világosságjel "üres helyeket" hagyott a frekvenciatartományban.



10.5. ábra Y és C jel egy részlete a frekvenciatartományban

Nagyon tanulságos ezekután azt is megvizsgálni, mi történik a frekvenciatartományban akkor, ha szándékosan eltérünk a szinuszos jel frekvenciájával a korábbi, zavar szempontjából optimális értéktõl, azaz, ha f_{SZ}nem a félsorfrekvencia páratlan számú többszöröse. Ahogy f_{SZ}értéke változik, (10.7) alapján belátható, hogy a *C* jel spektruma (szaggatott vonalú részek a 10.5. ábrán) ennek a változásnak megfelelõen eltolódik. Ha pedig történetesen f_{SZ}a sorfrekvencia valamelyik harmonikusával lesz egyenlõ, akkor a *C* jel spektrumának energiacsomósodási helyei éppen rácsúsznak a világosságjel hasonló helyére, azaz a két spektrum egymásra kerül, átlapolódik.

Mindezek alapján jogosan gondolhatnánk, hogy az ernyõn látható zavar és a frekvenciatartománybeli kép között szoros kapcsolat van, tehát ha jó a frekvencia-közbeszövés, akkor nincs számottevõ zavar a képernyõn, míg gyenge vagy teljesen rossz frekvencia-közbeszövés esetén a zavar erõsen látszik. Ez a következtetés általánosságban nem

állja meg a helyét. Látni fogjuk pl. a SECAM rendszer ismertetésénél, hogy a zavarmentesség, ill. kompatibilitás annak ellenére is biztosítható, hogy távolról sincs meg az ideális frekvencia-közbeszövés. Ennek ellenére nem lehet nem felfigyelni arra a tényre, hogy a videojel frekvenciasávjába esõ szinuszos vivõ éppen akkor a legkevésbé zavaró a képernyõn, amikor a frekvenciasáv kihasználása optimális.

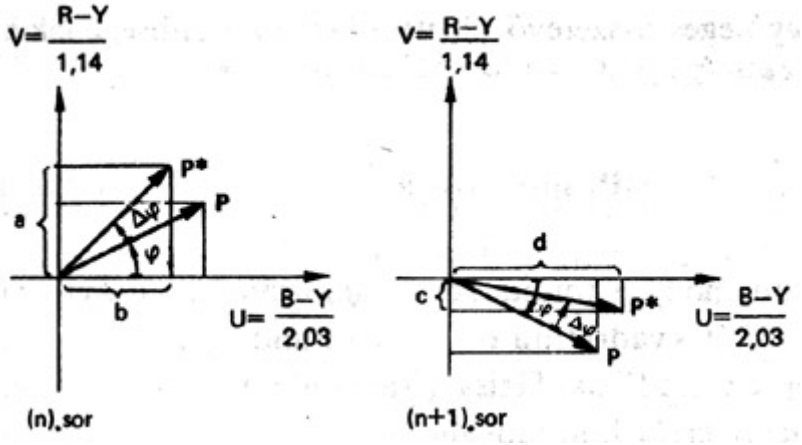
Térjünk most ezekután vissza az eredeti alapproblémához: mi módon lehet a meglevõ keretek közé elhelyezni azt a járulékos információt, ami a színes kép reprodukálásához szükséges. Nos, a világosságjelre szuperponált szinuszos vivõhullám megadja erre a lehetõséget: megfelelõ modulációt választva és ezt a szuperponált jelet vivõhullámnak tekintve a szükséges színinformáció ezen az úton átvihetõ a kompatibilitás egyidejû kielégítésével. Az esetleges félreértések elkerülése végett ezt a vivõt színsegédvivõnek szokás nevezni, hiszen egyrészt színinformációt visz, másrészt segédszerepet játszik, mert a kép- és hangvivõ hullám mellett ez csak az összetett videojel egy új összetevõje.

Itt jegyezzük meg, hogy mindhárom színes tv-átviteli rendszer (NTSC, PAL, SECAM) színsegédvivõ használatán alapszik, így a fentebb elmondottak értelemszerûen vonatkoznak valamennyire.

10.3.1. A soronkénti fázisváltás elve

A PAL rendszer fõ célkitûzése az NTSC rendszer fázishibákra való érzékenységének kiküszöbölése volt. Mint minden kvadratúramoduláció, így az NTSC színjele is igen érzékeny mindennemû fázishibára, hiszen a vevõ szorzódemodulátorai csak akkor tudják a nemkívánt összetevõt elnyomni, ha a szorzójel fázisa pontosan merõleges a nemkívánt kvadratúra-összetevõ fázisára. Márpedig fázishibát tud okozni egyebek között a vevõben levõ PLL áramkör vagy az átviteli út szintfüggõ fázistorzítasa (differenciális fázis). Ezeket küszöböli ki, ill. csökkenti elhanyagolható mértékre a PAL rendszerben alkalmazott soronkénti fázisváltogatós kvadratúramoduláció.

Az eljárás lényege az, hogy a két kvadratúra-összetevõ közül az egyiknek a fázishelyzetét az egyik tv-sorban meghagyják alaphelyzetben, a következõ sorban pedig invertálják. Ezt a mûveletet rendszeresen ismételve tehát egy olyan kvadratúramodulált jelet hoznak létre, amelyben az egyik összetevõ fázisa minden második tv-sorban invertált, 180°-os. Ezzel az elsõ hallásra értelmetlennek tûnõ bonyolítással olyan elõnyhöz jutunk, amellyel végül is a detektált jelben még az esetleges 20°...30°-os fázishibák sem okoznak észrevehetõ színtorzulásokat.



Ennek az állításnak a bizonyításához a 10.16. ábrán feltüntettünk egy kvadratúra-modulált jelvektort (**P**) az *n*-edik és az (*n*+1)-edik tv-sorban. A **P** vektor fázisszöge az *n*-edik sorban φ, míg az (*n*+ 1)-edik sorban -φ, annak megfelelõen, hogy az egyik kvadratúra-összetevõ - esetünkben a függõleges tengely menti, (*R* - *Y*)-nal arányos komponens - elõjelet vált minden második sorban.

Csillaggal jelöltük ugyanezen az ábrán a kvadratúramodulált jel vektorát (**P***) abban az esetben, ha valamilyen oknál fogva az a vevõbe $\Delta\varphi$fázisszöghibával érkezik. A fázishiba természetesen két egymást követõ tv-sorban nem változik, így ugyanakkora nagyságú és elõjelû $\Delta\varphi$szög szerepel majd mind az *n*-edik, mind az (*n* + 1)-edik tv-sorban. Az ábrán feltételeztük továbbá azt, hogy a színvektor (és így a kvadratúra-modulált jel is) közel azonos értékû két egymás utáni tv-sorban, azaz nem változik hirtelen, ami a gyakorlatban legtöbbször fenn is áll.

Látható a 10.16. ábrából, hogy a $\Delta\varphi$ fázistorzítás hatására az eredeti **P** vektor két tengelyirányú összetevõje megváltozik: a függõleges komponens megnõ (*a*), a vízszintes pedig lecsökken (*b*), ha a viszonyokat az *n*-edik sornál nézzük. Ezzel szemben az (*n* + 1)-edik sorban a helyzet éppen fordított: **P*** függõleges összetevõje (*c*) kisebb lett, míg a vízszintes komponens (*d*) meghosszabbodott.

Képezzük a két vízszintes összetevõ összegének a felét a két egymást követõ tv-sorban:

$$\frac{b+d}{2}=\frac{|\mathbf{P}^*|}{2}[\cos(\varphi+\Delta\varphi)+\cos(-\varphi+\Delta\varphi)]=$$

$$=\frac{|\mathbf{P}|}{2}[\cos\varphi\cos\Delta\varphi-\sin\varphi\sin\Delta\varphi+\cos\varphi\cos\Delta\varphi+\sin\varphi\sin\Delta\varphi]=$$

$$=|\mathbf{P}|\cos\varphi\cos\Delta\varphi.$$

A számításnál felhasználtuk, hogy |**P**| = |**P***|, azaz, hogy a fázistorzítás az amplitúdót nem befolyásolja. Látható az eredménybõl, hogy $\Delta\varphi$ fázishiba az átlagnak csupán a nagyságát csökkenti cos ($\Delta\varphi$) arányban, egyébként azt kaptuk eredményképpen, ami fázishiba nélkül adódott volna. Ha $\Delta\varphi$ nem nagy, akkor cos ($\Delta\varphi$) közel egységnyi, így a torzítás hatása elhanyagolható.

Hasonló módon eljárva a két függõleges összetevõvel (itt a kettõ különbségének a felét véve) kapjuk, hogy:

$$\frac{a-c}{2}=\frac{|\mathbf{P}^*|}{2}[\sin(\varphi+\Delta\varphi)-\sin(-\varphi+\Delta\varphi)=|\mathbf{P}|\sin\varphi\cos\Delta\varphi,$$

tehát erre az átlagképzésre is fennáll, hogy a torzítás cos ($\Delta\varphi$) arányban csökkenõ átlagot eredményez. Márpedig ha a két kvadratúra-összetevõ mindegyike egyaránt cos ($\Delta\varphi$)-szorosára csökken, akkor az eredõjük fázisa (irányszöge) nem változik. Ez viszont azt jelenti, hogy a színezet$_{TV}$ érték konstans marad annak ellenére, hogy a fázishiba fennáll. Ami változik, az csupán a vektor hossza, ami viszont a telítettség$_{TV}$ értékével arányos (1. a 6.3. szakaszt). Ezek szerint tehát, ha a PAL rendszerû kódolt jelátvitelben fázishiba van, akkor az csupán az eredõ szín telítettségét csökkenti cos ($\Delta\varphi$)-szorosára, a színezet nem változik, feltéve persze, hogy a vevõben két egymás utáni tv-sor kvadratúrajelének összegzése, ill. kivonása útján nyert átlagolást elvégezzük. A fenti eredményt ui. nyilvánvalóan nem befolyásolja az, hogy az összetevõkre való bontás és az átlagolás mûveleteit milyen sorrendben végezzük.

Az átlagolás elvégzéséhez azonban szükség van az éppen továbbított tv-sor színjele mellett az elõzõ sor színjelére is. Ezt szolgáltatja a soridejû késleltetõ mûvonal, és ez az oka annak, amiért korábban említettük, hogy a PAL (és mint még látni fogjuk a SECAM) rendszer megvalósíthatósága a 60-as évek elején ettõl a mûvonaltól függött.

Itt említjük meg, hogy a fent vázolt átlagolást nemcsak elektronikus úton (tehát mûvonalas késleltetõvel), hanem vizuálisan is meg lehet valósítani bizonyos hátrányok mellett. Be lehet bizonyítani ui., hogy ha a PAL jelet NTSC rendszerû dekódolási eljárással dolgozzák fel (természetesen gondoskodva a kétsoronkénti invertált színkülönbségi jel elektronikus

visszafordításáról), akkor a képernyõn felrajzolt szín - fázistorzítást felrételezve - kétsoronkénti válrakozással olyan színpárként jelentkezik, amelynek eredõje az eredeti, torzítatlan szín. Ha tehát kellõ távolságról nézzük az ernyõt, akkor a szem elvégzi az átlagolást, mert a színpárokat a szomszédos sorokban nem tudjuk egymástól megkülönböztetni. Ezt a fajta eljárást hívják "egyszerû PAL" ("simple PAL") módszernek. Ez a gyakorlatban nem vált be, mert bár a fenti folyamat ténylegesen végbemegy, együtt jár a tv-kép sorstruktúrájának egy annyira zavaró vonulásával (ún. stroboszkóphatás), hogy emiatt ma már sehol sem alkalmazzák. Ehhez még hozzájárul az is, hogy az évek során egyre csökkent a tömegben gyártott késleltetõ mûvonal ára, és ma már jelentéktelen tételt jelent a színes vevõ összvolumenének árához képest.

10.3. A PAL színes televízió-képátviteli rendszer

A PAL rendszerû kódolás lényegében az NTSC kódolási rendszer továbbfejlesztésének tekinthetõ. Kis túlzással úgy is mondhatnók, hogy elegendõ a néhány különbség ismertetése, és máris megkaptuk a PAL rendszerû kódolás rendszertechnikáját. Nos annyi mindenesetre leszögezhetõ, hogy a PAL kódolási rendszer is kvadratúramodulációt használ a két színkülönbségi jel átvitelére. Ennyiben tehát megegyezik az NTSC kódolási rendszerrel, azonban már maga a kvadratúramoduláció is módosított formában kerül alkalmazásra, más a két moduláló (színkülönbségi) jel, különbözik a színsegédvivõ frekvenciájának megválasztási szempontja, nincs a színcsatornában csonkaoldalsávos átvitel, és a burstjel is módosított változatban szerepel, hogy csak a lényeges különbségeket említsük. Ennek következtében helyesebbnek tûnik mindazokat a problémákat rendszeresen áttekinteni, amelyek az NTSC rendszer ismertetésénél felmerülnek, és csak ott felhasználni a visszahivatkozási lehetõséget, ahol ez egyszerûsíti, áttekinthetõbbé teszi a tárgyalást.

Mind a PAL, mind a SECAM rendszer gyakorlati megvalósítását és széleskörû elterjedését az tette lehetõvé, hogy az ipar tömeggyártható kivitelben elõ tudott állítani soridejû késleltetõ mûvonalat. Mindkét rendszer lényegében erre az eszközre épül, amelyre, mint látni fogjuk, minden színes tv-vevõkészülékben szükség van, ezért csak kimondottan olcsó megoldású mûvonal jöhetett szóba. Az ultrahangot felhasználó, mechanikai átalakítókkal kiegészített akusztikus mûvonal olyan lehetõséget adott az új színes tv-rendszertechnikát tervezõknek, amely korábban, az NTSC rendszer bevezetésekor még nem állt rendelkezésre. Ennek birtokában viszont már sor kerülhetett olyan új elgondolások megvalósítására, amelyek végül is a jelenlegi PAL és SECAM rendszerek bevezetését eredményezték.

10.4.1. A soronkénti szekvenciális színátvitel elve

Az idõosztásos elvet alkalmazó színátviteli rendszerek gondolata már az NTSC bizottság elõtt is ismert volt. Õk foglalkoztak a képelemenkénti (pontszekvenciális) váltogatott színátvitellel, és megvizsgálták mind a sor-, mind a félképenkénti (sorszekvenciális) váltogatás alapján létrehozott rendszerek megvalósíthatóságát. Abban az idõben a tároló- (késleltetõ-) eszközök még igen kezdetleges szintûek voltak, és csak laboratóriumi példányok léteztek, ezért a szekvenciális (nem egyidejû) átviteli rendszerek nem juthattak tovább a laboratóriumi kísérleteknél. Az ismert szekvenciális elvek megvalósítását a 60-as években megjelent olcsó késleltetõ (akusztikus hullámokkal mûködõ) mûvonalak lehetõvé tették.

A SECAM rendszer lényege az, hogy egyidejûleg mindig csak az egyik színkülönbségi jelet továbbítják soronkénti váltogatással. A vevõben a színeskép kirajzolásához természetesen egyidejûleg szükség van mindkét színkülönbségi jelre, amit a SECAM rendszer úgy biztosít, hogy soridejû késleltetõ mûvonallal rendelkezésre bocsátja az elõzõ tv-sorban érkezett színkülönbségi jelet. Mivel soronként váltakozik a továbbított színkülönbségi jel, az éppen érkezõ és az egy sorral elõbb érkezett jel mindig olyan párt alkot, amely - eltekintve az egysoros késéstõl - megfelel a színes kép rajzolásához szükséges két független színkülönbségi jelnek.

Az eljárás alapvetõen felhasználja azt az egyébként már régebben ismert tapasztalatot, hogy mûsorkép esetén sorról-sorra haladva sem a világosságjel, sem a színkülönbségi jelek alakja nem változik meg hirtelen. (A PAL rendszer átlagolási eljárás is ezen alapult!) Vagyis az elõzõ sor színkülönbségi jele minden zavar nélkül felhasználható az éppen továbbított másik színkülönbségi jellel együtt a színes kép kialakításához. Az nyilvánvaló, hogy így a függõleges irányú színfelbontás csökkenni fog, de ahogy ezt a kérdést a PAL rendszerrel kapcsolatos vizsgálatainknál már láttuk, ez nem okoz zavart, sõt így az egyébként is túlméretezett függõleges színfelbontás jobban közelít a szükséges értékhez, tehát csökken az átvitel redundanciája.

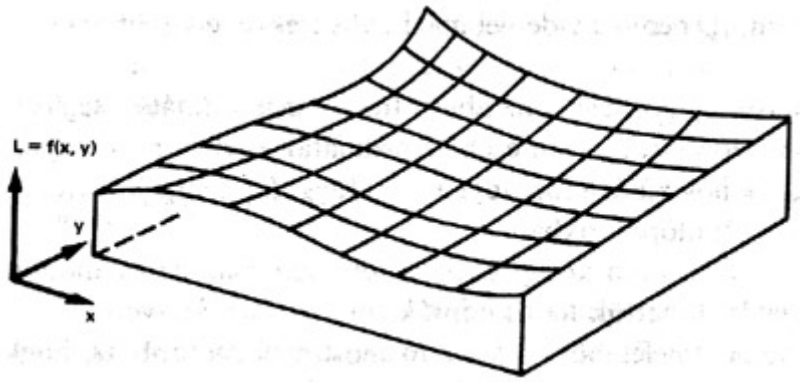
10.4. A SECAM színes televízió-képátviteli rendszer

A SECAM rendszer fejlesztése aránylag hosszú idõn keresztül folyt, közben számos változat látott napvilágot, amelyeket a SECAM név után írt számokkal és különbözõ betûjelzésekkel különböztettek meg egymástól. A mai végsõ formáját teljes nevén SECAM IIIb-nek vagy SECAM III optimumnak nevezik, de mi ebben a könyvben csak egyszerûen SECAM néven említjük.

Hasonlóan a PAL rendszerhez, a SECAM képátviteli rendszer is annak köszönheti létrejöttét, hogy tömeggyártás szinten lehetõvé vált a soridejû késleltetõ mûvonal elõállítása. Az alapgondolat abból a felismerésbõl származik, hogy a színes kép felrajzolása szempontjából nincs szükség függõleges irányban ugyanolyan finomságú felbontásra, mint amilyent a tv-kép sorstruktúrája megenged.

13.1. Állókép leírása diszkrét mintákkal

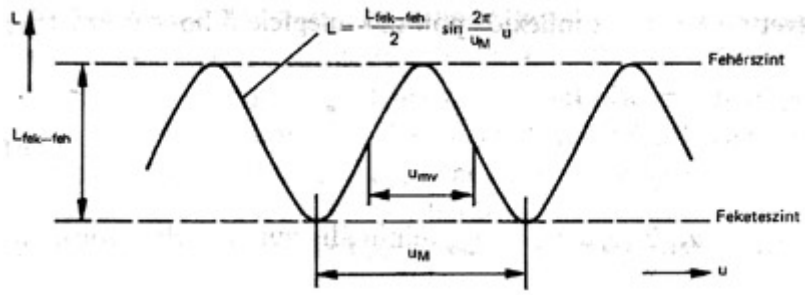
Nézzük ezután egy állóképnek, például egy fényképnek a kétdimenziós fénysûrûség-eloszlását. Legyen a kép fekete-fehér rajzolatú csupán, azaz tekintsük az eredetileg színes síkbeli képet három részkép összegére felbontva, ahol az elsõ a fénysûrûség-eloszlást ábrázolja, míg a másik kettõ a két színkülönbségnek az értékeit adja meg a síkbeli kép bármely pontjában. Számunkra elegendõ, ha csak e képek egyikével foglalkozunk, az eljárás lényege a másik kettõre ugyanaz, mint amit az elsõre megállapítunk. A könnyebb elképzelhetõség céljából a 13.2. ábrán távlatilag helyesen feltüntettünk egy ilyen síkképrészletet vázlatosan.



Tulajdonképpen felfogható e kép egyparaméteres (pl. fénysûrûség-) eloszlása, egy kétváltozós függvény $f(x, y)$ úgy, mint egy dombormûvi térkép, ahol a fénysûrûségérték megfelel az illetõ pont tengerszint feletti magasságának. Elvileg minden x és y koordinátaértéknél ismerni kell a fénysûrûség, $L = f(x, y)$ értékét ahhoz, hogy a teljes kép világosságinformáció-tartalmát le tudjuk írni. A gyakorlatban azonban nem ez a helyzet, mert ha kizárjuk azt a lehetõséget, hogy a fénysûrûség igen hirtelen megváltoztassa értékét, akkor elegendõ csupán véges sok (x, y) pontban ismerni L-et ahhoz, hogy a teljes analóg kép bármely pontjában L értéke számítható legyen a véges sok pontbeli diszkrét L értékekbõl. Lényegében tehát egy kétdimenziós mintavételi problémával állunk szemben, és a feladat éppen az, hogy meghatározzuk, milyen "sûrûn" kell az adott "felület" egyes pontjainak "magasságát" megadni ahhoz, hogy azokból már bármelyik másik ponthoz tartozó "magasság", azaz L érték számítható legyen.

Már utaltunk arra, hogy ez a feladat csak akkor oldható meg, ha kizárjuk az L érték igen hirtelen bekövetkezõ változását, azaz maradva a domborzati térkép hasonlatánál, ha nem engedünk meg túl "meredek" szintváltozást. Ez a fogalom analóg a mintavétel elméletében a sávhatároltság fogalmával. Az állókép esetén azonban természetesen nincs idõfüggvény, ezért keresni kell a sávhatároltságnak megfelelõ fogalmat. Ennek értelemszerûen a fénysûrûség-változás meredekségének kell lennie. Tételezzük fel, hogy a 13.2. ábra felületébõl egy síkmetszetet készítünk úgy, hogy az éppen a legnagyobb fénysûrûség- (magasság-) változás irányába esik. Hivatkozva az idõfüggvény analógiára, legyen a fénysûrûség (felület) változása a hossz mentén szinuszos jellegû oly módon, hogy a maximumértékek a fehérszintnek, a minimumértékek pedig a fekete szintnek feleljenek meg (13.3. ábra). Legyen továbbá e feltételezett szinuszos változás olyan, hogy képviselje az egész képen belül a legsûrûbb

fénysûrûség-ingadozást, azaz a szinuszos változás inflexiós pontjai legyenek egyben a kép legmeredekebb fénysûrûség-változásai is.



Ez utóbbihoz az szükséges, hogy a feltételezett szinuszos változás "frekvenciája" maximális, "periódusideje" minimális legyen. Jelöljük a maximális frekvenciához tartozó periódust u_M-mel, akkor felírható a 13.3. ábra fénysûrûség-változására, *L*-re az alábbi összefüggés:

$$L=\frac{L_{\text{fek-feh}}}{2}\sin\frac{2\pi}{u_M}u,$$

ahol *u* jelöli a kép síkjában az elmozdulás nagyságát. Határozzuk meg a legnagyobb fénysûrûség-változás nagyságát, ami nyilvánvalóan a szinuszos változás inflexiós pontjaiban lép fel! Képezve *L*-nek *u* szerinti differenciálhányadosát:

$$\frac{dL}{du}=\frac{L_{\text{fek-feh}}}{2}\,\frac{2\pi}{u_M}\cos\frac{2\pi}{u_M}u,$$

majd *u* = 0 értéket behelyettesítve (ez az inflexiós pontnak megfelelõ hosszúságérték) kapjuk, hogy

$$\left.\frac{dL}{du}\right|_{\max}=L_{\text{fek-feh}}\frac{\pi}{u_M}.$$

Átrendezve ezt az összefüggést u_M/2-re, azaz az u_{mv}minimális atavételi távolságra, az alábbi kifejezés adódik:

$$u_{mv}=\frac{u_M}{2}=\frac{\pi}{2\left.\frac{dL}{du}\right|_{\max}}L_{\text{fek-feh}}.$$

Látható, hogy - amint az várható volt - a szükséges mintavételi pontok távolsága fordítottan arányos a maximális fénysûrûség-, azaz gradációváltozással. Ha viszont meghatározzuk a vizsgált kép esetén azt, hogy milyen finom képrészleteket kívánunk majd meghatározni a mintavett kép ordinátáiból, akkor már egyértelmûen adódik (13.7) alapján a minimálisan szükséges u_{mv}mintavételi távolság.

A probléma most már csak az, hogy ez a maximális gradációváltozás iránya általában nem egyezik meg sem. az *x* vízszintes, sem az *y* függõleges iránnyal, hanem azokkal szöget zár be. Elõbbi vizsgálatunkat annak feltételszésével végeztük, hogy az *u* irány, amellyel a síkmetszetet készítettük, megegyezik a kép maximális fénysûrûség-változást mutató irányával, és a (13.7) összefüggés is ebben az irányban vett síkmetszetre vonatkozik.

Felhasználva azonban a gradiens fogalmát, egyszerûen kiterjeszthetjük a (13.7) egyenletben meghatározott kötést a minimális mintavételi távolságra vonatkozóan a két derékszögû koordinátatengely irányára is.

Ismeretes, hogy az $L = f(x, y)$ függvény egy adott $P(x, y)$ pontbeli gradiensén az alábbi vektort értjük:

$$\text{grad } L = \frac{\partial L}{\partial x}\,\mathbf{i} + \frac{\partial L}{\partial y}\,\mathbf{j},$$

ahol **i** és **j** az x, ill. y irányba mutató egységvektorokat jelöli, mig a két parciális derivált az L függvény x, ill. y irányban vett differenciálhányadosa. A gradiens abszolút értéke,

$$|\text{grad } L| = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial y}\right)^2}$$

megadja az x, y pontban az $L(x, y)$ fénysûrûségfüggvény változásának legmeredekebb értékét, míg iránya mindig a nívóvonalra merõlegesen, tehát a felület adott pontjában a legmeredekebb esés vagy emelkedés irányába mutat.

Ezek alapján már érthetõ, ha a (13.7) összefüggésben a maximális derivált érték helyére a grad L vektor abszolút értékét helyettesítjük:

$$u_{\text{mv}} = \frac{\pi}{2\,|\text{grad } L|} - L_{\text{fek-feh}}.$$

Szavakkal ez azt jelenti, hogy ahhoz, hogy a diszkrét mintákból a teljes analóg kép bármelyik pontjában meg tudjuk határozni á fénysûrûség értékét, a szomszédos minták távolsága legfeljebb u_{mv}lehet vagy annál kisebb. Mivel pedig a maximális meredekség iránya a gyakorlatban bármilyen lehet, a (13.10) egyenlettel megszabott maximális mintavételi távolság, u_{mv}akár az x, akár az y tengely irányába is mutathat. Vagyis ha bevezetjük a "gradienshatárolt" kép fogalmát (a sávhatárolt jel fogalmával analóg formában), akkor kimondható, hogy egy olyan (álló-) kép esetén, amelyre érvényes a

$$|\text{grad } L| \leqq \text{konstans}$$

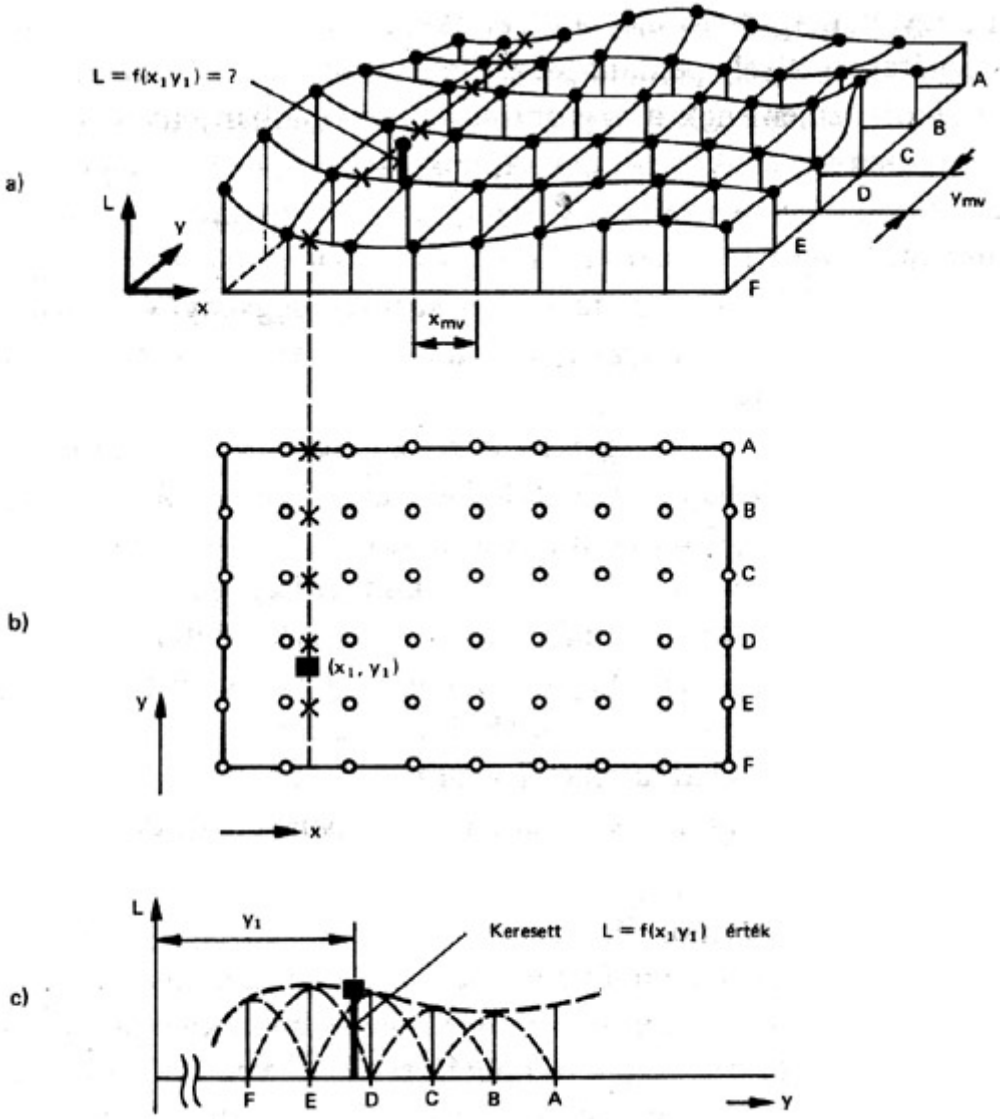
egyenlettel megadott kötés, elegendõ az x és y tengelyek mentén egymástól

$$x_{\text{mv}} = \frac{\pi}{2\,|\text{grad } L|}\,L_{\text{fek-feh}},$$

$$y_{\text{mv}} = \frac{\pi}{2\,|\text{grad } L|}\,L_{\text{fek-feh}}$$

távolságra levõ pontokban ismerni a fénysûrûség értékét, L-et. Ezzel a teljes kép valamennyi pontjában ismerjük a gradáció nagyságát. Ez lényegében a mintavétel elvének kétdimenziós kiterjesztése, és elvi alapul szolgál a tv-kép digitális feldolgozásához.

A 13.4. ábrán azt a módszert mutatjuk be, ahogyan egy diszkrét mintákkal jellemzett kép egy általános pontjában felvett fénysûrûségértéke meghatározható a környezõ pontok fénysûrûségmintáinak ismeretében.



Az *a)* ábrán távlati rajzban tüntettük fel a vizsgált kép fénysûrûség-eloszlását. Jól látható, hogy a probléma valóban igen hasonló egy dombormûvi térképhez, ahol a domborzatot csak diszkrét helyeken ismerjük, és ezek birtokában keressük egy tetszés szerinti pontban a "tengerszint feletti" magasságot. Az ábra e távlati rajzán feltüntettük síkmetszetek segítségével a mintavételi pontokat és a minták (magasságordináták) nagyságát is. Két szomszédos mintavételi sík egymástól való távolsága, összhangban a (13.12), ill. (13.13) egyenletekkel: $x_{mv} = y_{mv}$.

Ugyanezt a képet mutatja felülnézetben a 13.4*b* ábra. Az egyszerûség kedvéért a teljes képnek csak egy részét adtuk meg, kis körökkel jelölve a gradienshatárolt kép azon pontjait, amelyeknél "mintát vettünk" a fénysûrûségértékbõl.

Legyen a keresett pont x_1, $y_1$koordinátákkal adott. Kérdés, hogy ebben az általánosan felvett pontban hogyan állapítható meg az *L* értéke, *L*(x_1, y_1). Elsõ teendõ az, hogy valamelyik

koordinátatengellyel, például x-szel párhuzamosan síkmetszeteket készítünk úgy, hogy e síkok átmenjenek a vízszintesen egy vonalban elhelyezkedõ mintavételi pontokon. Minden ilyen síkmetszeten kapunk egy fénysûrûségfüggvényt, amely azonban nem folytonosan, hanem diszkrét mintákkal van megadva. Felhasználva a 13.1. ábrán már megismert rekonstruálási eljárást, minden ilyen, x tengely irányában vett metszetsíkon meg lehet szerkeszteni a fénysûrûségfüggvényt valamennyi x értéknél. Így többek között azon x_1 értékeknél is, amely $x_1$érték a keresett pont vízszintes koordinátájával megegyezik.

Vegyük ezután minden ilyen x irányú metszetbõl ezeket az $x_1$értékeket, és rajzoljuk fel õket egymás mellé úgy, mintha azokat egy képzeletbeli függõleges, tehát y irányú síkmetszet szolgáltatta volna az $x = x_1$értékeken átfektetve! Ezt a síkmetszetet ábrázolja a 13.4c ábrán látható minták sorozata. A jobb áttekinthetõség miatt az ábécé nagybetûivel jelöltük az $x = x_1$ pontokban a már számított (szerkesztett) mintákat mind a *b)*, mind a *c)* ábrán. Tekintettel arra, hogy ezek a minták is egymástól az eredetileg használt mintavételi távolságban (y_{mv}) vannak, így ezekre is érvényes a 13.1. ábra szerkesztési szabálya. Más szavakkal, a 13.4*c* ábrán is ki lehet jelölni a keresett pont $y_1$koordinátáját (ez az *E* és *F* minták közé esik a példánkban) és egyszerûen súlyozott összegzéssel [1. a (13.3) egyenletet] egyértelmûen meghatározható a keresett x_1, $y_1$pontban a kép fénysûrûségértéke (*L*).

Hasonló eljárással az eredeti folytonos fénysûrûség-eloszlású kép bármely másik pontjának *L* értéke is rekonstruálható a mintákból, sõt a szerkesztési módszerbõl azt is meg lehet állapítani, hogy a keresett ponttól aránylag távoli mintáknak a hatása már elenyészõ. Így a keresett pont közelében levõ minták értéke is elegendõ információt ad az *L* meghatározásához. Adott hibát megengedve meghatározható, hogy milyen "körzetben" kell csupán a mintákat figyelembe venni egy-egy fénysûrûségérték rekonstruálásához.

13.2. Mozgókép leírása diszkrét mintákkal

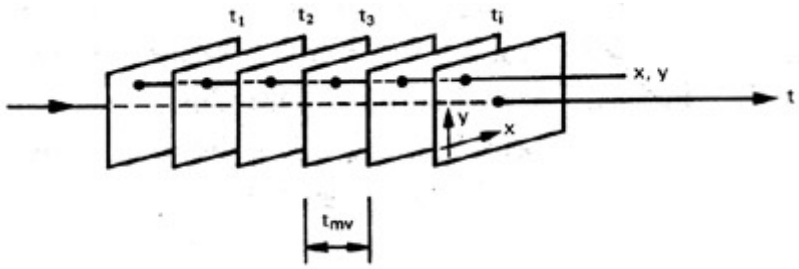
Az állóképmodell esetén használtuk a domborzati térkép analógiáját: x - y sík felett levõ felület egyes pontjainak távolsága az alapsíktól adta a domborzat "tengerszint feletti" magasságát, és ez felelt meg egy fekete-fehér kép fénysûrûségének. Most, a mozgóképmodell vizsgálatakor ezt az analógiát kiterjesztjük: adomborzat eddigi statikus felülete helyére egy hullámzó felület, például egy edényben levõ hullámzó víz mindenkori felülete lép. A megválaszolandó kérdés ezekután az, hogy hogyan lehet egy ilyen idõben változó, mozgásban levõ, hullámzó felületet minden idõpillanatban egyértelmûen jellemezni diszkrét mintákkal.

Ha egy pillanatfelvételt készítünk a $t_1$idõpontban az egész felületrõl, akkor az - az elõzõ fejezet szerint - már ismert a kétdimenziós mintavételi elv alkalmazásával, feltéve, hogy a felület eleget tesz a gradienshatároltság követelményének, azaz a (13.11) összefüggésnek. Így egy adott $t_1$idõpillanatban isrnerjük a minták alapján az egész képet. Ugyanígy belátható, hogy egy késõbbi, $t_2$idõpontban készített másik pillanatfelvétel ugyancsak jellemezhetõ véges sok síkbeli minta segítségével. A kérdés ezekután csak az, hogy maximálisan mekkora lehet a két pillanatfelvétel közötti idõkülönbség, $t_2 - t_1$ahhoz, hogy ne csak e két idõpontban, hanem a

kettõ között bármilyen idõpillanatban is ismerjük a hullámzó, változó felület térbeli elhelyezkedését. Ha ugyanis - a 13.5. ábrának megfelelõen - pillanatképek egész sorozatát készítjük a kérdéses felületrõl, azaz magáról a leírandó mozgóképrõl, akkor nyilvánvaló, hogy annál sûrûbben kell ilyen felvételt csinálni, minél gyorsabb a képeken a látszólagos mozgás, a felület hullámzásának sebessége. Célunk tehát az, hogy meghatározzuk, milyen idõközönként van szükség egy-egy képre ahhoz, hogy bármelyik képpontnak bármelyik idõpontban meg tudjuk mondani a fénysûrûségértékét, $L(x, y, t)$-t.

Megfigyelhetõ, hogy a fénysûrûség eddig egy kétváltozós függvény, x és y függvénye volt (állókép), most pedig háromváltozós lett, mert x és y mellett független változó a t idõ is. Tulajdonképpen ez adja a kézenfekvõ megoldást az elõbbi kérdés megválaszolásához, hiszen az idõtartományban a mintavétel elmélete készen a rendelkezésünkre áll.

Válasszuk ki a 13.5. ábra felvételsorozatán minden képen ugyanazt az x, y koordinátákkal megadott képpontot! E képpont helykoordinátája adott és állandó lévén, az egyedüli változó a felvételsorozaton csupán az idõ, vagyis olyan minták sorozatával van dolgunk, amelyek adott idõközönként, egymástól t_{mv} idõtávolságban helyezkednek el. Errõl viszont tudjuk, hogy amennyiben az eredeti mozgóképen az illetõ x, y koordinátájú képpont fénysûrûsége csak t_{mv} idõ alatt (vagy annál hosszabban) változik meg feketérõl fehérre vagy viszont, akkor a t_1, t_2, t_3, ... stb. idõpontokban készült regisztrátumsorozatból bármelyik idõpontbeli L érték meghatározható a 13.1. ábra, ill. a (13.3) egyenlet felhasználásával. Másképpen tehát a hullámzó vízfelületrõl, ill. a mozgást is tartalmazó képrõl akkor lehet minden idõpontban valamennyi adatot tudni, ha bármelyik képpontjának vízmagassága, ill. fénysûrûsége idõben úgy változik, hogy a változást leíró idõfüggvény sávhatárolt. Ez a megállapítás egyenértékû azzal a korábbi kijelentéssel, hogy a felvételsorozat annál sûrûbben készítendõ, minél gyorsabb a képtartalom megváltozása.



Számszerûleg is meghatározható t_{mv} értéke, ha kapcsolatot teremtünk a gradienshatárolt kép x_{mv} vagy y_{mv} mintavételi távolsága, továbbá a fénysûrûség látszólagos x vagy y irányú v_x vagy v_y mozgási sebessége, és a t_{mv} idõbeni minták távolsága között. Legegyszerûbb, ha feltételezzük, hogy a képen pl. egy függõleges, y irányú fekete-fehér csíkozódás vízszintes, azaz x irányú mozgást végez. Legyen e függõleges helyzetû fekete-fehér csíkozódás fénysûrûség-változása szinuszos és a gradienshatároltság által megengedett maximális szaporaságú, azaz olyan, hogy - egy idõpillanatban - a szinuszgörbe szomszédos pozitív és negatív csúcsai egymástól éppen x_{mv} távolságra vannak egymástól. Egy x irányú metszetet mutat a 13.6. ábra a t_1 idõpontbeli felvétellel rögzítve.

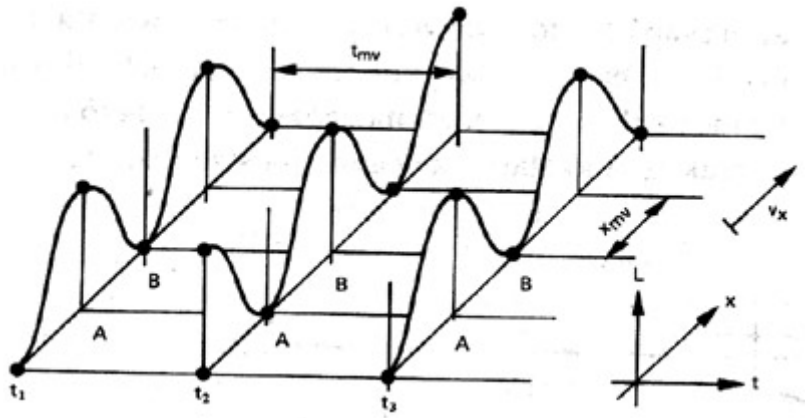
Ha t_{mv} idõvel késõbb, a t_2 idõpontban rögzítjük a helyzetet, akkor e szinuszhullám jobbra, pozitív x tengely irányába elmozdul, éspedig éppen akkorát, hogy ami elõzõleg fehér (a 13.6. ábrán az A pont), az most fekete lett, és ami eddig fekete volt (B pont), az most fehér. Egy újabb t_{mv} idõvel késõbb, a t_3 idõpillanatban már ismét továbbhaladt e fénysûrûséghullám, és

lényegében azonos helyzetet vesz fel, mint amit t_1-nél felvett. Vagyis a hullámfront *x* irányú haladási sebessége, v_x a következõ:

$$v_x = \frac{x_{mv}}{t_2 - t_1} = \frac{x_{mv}}{t_3 - t_2}.$$

Ha ez az *x* irányú sebesség egyben a mozgóképen bekövetkezhetõ maximális hullámfrontsebesség, akkor a $t_2 - t_1 = t_3 - t_2$ idõköz egyben a szükséges mintavételek (pillanatfelvételek) idõköze is, azaz:

$$t_2 - t_1 = t_3 - t_2 \geq t_{mv}$$



Ha ezekután az a kérdés merül fel, hogy hogyan lehet egy ilyen mozgássebesség és gradienshatárolt mozgókép esetén egy tetszés szerinti idõpontban meghatározni a fénysûrûség egy *x, y* pontbeli értékét a diszkrét idõpontokban rögzített felvételekbõl, akkor a teendõ az, hogy elõször minden felvételen meg kell határozni az *x, y* pont *L* értékét az állóképre korábban ismertetett módszerrel, majd ezekbõl az *L* értékekbõl - az idõbeni mintavétel szabálya szerint - bármelyik közbensõ idõpontbeli érték számítható, ill. szerkeszthetõ. Ily módon akár egy egész kép *L* eloszlását ki lehet számítani egy tetszés szerinti idõpontban.

Végezetül ez elméleti megfontolások után idekívánkozik néhány gyakorlati megjegyzés. Azt, hogy egy televíziókép hány sorra legyen felbontva és hogy egy-egy tv-sorban hány képelem helyezkedjék el (mekkora legyen a videojel sávszélessége), lényegében a gradienshatárolt kép fogalmából kiindulva kellett megszabni. Természetesen figyelembe kellett venni az emberi szem felbontóképességét és a maximális fénysûrûség-változási sebességet (grad *L*) ehhez kellett simítani. A kialakult tv-sorszámok, ill. video-sávszélességek jól tükrözik az elmélet és a gyakorlat párhuzamát.

Ami a másodpercenként továbbított tv-képek számát illeti (mozgókép mintavételi ideje, t_{mv}), itt már bizonyos engedményeket kellett tenni, mert a természetben elõforduló leggyorsabb képtartalom-változásokra nem lehetett egy rendszert (sem a mozit, sem a tv-t) alapítani. A mozgássebesség-korlátot elsõként a filmszakmában úgy vették figyelembe, hogy bizonyos kompromisszum árán a másodpercenként 24 képfelvétel mellett döntöttek. Ez már elég sûrû mintavétel ahhoz, hogy a legtöbb mozgás visszajátszva folyamatosnak tûnjék a szemlélõ számára; bár bizonyos esetekben ez a képfelvételi sebesség nem elegendõ. Legjobb példa erre a haladó, küllõs kerekû jármû esete: ilyen filmfelvételeknél a képen a mozgás sebessége

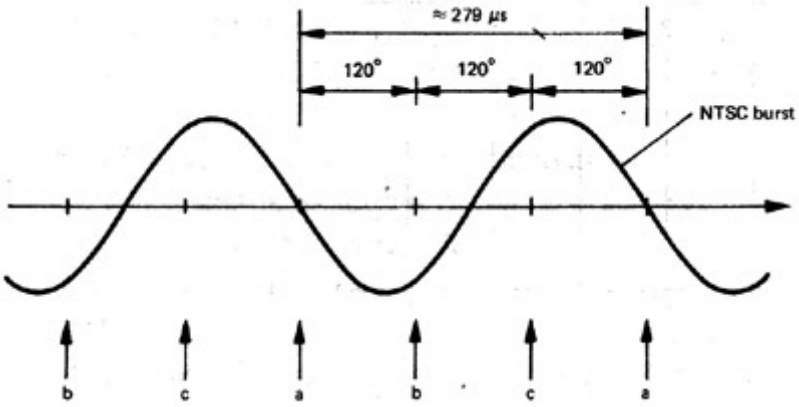
sokkal nagyobb, mint ami a 24 kép/s-os korlátból adódik, és így - nem tartva be a sávhatároltság követelményét - a mintavételi frekvencia kisebb a szükségesnél, aminek következménye a pl. hátrafelé forogni látszó kerék, miközben a kocsi elõrehalad. Helyes operatõri munkával azonban az ilyen problémák elkerülhetõk, így a mai tv-,(vagy mozi-) nézõ egyre ritkábban lát ilyen hibás felvételeket.

13.3.1. Összetett videojel digitális kódolása

Az összetett jel digitális kódolásának és dekódolásának immár klasszikus példáját az NTSC jel nyújtja. Az alábbiakban - csupán a legszükségesebbekre szorítkozva - áttekintjük ennek az eljárásnak a legfontosabb részeit.

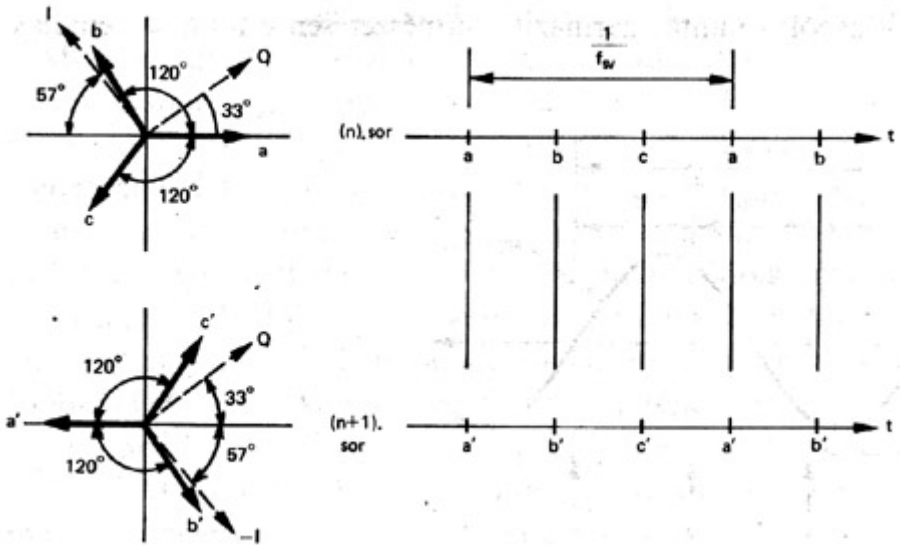
Alapul véve a 10.9. ábrán feltüntetett *I* és *Q* tengelyirányokat, egyszerûen belátható, hogy az *I* tengely pozitív iránya (123°) csupán +3°-kal tér el a 360° / 3 = 120° értéktõl. Ugyanígy belátható, hogy csupán 3° hibát jelent, ha a *Q* tengely irányát a szabványos 33° helyett 30°-osra tételezzük fel. (A tényleges eljárásnál e 3° "eltéréseket" is korrigálják, mi azonban itt az áttekinthetõség érdekében ezzel a korrekcióval nem foglalkozunk.)

Tételezzük fel ezután azt, hogy ebbõl az összetett, színes NTSC jelbõl a színsegédvivõ frekvencia háromszorosának megfelelõ frekvenciával úgy veszünk diszkrét mintákat, hogy egy adott félkép esetén az elsõ minta idõpontja az NTSC burstjelének negatív nullátmenetére essék. Ha ettõl kezdve betartjuk az $f_{mv} = 3 f_{SV}$ mintavételi frekvenciát, akkor a következõ mintavétel idõpontja ettõl 120°-ra esik, míg a harmadik további 120°-kal (kb. 93 μs) jobbra. A sorrendben negyedik minta már ismét a burst negatív nullátmenetével esik egybe stb. A viszonyokat szemlélteti a 13.7. ábra, amelyen az NTSC burstjel néhány periódusát feltüntettük, bejelölve azon az említett mintavételi idõpontokat.



A háromszoros színsegédvivõ frekvencia azt jelenti, hogy minden színsegédvivõ-periódusból 3 minta származik, természetesen e minták nemcsak a mindenkori szinsegédvivõ nagyságát, hanem az éppen aktuális *Y* értéket is magukba foglalják.

Egy soridõvel késõbb, azaz ennek a tv-sornak a lefutása után az NTSC rendszerben a színsegédvivõ fázisa a korábbihoz képest éppen ellenkezõ lesz, mivel f_{sv} értéke a sorfrekvencia felének páratlan többszöröse. Ennek megfelelõen az elsõ *a* minta itt a burst pozitív nullátmenetére esik, a következõ, *b* 120°-kal eltolva, míg a harmadik, *c* ismét 120°-ra az elõzõhöz. E kétféle mintavételi helyzetet mutatja a 13.8. ábra.



Az ábrán feltüntettük az *I* és *Q* irányokat is. A megadott **a**, **b** és **c** vektorok hosszát *I* és *Q* felhasználásával ki lehet fejezni az alábbi módon:

$a = Q \cos 33° - I \cos 57°$,

$b = Q \cos 87° + I \cos 3°$,

$c = Q \cos 27° - I \cos 63°$.

Az (n + 1) sorban levõ a', b' és c' egyszerûen elõjelváltással kapható.

Hanyagoljuk el a 3 °-os szöghibákat! Ez esetben felírható az alábbi három közelítõ összefüggés:

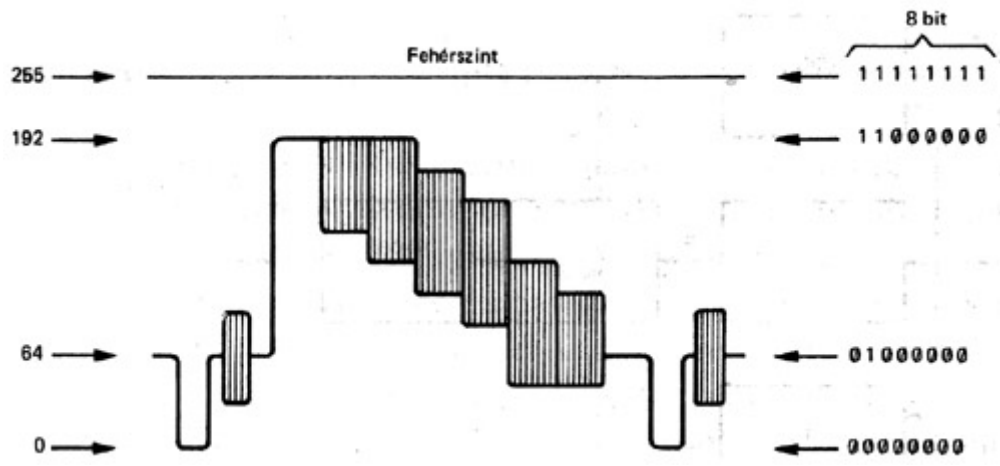
$$a \approx Q \cos 30° - I \cos 60° = \frac{\sqrt{3}Q - I}{2},$$

$$b \approx I,$$

$$c \approx -[Q \cos 30° + I \cos 60°] = -\frac{\sqrt{3}Q + I}{2}.$$

Vegyük figyelembe, hogy az idõ alatt, amíg e három mintavétel lezajlik, az *Y* értéke éppúgy nem változik meg, mint ahogy állandó marad *I* és *Q* is, hiszen a színsegédvivõ egy

periódusideje kb. 300 ns, ami elég rövid idõ ahhoz, hogy mind a három mennyiség jó közelítéssel állandónak legyen tekinthetõ.



NTSC jel leírása 8 bites mintákkal

A teljes minta értékét úgy kaphatjuk, ha *a*-hoz, *b*-hez és *c*-hez hozzáadjuk *Y* értékét, hiszen a segédvivõ mindig szuperponálódik a világosságjelre. Ezek szerint:

$$A=a+Y=Y+\frac{\sqrt{3}Q-I}{2},$$

$$B=b+Y=Y+I,$$

$$C=c+Y=Y-\frac{\sqrt{3}Q+I}{2}.$$

Átrendezve e három összefüggést és kifejezve belõlük *Y*-t, *I*-t, és *Q*-t, kapjuk az alábbi három egyenletet:

$$Y=\frac{A+B+C}{3},$$

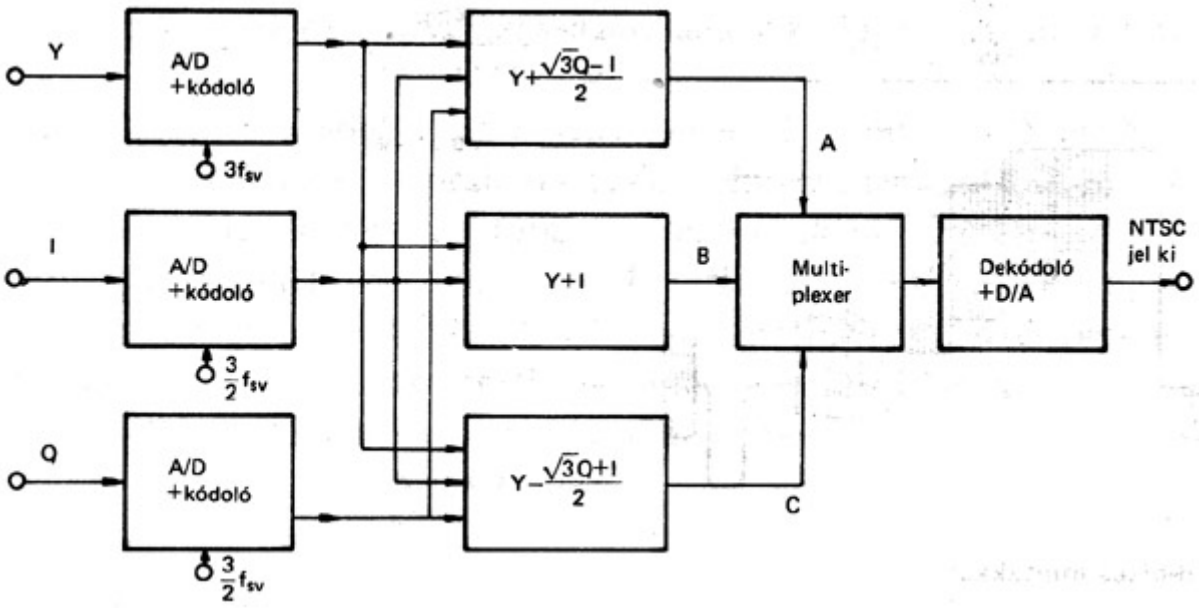
$$I=\frac{2B-(A+C)}{3},$$

$$Q=\frac{A-C}{\sqrt{3}}.$$

A (13.22), (13.23) és (13.24) egyenletek adják meg az alapját a digitális NTSC kódolónak, míg a (13.25), (13.26) és (13.27) összefüggések alapján megszerkeszthetõ a digitális elven mûködõ NTSC dekódoló. Ha ugyanis az *A*, *B* és *C* vagy az *Y*, *I* és *Q* mintákból a 13.9. ábra szerint 8-bites szavakat képezünk, akkor ezekkel minden további nélkül elvégezhetõk az idézett egyenletekben kijelölt számtani mûveletek (csak összeadás, kivonás, osztás, szorzás fordul elõ!).

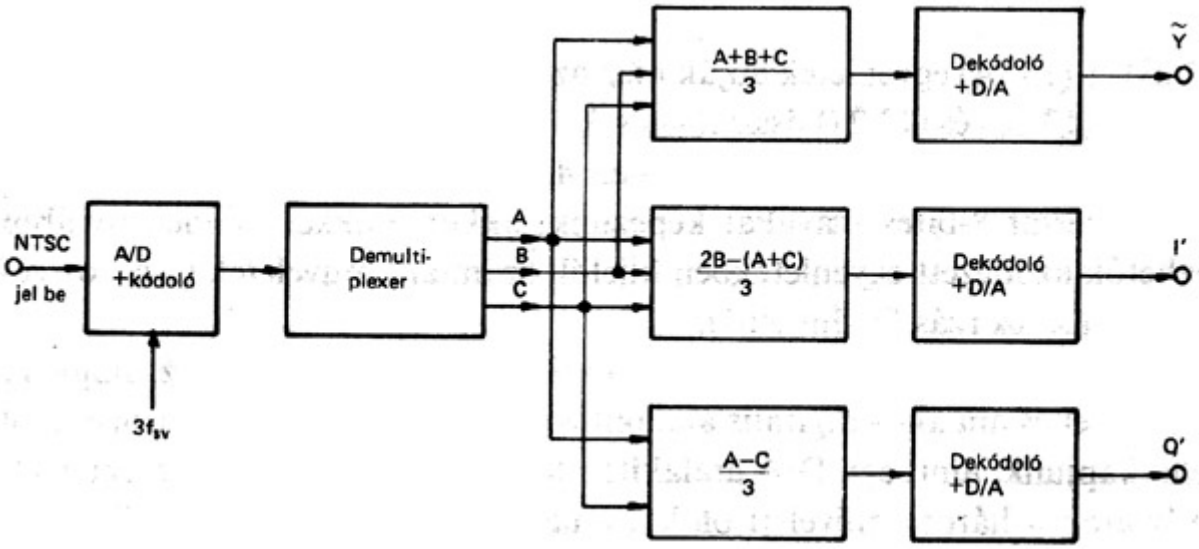
Az elvi mûveleti sorrendet a 13.10. ábra tömbvázlata tünteti fel, ahhoz, hogy *Y*, *I* és *Q*-ból mintavétel és analóg-digitális átalakítás után végül is minták sorozatából álló NTSC jelet

kapjunk, amit egy D/A átalakító alakít át analóg jellé. Jól megfigyelhetõ a tömbvázlaton a három mûveleti blokk, amelyekben a kijelölt alapmûveletek megfelelnek a (13.22), (13.23) és (13.24) egyenletekben leírtaknak.



13.10. ábra Digitális NTSC kódoló

A digitális jelfeldolgozó eljáráson alapuló NTSC dekódoló tömbvázlatát a 13.11. ábra szemlélteti. Itt látható a háromszoros színsegédvivõ frekvencián dolgozó A/D átalakító és kódoló, amelybõl idõben egymás után, 120°-kal eltolva kijön az *A*, *B* és *C* minta értékének megfelelo 8-bites szósorozat. Ezek ezután bekerülnek a mûveleti egységekbe, amelyek végrehajtják a (13.25), (13.26) és (13.27) egyenletekben megadott alapmûveleteket. Végül három D/A átalakító végzi a három analóg jel, az *Y*, *I* és *Q* elõállítását.



Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy az NTSC jel különösen alkalmas összetett jelként való digitális feldolgozásra, és így érthetõ, hogy az ezt a rendszert használó országok miért ragaszkodtak sokáig az összetett jel kódolásához. Mint már említettük, a már szinte

reménytelennek tûnõ megegyezést mégis sikerült elérni, a lehetõséget az összetevõk kódolásának egy új megoldása adta. Ennek a részleteit a következõ fejezetben ismertetjük.

13.3.2. Összetevõk szerinti digitális kódolás

A színes tv jel három összetevõje valamennyi tv-rendszerben a világosságjel és két színkülönbségi jel. Nyilvánvaló, hogy ha ezeket az összetevõket egymástól különválasztva párhuzamosan végezzük e jelek feldolgozását, akkor ez a módszer rendszertõl függetlenül használható, mert a három alapsávi jelösszetevõ lényegében azonos a három, világszerte használt színes tv-kódolási rendszerben.

Sajnos ez csak látszólag van így, mert ha most el is tekintünk az olyan könnyen áthidalható különbségektõl, mint pl. az *I* - *Q* és az *U* - *V* színkülönbségi jelek közötti különbség, a három rendszer, az NTSC, a PAL és a SECAM közül az utóbbi kettó 625 soros, másodpercenként 50 félképes rendszer, míg az NTSC 525 soros, másodpercenként 60 félképes rendszer lévén nincs meg eredendõen az áttérési lehetõség az összetevõk szintjén sem a 625 / 50 és az 525 / 60 rendszerek között. Így, bár az összetevõk szintjén végzett digitalizálás kiküszöböli a színes kódolások közötti különbségeket, egyáltalán nem tudja áthidalni - általános esetben - a sorszám és a félképfrekvencia közötti különbségeket. Márpedig egy egységes "világszabvány" csak akkor lehetséges, ha bármelyik másik jele viszonylag egyszerûen és fõleg információveszteség nélkül elõállítható digitális jelfeldolgozó eljárásokkal.

Ezen a nehéz problémán segített a 80-as évek elején közzétett új javaslat, amely egycsapásra vonzóvá tette minden tv-társaság számára ennek az újfajta összetevõkódolási eljárásnak az alkalmazását, függetlenül attól, hogy 625 / 50 vagy 525 / 60 rendszerben dolgozik-e. Sõt, éppen az új eljárás teljes egységessége teszi lehetõvé az olyan, korábban csak bonyolult normaváltó és átkódoló felhasználásával megoldható mûsorcserét, amely különbözõ rendszerû tv-stúdiók között okvetlenül szükséges. Vagyis az új eljárás széleskörû bevezetése új, igen egyszerû cserelehetõségek elõtt is megnyitja a kaput.

Az eljárás lényege alapjában véve azon a roppant egyszerû felfedezésen nyugszik, hogy létezik egy olyan - a világosságjel-összetevõre vonatkoztatott - mintavételi frekvencia, amely egyaránt egész számú többszöröse mind az európai, mind az amerikai tv-sorfrekvenciának. Ez a két egész számú többszörös ráadásul számértékben igen közel áll egymáshoz.

A javasolt (és azóta már világszerte elfogadott) *Y* jel mintavételi frekvenciájának értéke:

világosságjel: f_{mv}= 13,5 MHz.

Azonnal ellenõrizhetõ, hogy 625 / 50 rendszerben:

$$\frac{f_{mv}}{f_H}=\frac{13{,}5\cdot 10^6}{15\,625}=864,$$

míg ugyanez a hányados az 525 / 60 rendszerben:

$$\frac{f_{mv}}{f_H} = \frac{13{,}5 \cdot 10^6}{15\,734{,}265} = 858.$$

Ez azt jelenti, hogy a teljes soridõre vonatkoztatva az európai rendszerben egy tv-sornyi világosságjelbõl (*Y*) 864 minta születik, míg ugyanez az amerikai-japán rendszer esetén 858 mintához vezet. A %-os különbség a két számérték között igen kicsiny:

$$100\,\frac{864-858}{864} = 100 \cdot 0{,}007 = 0{,}7\%.$$

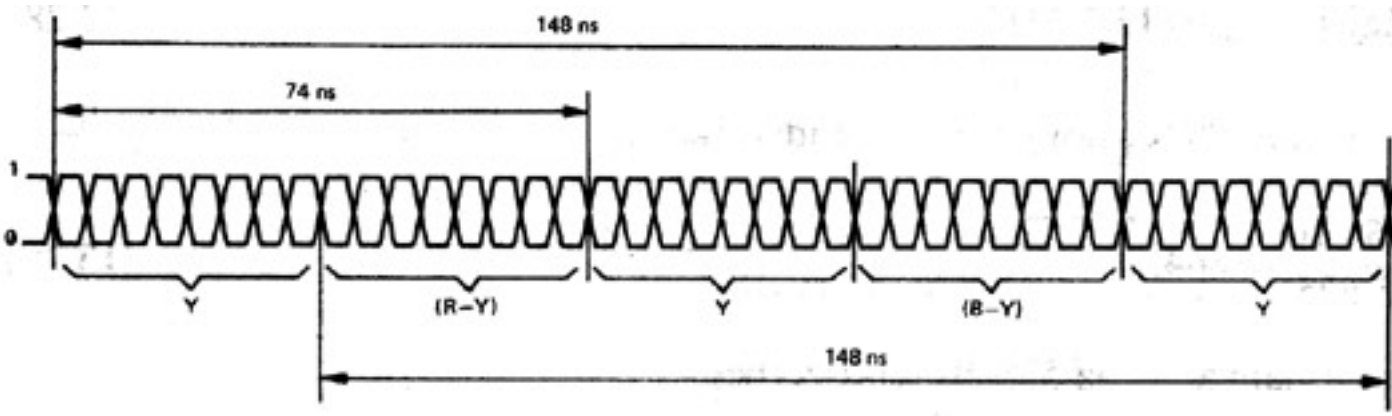
Ezt úgy mondhatjuk, hogy ha például egy európai tv *Y* jelébõl 13,5 MHz mintavételi frekvenciával veszünk mintákat, akkor e mintákat akár úgy is tekinthetjük, mint ha eredetileg egy amerikai rendszerû tv-mûsor *Y* jelébõl származnának és viszont. Vagyis a soridõket tekintve elmosódik a különbség a két világrendszer között, mert ezekután a 8-bites mintákat digitális képtárolóba téve, az abból való kiolvasás sebessége és módja - digitális szûrõket is feltételezve - már a kívánt rendszernek megfelelõen megválasztható. Így a digitális jelfeldolgozás megnyitja az utat a különbözõ rendszereket használó országok közötti mûsorok cseréjére is.

Természetesen a két színkülönbségi jelet is digitális minták segítségével formálják. Az ezekhez szükséges mintavételi frekvencia a 13,5 MHz fele, azaz: színkülönbségi jel:

$$f_{mv} = \frac{13{,}5 \cdot 10^6}{2} = 6{,}75 \text{ MHz}.$$

Itt már figyelembe vették azt a jól ismert tényt, hogy a színkülönbségi jelek sávszélessége kb. negyed-, ötödrésze a világosságjel sávszélességének, a kettes faktor biztosítja a képminõséget mintegy 3 MHz sávszélességû két színkülönbségijel-csatornával. Egyébként a 13,5 MHz mintavételi frekvencia fele, a 6,75 MHz egyben az *Y* jel sávszélességének elvi felsõ határa is (mintavételi tétel!), és látható, hogy ez a sávszélesség - még az ilyenkor szokásos tartalékot is leszámítva - maradéktalanul alkalmas bármelyik mûsorszóró tv-rendszer jelének a leírására, átvitelére.

A 13.12. ábra bemutatja mind az *Y*, mind pedig a két színkülönbségi jelbõl származó minták elhelyezkedését az idõtengelyen. A 13,5 MHz periódusideje jó közelítéssel 74 ns, ez adja meg két szomszédos *Y* minta idõbeni távolságát. Két *Y* minta közötti idõben kapott helyet váltakozva hol az egyik, hol a másik színkülönbségi jel, a (*B* - *Y*), ill. az (*R* - *Y*). Ezzel biztosított a kb. 148 ns idõtávolság két, idõben szomszédos (*B* - *Y*) vagy (*R* - *Y*) minta között, amely idõköz reciproka éppen a vonatkozó mintavételi frekvencia: 6,75 MHz.



Ami az információközlés sebességét (v) illeti, könnyen belátható, hogy ebben a javasolt, 13,5 / 6,75 rendszerben a 13,5 MHz periódusidejében, azaz 74 ns idõ alatt átvitelre kerül egy 8-bites *Y* és egy ugyancsak 8-bites színkülönbségi minta. Ez pedig már módot nyújt az információközlés sebességének, v-nek a meghatározásához, hiszen:

$v = 2 \times 8 \times 13{,}5 \times 10^6 = 216$ Mbit/s. (13.33)

Ez ugyan elég nagy sebességnek számít, de nem szabad megfeledkezni arról, hogy nem ez a jel kerül közvetlen kisugárzásra, sõt egyelõre valószínûleg csak egy-egy tv-stúdióházon belül kerül majd alkalmazásra. A késõbbiek során elképzelhetõ, hogy nemzetközi mûsorcseréket akár mûholdon keresztül is lebonyolítanak ezzel a módszerrel, mindenesetre az a hallatlanul nagy elõny, hogy egységes szabvány szerint folyik az összetevõire lebontott videojel digitális feldolgozása, amely magában hordja annak a lehetõségét is, hogy a távolabbi jövõben például mûholdon keresztül vagy például fénykábelen át egységes és igen jó minõségû digitálisan kódolt és átvitt képet kapjanak az ezredforduló tv-nézõi. Ez idõ szerint minden tv-társaság késznek mutatkozik ennek a javaslatnak az elfogadására, ill. annak jövõbeni bevezetésére oly módon, hogy a stúdiótechnikában fokozatosan áttérnek a digitális videojel elõállítására és feldolgozására.

Külön kell szólni arról az irányzatról, amely ugyancsak a 80-as években kezdett elterjedni a vevõkészülékek konstrukciója terén. Az ITT cég volt az elsõ, amely a videofrekvenciás fokozatokban A/D átalakítót és digitális jelfeldolgozást vezetett be. Ennek a megoldásnak természetesen nincs kapcsolata az elõbb ismertetett 13,5 / 6,75 eljárással, a vevõben végzett video jelfeldolgozásnak nem kell és nem is célszerû megegyeznie a professzionális tv-technika mintavételi és kódolási eljárásával. A vevõben a cél az, hogy az egyes feladatokat, amelyekre jól bevált analóg eljárások léteznek, kiváltsák digitális ekvivalensekre. Ezzel egy sor passzív alkatrészt, valamint beállítási, behangolási mûveleteket meg lehet takarítani, és az ily módon digitalizált tv-vevõ megbízhatóbb, stabilabb lesz, mint korábbi analóg társa. Ugyanakkor rá kell mutatni arra is, hogy ettõl az átalakítástól elvileg nem várható el jobb képminõség, hiszen a kiindulási alap, az analóg videojel a vevõben már adott, csupán arról van szó, hogy pl. analóg dekódolás helyett digitális dekódolási eljárással nyerik vissza az *Y* és a két színkülönbségi jelet stb. A megoldás részleteire helyhiány miatt itt nem térünk ki, azt azonban kihangsúlyozzuk, hogy a jövõ tv-konstrukciója mindenképpen a digitalizálás irányába fog eltolódni. Befejezésül utalunk a 15. fejezetre, amelyben a közvetlen mûholdas mûsorszórás kérdéseivel foglalkozunk. Ennek kapcsán ismét felvetõdik a digitális eljárások alkalmazásának kérdése, és a képtárolónak a megjelenése a tv-vevõben hatalmas lehetõségeket fog megnyitni a tv-mûsorvevõk által szolgáltatott kép és hang magas szintû reprodukálásában.

13.3. A videojel digitalizálása

Az elõzõekben áttekintettük az álló-, ill. a mozgókép diszkrét mintákkal való egyértelmû leírásának elvi kérdéseit. Azok alapján már kiszámíthatók egy-egy adott követelménynek eleget tevõ bármilyen televízió-rendszer alapvetõ mûszaki paraméterei: a szükséges tv-sorok száma, a videojel minimális sávszélessége, a tv-képek másodpercenkénti száma stb. Ezek a paraméterek egy különleges, egyedi célra tervezett képátviteli rendszer esetén szabadon választhatók, azonban a mûsorszóró tv-technika területén ezek már mind adottak, azokon változtatni a kompatibilitás megsértése nélkül nem lehet. Ezért a mûsorszórás céljára szabványosított és felhasznált tv-rendszeren, ezen belül pedig a videojel felépítésén, összetételén semmi olyan változtatás nem engedhetõ meg, amely a legcsekélyebb mértékben is rontaná a már meglevõ tv-vevõk üzemi paramétereit. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy végig az egész tv-láncon, kiindulva a kamerától és megérkezve a képcsõre, sehol semmilyen eltérés a szabványtól nem lehetséges, csupán arra kell gondosan vigyázni, hogy az egyes érintkezési pontokon, mint pl. a tv-stúdió kimeneti és a modulációs hálózat bemeneti pontja vagy a vevõkészülékek RF (antenna-) bemenete, mindig pontosan a szabványban rögzített jel legyen. A közbensõ jelfeldolgozási módszerek, átalakítások, például egy tv-stúdiórendszeren vagy egy vevõkészüléken belül elvileg bármilyenek lehetnek, a fontos csak az, hogy mielõtt a kritikus csatlakozási pontra kerülne a jel, gondoskodni kell a meglevõ szabvány betartásáról.

A digitális jelfeldolgozás elõnyeit elsõként a tv-stúdiótechnikai berendezésekben hasznosították, fõként azért, mert ezek a professzionális számítástechnikai eszközöket felhasználó berendezések egyébként is szakképzett személyzet kezelésében vannak, de nem utolsósorban a kezdeti tetemes költségek is csak ezen a szinten voltak megengedhetõk. Ennek megfelelõen a digitális jelfeldolgozó eljárások elsõként mindenütt a tv-stúdiókban törtek utat maguknak, és alapjában véve az összetett alapsávi videojelnek digitális jellé való átalakítását (analóg-digitális átalakítás, A/D átalakírás), ill. a digitális jelbõl ismét az eredeti összetett videojel (digitális-analóg átalakítás, D/A átalakítás) visszanyerésének a problémáját kellett megoldani.

Ezen a téren számos elvileg is különbözõ eljárást, rendszert kísérleteztek ki, amelyek sajnos általában nem illeszkedtek egymásroz. Így fordulhatott elõ akár ugyanabban a stúdióházban az a káros helyzet, hogy egy adott cél (pl. képkeverés) érdekében végeztek egy A/D és egy D/A átalakítást, a kettõ között végrehajtva digitálisan a kitûzött célt, majd a jel útján továbbmenve egy másik cél (pl. képtárolás) érdekében ismét sor került ugyanazon a jelen egy újabb A/D és D/A átalakításra, sõt ez akár többször is ismétlõdhetett. Teljesen ésszerûnek látszott az a kívánság, hogy lehetõségek szerint el kell kerülni a többszöri A/D és D/A átalakításokat, azaz a különbözõ digitális jelfeldolgozó eljárásokat össze kell hangolni egymással. Ez nem csupán a jel minõségének, torzítatlanságának a megóvása érdekében vált elengedhetetlenné, de közrejátszottak olyan nem elhanyagolható szempontok is, mint pl. a digitálisan rögzített vagy akár élõ képanyagoknak a nemzetközi cserélhetõsége.

Mivel a videojel - analóg formában - adott, ezért a számos elvi paraméter (sorszám, sávszélesség, félképek száma másodpercenként stb.) megváltoztatásáról nyilván nincs szó, szinte az egyetlen nyitott kérdés csak az volt, hogy magából az eredeti összetett, analóg kódolt színes videojelbõl vegyenek-e mintákat, vagy pedig külön-külön az összetevõire lebontott világosság- (Y) és színkülönbségi (I - Q, U - V, D_R- D_B) jelekbõl. Az elsõ eljárást összetett jel

digitális kódolásának, míg a másodikat összetevõk digitális kódolásának nevezik, és egészen a legutóbbi idõkig igen komoly ellentétek voltak a kétféle eljárás támogatói között. Ennek oka az volt, hogy az amerikai-japán NTSC színes, kódolt videojel természeténél fogva igen alkalmas arra, hogy összetett formában történjék meg a videojelbõl a minták vétele, míg a két európai rendszer, a PAL és a SECAM nem különösen alkalmas az ilyenfajta eljárásra. Így e két utóbbi rendszert felhasználó tv-társaságok az összetevõk szerinti kódolás mellett foglaltak állást, az NTSC rendszert használók viszont nem kívántak lemondani azokról az elõnyökrol, amelyeket az egyetlen (és nem 3!) csatornán való jelfeldolgozás nyújt, összetett jelkódolást feltételezve. A megoldhatatlannak látszó érdekellentétet a 80-as évek elején kifejlesztett, 13,5 / 6,75 elnevezésû, összetevõk szerinti mintavételi eljárás szüntette meg, mert mint látni fogjuk, ezzel az NTSC országok is olyan jelentõs elõnyökhöz jutnak, ami mellett eltörpül az összetett tv jel kódolásából származó elõny.

Nézzük azonban elõször az összetett NTSC jel digitális kódolási, ill. dekódolási eljárását, hogy világosan lássuk - mintegy példaként - az összetett színes videojel digitalizálásának folyamatát.

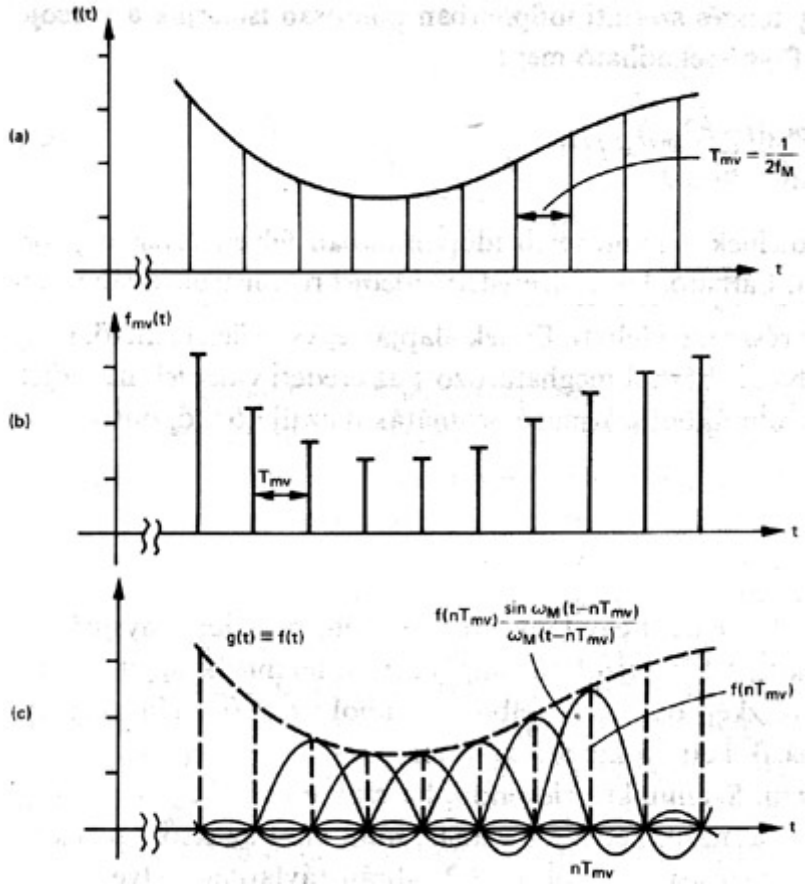
13. A videojel digitális feldolgozása

Az analóg formában rendelkezésre álló videojel digitális úton való feldolgozásához alapvetõen egy analóg-digitális átalakításra, majd a mûveletek elvégzése után egy digitális-analóg visszaalakításra van szükség. Mind az A/D, mind a D/A átalakítás a mintavételi elveken alapszik, hiszen a videojelnél, sávhatárolt jel lévén, egyszerûen meghatározható a mintavételhez szükséges minimális mintavételi frekvencia. Ha ezzel vagy ennél nagyobb frekvenciával mintákat veszünk a videojelbõl, akkor e diszkrét minták sorozata teljesen egyértelmûen leírja az eredeti folytonos videojelet nemcsak a mintavételi idopõntokban, hanem tetszés szerinti közbensõ idõpontban is. Ezen a tényen semmit sem változtat az, ha az alapjában analóg mintákból kvantálással és kódolással pl. bináris szavakat, kódokat képezünk, és a jelfeldolgozás mûveleteit ezekkel a digitálisan kódolt mintákkal végezzük el. További vizsgálataink megalapozásához ezért elõször röviden áttekintjük a mintavétel elméletének számunkra fontos részeit, majd kiegészítéseket teszünk annak érdekében, hogy a televíziókép kétdimenziós felépítésének megfelelõ kétdimenziós mintavétel elvi megoldásával is megismerkedjünk.

Nézzük elõször a hagyományos, egydimenziós mintavételi eljárást. Tételezzük fel, hogy a videojel egy rövid idejû részlete megfelel a 13.1. ábra legfelsõ részén feltüntetett görbének. Tekintettel arra, hogy a videojel a frekvenciatartományban egy jóldefiniált sávban helyezkedik el, ezért legnagyobb frekvenciájú össztevõjének frekvenciája egyértelmûen meghatározza a szükséges mintavételi frekvenciát. Ez a mintavétel elméletének megfelelõen:

$$f_{mv}|_{min} \geqq 2f_M.$$

A "nagyobb" jel arra utal, hogy a mintavételi frekvencia lehet nagyobb is, mint a felsõ sávhatár frekvenciájának a kétszerese, sõt a gyakorlati végrehajtás szempontjából egyenesen kívánatos, hogy ne éljünk az elméletileg szükséges minimális mintavételi frekvenciával.



Másképpen úgy is mondhatjuk, hogy akkor járunk el helyesen, ha két szomszédos mintavétel közötti idõ kisebb vagy egyenlõ a sávhatár-frekvencia kétszeresének reciprok értékével, azaz:

$$T_{mv}\,|_{max} \leqq \frac{1}{2f_M}\,.$$

Itt T_{mv}a minták közötti idõt, $f_M$pedig a videojel maximális frekvenciájú összetevõjének frekvenciáját jelöli.

Visszatérve a 13.1. ábra felsõ, *a)* görbéjére, az ábrán függõleges ordináták segítségével bejelöltük a mintavételi idõpontokat, sõt ezek az ordináták egyben már maguk a minták is, hiszen az ordináták hosszúsága megadja az $f(t)$ függvényként jelölt videojel diszkrét értékeit a mintavételi idõpontokban.

A szemléletesség kedvéért a 13.1. ábra középsõ, *b)* részén már csak az ily módon nyert (analóg) minták sorozatát tüntettük fel. E minták sorozata a mintavett jel, ezt $f_{mv}(t)$-vel jelöljük. A mintavétel elméletébõl számunkra most legfontosabb az, hogy e minták sorozatából egyértelmûen visszanyerhetõ az eredeti videojel, ugyanolyan folytonosan, ahogy az a mintavétel elõtt a rendelkezésünkre állt. Az eljárás, amely szükséges ahhoz, hogy egy

tetszés szerinti idõpontban pontosan ismerjük a videojel nagyságát, az alábbi összefüggéssel adható meg:

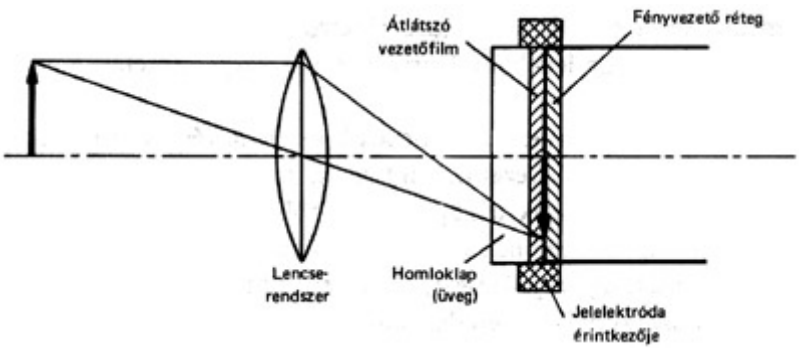
$$g(t)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(nT_{mv})\frac{\sin \omega_M(t-nT_{mv})}{\omega_M(t-nT_{mv})}=f(t).$$

Itt $f(nT_{mv})$az $f(t)$ videojelnek a mintavételi idõpontokban felvett értékeit jelöli, n pedig a minták sorszáma. Látható, hogy az eredeti videojel rekonstrukciójához egy adott idõpillanatban összegezni kell az egyes minták nagyságával megszorzott, sin x/x alakú függvényeket, amelyek el vannak tolva az egyes minták idõpontjaira. Mindezt a 13.1. ábra alsó, *c)* része szemlélteti. Ennek alapján egyszerûen érthetõ, hogy a minták közötti idõpontokban is bárhol meghatározott az eredeti videojel, ha elõjelhelyesen összeadjuk az egyes mintákból származó ordinátákat az illetõ idõpontban.

7.2. Fényvezetõ réteget alkalmazó képfelvevõcsövek

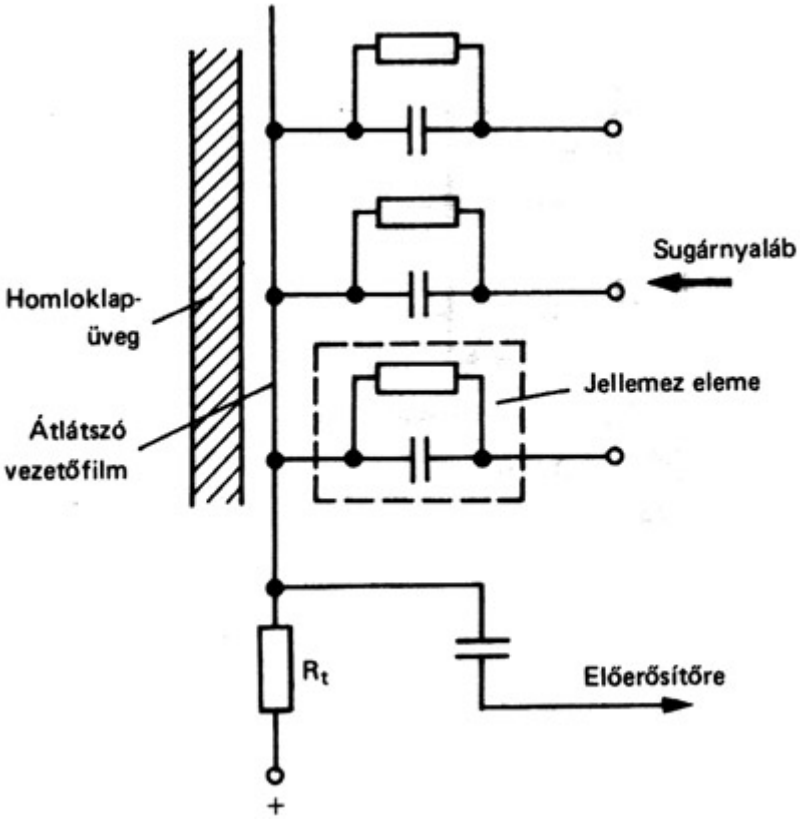
Ide tartoznak azok a képfelvevõcsövek, amelyek mûködési alapelve a következõ: az optikai lencsével leképezett kicsinyített kép egy olyan felületre kerül, amely a ráesõ fénymennyiség, azaz a megvilágítás arányában változtatja a vezetõképességét. Innét az elnevezés is: fényvezetõ (photoconductive) rétegû csõ. E családnak számos változata van, az alaptípust vidikonnak nevezik, de létezik a leddikon, a plumbikon, a newvicon, a sattikon változat is, hogy csak néhányat említsünk a számos márkanévvel védett fajtából. Elterjedésük 1960 óta rohamosan nõtt, ma szinte egyeduralkodók a tv-kamerákban alkalmazott felvevõcsövek között.

A csõ alaptípusának mûködési elvét a 7.1. ábra vázlata segítségével tekintjük át. A felbontandó képet egy optikai lencserendszer (az ábrán egyetlen lencsével ábrázolva) rávetíti az optikailag sík felületet képezõ homloküvegre. Ez utóbbi belsõ felületére van felvíve egy átlátszó, de villamosan jól vezetõ réteg, a jó villamos csatlakozást az üvegfal szélén körkörösen elhelyezett, ún. jellemez-elektróda biztosítja. Ennek az átlátszó vezetõfilmnek a belsõ oldalán kap helyet az egész felületre egyenletesen felvitt, s a fény hatására vezetõvé váló anyag. Az optikai kép erre a felületre van fókuszolva, és ez a réteg aszerint, hogy egyes részeire több vagy kevesebb megvilágítás esik, változtatja a villamos vezetõképességét. Sötétben ennek az anyagnak nagy a fajlagos ellenállása, amely azután csökken növekvõ megvílágítások esetén.



Ezt a fényvezetõ réteget úgy lehet tekinteni, mint amelyik igen sok kis elemi kapacitással csatlakozik a jellemezhez, minden egyes ilyen kis kapacitással párhuzamosan kapcsolódik egy ellenállás is. Ez utóbbi az, amelyiknek értéke változik a megvilágítás függvényében. Ezt a helyettesítõ kapcsolást mutatja a 7.2. ábra. A csõ belseje felõl egy folyamatosan pásztázó fókuszolt elektronsugár éri ezt a réteget. A jellemez elektródáját egy "közös" munkaellenálláson át kis pozitív feszültségre kapcsolják. A pásztázó elektronsugárból származó elektronok - amelyek kis sebességgel csapódnak bele ebbe a rétegbe - összegyûlvén a katód feszültségével közel azonos feszültségre töltik fel az egyes elemi kapacitásokat. Ezt hívják katódfeszültség-stabilizálásnak.

Ha elsõként feltételezzük, hogy a csõ ernyõje le van takarva, akkor az egész homloklap sötét, és így potenciálkülönbség alakul ki a rétegre merõlegesen, és minden egyes elemi kapacitás feltöltõdik erre a katód jellemez feszültségkülönbségre. Sötétben a fényvezetõ réteg alig vezet, jó szigetelõnek tekinthetõ, ezért két, egymás utáni pásztázás közötti idõben a párhuzamos ellenállásokon csak igen kis töltés folyik le.



Ezt az igen kis töltésmennyiséget pótolja a pásztázó elektronsugár eltérítésrõl eltérítésre, a jellemez-elektródán ilyenkor levehetõ áramot szokás ezért "sötétáramnak" is hívni.

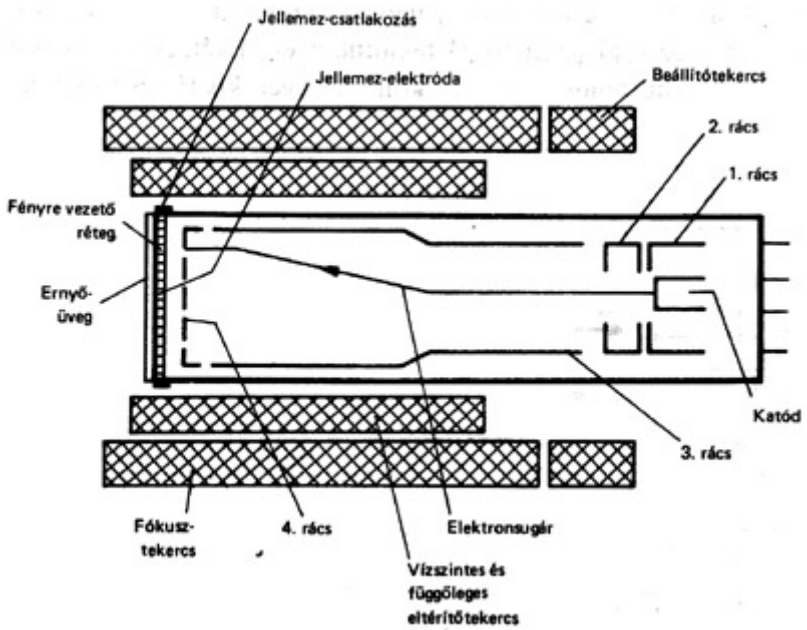
Ha egy optikai képet vetítünk a jellemezre, akkor azok az elemi részek, amelyeket nagyobb megvilágítás ér, jobban fognak vezetni, mint azok, amelyekre sötét képrészletek kerülnek. A vezetõbb részek kisütik a kapacitásuk töltését, és így a jellemez elektronágyúk felõli részén az optikai képnek megfelelõ potenciálkép fog kialakulni.

Ahogy az elektronsugár pásztázza a jellemezt, a pozitív töltéseket a becsapódó elektronok semlegesítik és visszaállítják az eredeti katódpotenciált. Ezzel együtt jár az, hogy a jelelektródán áramot hajtanak át a töltõdõ kapacitások, és az áramok eredõje feszültségesést hoz létre a közös munkaellenálláson. Ez pedig már a videojel, ami a további jelfeldolgozás céljából az elõerosítõ-fokozatokra kerül.

A csövet stabilizáltnak mondjuk, ha a sugáráram elegendõen nagy ahhoz, hogy a fényvezetõ rétegen a katódpotenciált helyre tudja állítani. Valamennyi elemi kapacitás, beleértve azokat is, amelyek az optikai kép legvilágosabb részeinél vannak, teljesen feltöltõdik a rajtuk végigsöprõ elektronsugár hatására.

Nézzük ezek után a vidikonrendszerû képfelvevõcsõ teljes felépítését. A csövet és az elektronsugár eltérítését, fokuszálását végzõ tekercskészletet a 7.3. ábra szemlélteti vázlatosan. A csõ mágneses eltérítésû, és mágneses mezõvel van megoldva a fókuszolási feladat is. A csõ jobb oldali végén helyezkedik el az elektronágyú, ez hozza létre az elektronsugarat, amely végül is a jellemezre becsapódva létrehozza a már említett egyenletes katódpotenciált.

Az elektronágyú a közvetett fûtésû katódból és a körülötte levõ 4 rácsból áll. Az l. rács feszültsége állítja be a sugáráram nagyságát. A 2. rács vagy másképpen l. Anód szerepe az elektronok gyorsítása. Ezek után a henger alakú 3. rács terébe jutnak, majd egy finom háló kiképzésû 4. rácson haladnak át, amely gondoskodik az elektronok lefékezésérõl, közvetlenül a jellemez elõtti szakaszon.



A fókusztekercs tengelyirányú mágneses mezõt hoz létre, ennek hatását a 3. rácsra adott feszültség egészíti ki. Az egész kiképzés olyan, hogy az elektronsugár fokuszálása éppen a jellemez síkjában az optimális. Az elektromos fókuszt akár a 3. rács feszültségével, akár a fókusztekercsen átfolyó áram szabályozásával lehet állítani.

Két beállítótekercs az elektronágyúk síkja közelében az elektronsugár sebességére merlõleges állítható mágneses teret hoz létre, segítségükkel lehet az elektronsugarat a csõ tengelyével párhuzamos irányúra szabályozni, vagyis ezek állítják be a pontos merõleges sugárbecsapódást a jellemezen.

Végül két eltérítõtekercs-készlet szolgáltatja a tengelyre merõleges, változtatható irányú és nagyságú mágneses mezõt, amelynek hatására a jellemez pásztázása, letapogatása tv-sorról tv-sorra bekövetkezik.

7.2.1. Plumbicon

A fény hatására vezetõvé váló réteg alkalmazásán alapuló képfelvevõcsövek leggyakrabban felhasznált változatának márkaneve: plumbicon. Jellegzetessége, hogy a fényvezetõ réteg ennél a csõfajtánál ólom-dioxid (PbO_2). Ez a réteg lényegében egy folytonos eloszlásban felvitt, záróirányban elõfeszített PIN diódák sokaságának tekinthetõ, ami magyarázza a csõ igen kis sötétáramát, a szokatlanul jó lineáris transzfer karakterisztikáját, a nagy érzékenységét, igen kis mértékû húzási hajlamát, kiváló felbontóképességét és aránylag kis hajlamosságát az erõs fény hatására jelentkezõ beégésre. Mindezen kedvezõ tulajdonságai alapján különösképpen alkalmas színes stúdiókamerák képfelvevõcsövének. Jóllehet az ólom-oxid-réteg spektrális érzékeny-sége 650 nm-nél nagyobb hullámhosszúságú fényre már igen gyenge, egy kismértékû kén adagolása az ólom-oxidhoz a plumbicon érzékenységét messze a vörös hullámhosszak tartományára is kiterjeszti.

Érdekes megoldás egyes plumbiconcsõ-típusoknál egy külsõ fényforrás alkalmazása, amely a húzási hajlamot tovább csökkenti. Ez a fényforrás a csõ katódja felõl, tehát az elektronágyú irányából veti fényét a fényvezetõ réteg belsõ, az elektronsugár által is pásztázott felületére, a jó fényvezetést a csõbura belsejében elhelyezett, villa alakban szélesedõ üvegcsõvel biztosítják. Ezzel a módszerrel még kis megvilágítások esetén is kifogástalan mûködést lehet biztosítani. Egy másik érdekesség, hogy a dinamikus sugáráram vezérlõ (DBC: Dynamic Beam Control) visszacsatolást létesít a jellemez munkaellenállása és az elsõ rács között. Ha a csõ homloklapján pontszerû, nagy fényerejû megvilágítást kap, akkor a szokásos sugáráram nem lenne elegendõen nagy az itt elfolyó elektrontöltések pótlására. Ez a visszacsatolás azonban - észlelvén a túl nagy megvilágítást - úgy változtatja meg az elsõ rács feszültségét a pásztázás idõpillanatában, hogy a sugáráram erre a rövid idõre hirtelen megnõ, és így a csúcsmegvilágítás értéke helyesen "olvasódik ki" a csõbõl: nem lesz fehérben vágva a kép.

7.2.2. Vidicon

A vidicontípusok jellegzetessége, hogy ezeknél a fényvezetõ réteg antimon-triszulfid (Sb_2S_3)anyagokból készül. E réteg érzékenysége nagymértékben függ a rajta fellépõ feszültségeséstõl, így ennél a fajtánál lehetséges az érzékenység szabályozása ezzel a feszültséggel. Sajnos a csõ kellemetlen tulajdonságai közé tartozik az, hogy a sötétáram erõsen függ a jellemez feszültségétõl, de a hõmérséklet is jelentõs befolyásoló tényezõ.

A vidicon fényvezetõ rétege nagyon hajlamos a húzásra és a beégésre. További hátrányos tulajdonsága a nemlinearitás, végsõ soron ezek miatt ezt a csõfajtát színes felvevõcsõként nem alkalmazzák, viszont elõnyösen használható ipari fekete-fehér felvevõkamerákban. Különösen, mivel a fényvezetõ réteg vékony, igen jó az érzékenysége: még mostoha megvilágítási körülmények között is használható képet ad. Ugyancsak ezt a felhasználási területet motiválja a viszonylag kis elõállítási költsége. Használják még orvosi célokra, pl. röntgenképek erõsítésére, ahol pl. a húzási hajlam nyilvánvalóan nem szempont.

7.2.3. Newvicon

Ennél a csõfajtánál a fényvezetõ réteg több különbözõ összetevõ eredõje: az egyes alrétegek összetétele ZnSe (cink-szelén), ZnTe (cink-tellur) és CdTe (kadmium-tellur), üzem közben ezt a réteget záróirányba kell elõfeszíteni. Ez a keverék réteg jelentõs sötétáramot eredményez, ami még hõmérséklettõl is függ.

A newviconcsõ elõnye, hogy igen nagy az érzékenysége, amely spektrálisan az infravörös tartományra is kiterjed. További elõny, hogy ez az érzékenység nem függ a jellemez feszültségétõl, kielégítõen lineáris a transzfer karakterisztikája és nem hajlamos a beégésre sem. Vékony a fényvezetõ rétege, ez magyarázza a nagy érzékenységét. Jellegzetes felhasználási területei az olyan helyek, ahol a nagy érzékenység alapkövetelmény: biztonsági vagy felügyeleti célú kamerák, ahol a kis méret és kis fogyasztás ugyancsak elsõrendû szempont. Infravörös tartománybeli érzékenysége ugyancsak alkalmassá teszik a newvicont speciális felhasználásokra is.

7. Színes képfelvevõ eszközök

Bevezetés

A televízió-technikában használt színes képfelvevõ eszközök túlnyomó többségét a tv-kamerákban alkalmazott képfelvevõcsövek képezik, de ugyancsak meg kell említeni a jelenleg még újdonságnak számító, félvezetõeszközökön alapuló képfelvevõ, ill. képfelbontó berendezéseket is. Lényegesen kisebb számban alkalmaznak ma már egyéb eszközöket színes képek felvétele céljából, ezek közül csupán az ún. futópontos képbontót említjük, de e felett is eljárt az idõ. A mai korszerû képbontóban, még a diabontóban is általában valamilyen fajta képfelvevõcsövet vagy félvezetõeszközt alkalmaznak. Jelen rövid áttekintésünket csupán a csövekre korlátozzuk.

A kamera képfelvevõcsöveit felhasználásuk alapján három nagy csoportra lehet felosztani:

- mûsorközvetítésre használt képfelvevõcsövek,

- zárt láncú, ipari felhasználású képfelvevõcsövek,

- különleges célú képfelvevõcsövek.

A felvevõcsöveket gyártó világcégek ennek figyelembevételével számos fajtát és típust fejlesztettek ki és gyártanak az elõbbi célokra. A mûsorközvetítés célját szolgáló képfelvevõcsövekkel szemben a legfõbb követelmények a következõk:

- nagy érzékenység,

- jó felbontás,

- nagy jel-zaj viszony,

- kicsiny utánhúzás,

- egyenletes spektrális érzékenység a látható fény hullámsávjában.

Ez utóbbi természetesen magára az eszközre vonatkozik, az már a kamera konstrukciójára tartozik, hogy ezeket a képfelvevõcsöveket el kell látni olyan optikai szûrõkkel, amelyek azután kialakítják a tényleges spektrális karakterisztikát.

Ugyancsak meg kell említeni olyan tulajdonságokat, mint pl. stabilitás erõs fényerõsség-változások esetén, egyenletes gradációérzékenység (gamma), és különösen kis megvilágítási szinteknél a zavaró jelektõl való mentesség. Stúdió-, ill. helyszíni közvetítések esetén a kamera gyakran ki van téve erõs külsõ mechanikai igénybevételnek, ezért a jó képfelvevõcsõ ismérve az, hogy nem mikrofonikus, azaz nem mutat mechanikai rezonanciát, és így nem hoz létre zavaró képtartalom-modulációt.

Ami a zárt láncú tv-alkalmazásokat illeti, a fenti paraméterek ott is fontosak lehetnek (egyik-másik esetleg fokozott jelentõségû), azonban a velük szemben támasztott követelmények jóval mérsékeltebbek, mint a stúdió céljára készült példányoké.

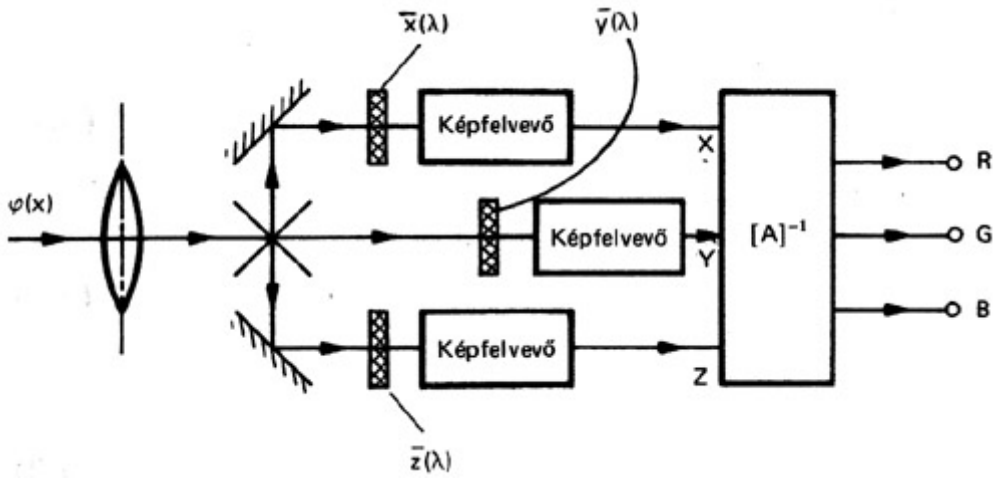
A különleges felhasználások közül kiemeljük azokat, amelyek a képfelvevõ eszközt nem a látható fény (400...700 nm) hullámsávjában, hanem alatta vagy felette üzemeltetik. Igen fontos terület a hõsugarakra (erõsen infravörös sugarakra) érzékeny kamera felvevõcsöve, vagy ennek ellentettje, az ultraibolya érzékenyítésû felvevõ-eszköz. A gyógyászatban, ill. anyagvizsgálatoknál használnak olyan felvevõcsöveket is, amelyek a röntgenképek felvételére is alkalmasak. A látható fény hullámsávjában dolgozó különleges képfelvevõ eszköz a szokásosnál sokszorta érzékenyebb kameracsõ, ezek a szó szoros értelmében a sötétben is "látnak".

A televízió közel félévszázados története során a képfelvevõ eszközök is hatalmas fejlõdésen mentek keresztül. Ezek nagy része már a mûszaki történelem mérföldköveit képezi: az ikonoszkóp, a szuperikonoszkóp, az emitron, sõt újabban már a szuperortikon is csupán emlék, ezeket kiváltották a 80-as évek technológiai szintjét képviselõ, a fényvezetés elvén alapuló képfelvevõcsõ-változatok. Ugyancsak egyre többet hallat magáról a teljesen félvezetõelemekbõl felépített képfelvevõ, bár ez utóbbi e könyv írásának idején (1984) kereskedelmi forgalomban még nem kapható. A korlátozott terjedelem következtében a jelenleg használatos képfelvevõfajtákat csak röviden, vázlatosan tudjuk ismertetni.

7.3. Színes televízió-kamerák

A színes tv-technikában alkalmazott kamerák akárcsak rendszertechnikai ismertetése is messze meghaladná e könyv kereteit. Ezért itt csupán a legalapvetõbb elvi kérdések tisztázására szorítkozunk, és a tv-kamerákat csak színhelyességre, a színvisszaadás elvi követelméríyeinek teljesítése szempontjából vizsgáljuk.

Feltételezzük, hogy a kamerákban használt képfelvevõ eszközök (képfelvevõcsövek) olyan optikai-elektromos átalakítók, amelyeknek spektrális érzékenysége alkalmas optikai szûrõvel a használt hullámhossztartományban ki van egyenlítve, vagy az egyenetlenségeket az egyéb, általunk is tárgyalt színszûrõk karakterisztikájának kialakításánál figyelembe veszik.



Tekintettel arra, hogy egy színes kamerának alapfeladata a három FCC alapszínjel, az *R*, a *G* és a *B* jel szolgáltatása, ésszerûnek látszik a kérdés olyan megközelítése, hogy használjunk erre a célra 3 különálló képfelvevõcsövet, amelyek közül az elsõ csak az *R*, a második csak a *G* és a harmadik csak a *B* jelet állítja elõ, természetesen ugyanarról a témáról felvett kép alapján. Láttuk korábban a (6.21) mátrixegyenlet alapján, hogy létezik egy egyértelmû összefüggés az FCC alapszínei és a CIE három színösszetevõje, az *X*, *Y* és *Z* között. Ha tehát egy alapjában színhelyes tv-kamerát akarunk létrehozni, akkor a feladatot az alábbi lépésekben célszerû megoldani:

a) biztosítani kell a felveendõ optikai kép egyidejû szétosztását 3 egyforma optikai úthosszal 3 képfelvevõcsõ részére,

b) gondoskodni kell optikai szûrõk segítségével, hogy a képfelvevõcsövek rendre a CIE $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$spektrális színösszetevõ függvényének megfelelõ megvilágítást kapjanak,

c) a 3 képfelvevõcsövön ily módon létrejövõ CIE *X*, *Y* és *Z* színösszetevõket folyamatosan és egyidejûleg át kell transzformálni az FCC alapszíneire, *R*-re, *G*-re és *B*-re.

Az ilyen kamera vázlatos elrendezését mutatja a 7.4. ábra. Az objektívre jutó továbbítandó kép egyes képelemeinek spektrális eloszlását a $\varphi(\lambda)$függvény jelöli. Itt már feltételeztük, hogy ez a $\varphi(\lambda)$függvény megfelel az élethû színvisszaadás elvi követelményeiben (1. 6.4. szakaszt) leszögezett feltételnek, azaz a kamera lencserendszere olyan spektrális eloszlásban kapja a képet, mintha azt "C fehér" fény világította volna meg.

Ezután következik az *a)* pontnak megfelelõen egy optikai szétosztó-rendszer, amely két, egymásra merõleges és féligáteresztõ, valamint két teljesen visszaverõ optikai tükörbõl áll. Az ábrán megfigyelhetõ, hogy az objektív síkjától mérve a fény útja a 3 képfelvevõcsõ homloklapjáig azonos hosszúságú. A 3 képfelvevõcsõ elõtt rendre elhelyeztünk egy-egy optikai szûrõt, amelyeknek a transzfer karakterisztikája megfelel a CIE spektrális színösszetevõ függvényeknek (l. az 5.13. ábrát).

Miután feltételeztük, hogy a képfelvevõcsövek spektrális érzékenysége egyenletes, ezért elvileg felírható, hogy a csövek által szolgáltatott kimenõ jelek arányosak lesznek a mindenkori képelem CIE színösszetevõinek nagyságával, azaz:

$$X=\int_{400}^{700} \varphi(\lambda)\bar{x}(\lambda)\, d\lambda,$$

$$Y=\int_{400}^{700} \varphi(\lambda)\bar{y}(\lambda)\, d\lambda,$$

$$Z=\int_{400}^{700} \varphi(\lambda)\bar{z}(\lambda)\, d\lambda.$$

Az utolsó elvi lépés, amit még meg kell tenni ahhoz, hogy FCC *R* - *G* - *B* jeleket kapjunk, az az, hogy a már hivatkozott (6.21) összefüggésnek eleget tevõ három mátrixáramkörrel létre kell hozni a három alapszínjelet az *X*, *Y* és *Z*-bõl.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}.$$

Azonban már itt meg kell jegyezni, hogy az ily módon kialakított színes tv-kamera 3 kimenõ jele esetenként (a képelem színétõl függõen) negatív (!) értékû alapszínjelet is fog adni, egyszerûen azért, mert az FCC alapszínekkel nem írható le a teljes CIE színdiagram (1. az 5.14. ábrát) minden pontja úgy, hogy pozitív értékeket adunk csupán *R*-nek, *G*-nek és *B*-nek. Így szükségképpen negatív alapszínérték kell hogy adódjék minden olyan esetben, amidõn a képelem színe kívül esik az FCC színháromszögén (l. a 6.2. ábrát). Márpedig egy negatív alapszínértékkel a színes képcsõ nem tud mit kezdeni, hiszen ha egyszer egy elektronsugár lezárt, akkor annál jobban "lezárni" már nem tud, még kevésbé tud negatívvá Válni, ha ennek lenne egyáltalán értelme.

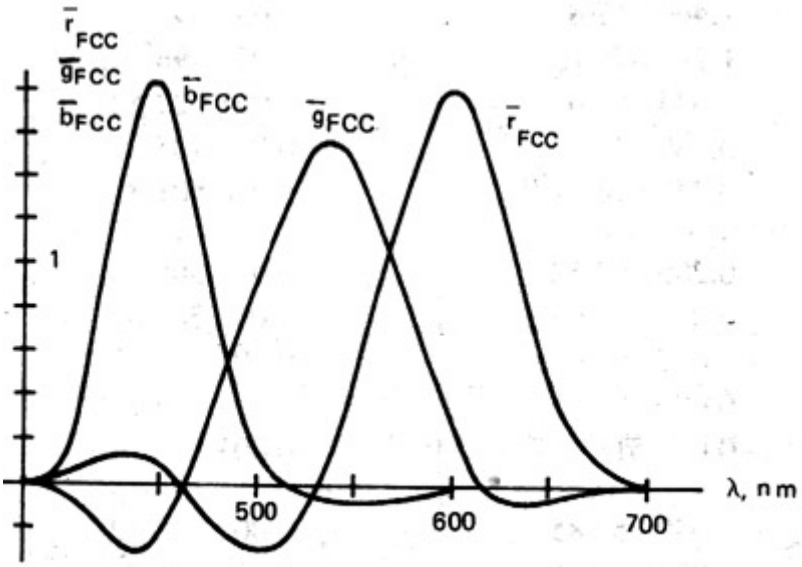
Ezzel együtt a 7.4. ábra színes tv-kamerája elvileg tökéletesen mûködik, megoldja a vele szemben támasztott alapkövetelményt: szolgáltatja a felvett kép képelemeinek megfelelõ 3 FCC alapszínjelet a színmérési szabályoknak megfelelõen, még ha azok történetesen negatív értékûek is. Van azonban e megoldásnak több gyakorlati hátránya, amely fõleg a mátrixolásból származó megnövekedett zajszintbõl, vagy ami ezzel egyenértékû, az érzéketlenségbõl fakad. Ilyen szûrõrendszerben ugyanis nem lehet jól kihasználni a felvevõcsövek érzékenységét.

Ésszerûnek látszik tehát az a törekvés, hogy olyan optikai szûrõrendszert alkalmazzanak, amelyek után már nincs szükség mátrixolásra. Vagyis olyan kamerakialakítás a célszerû, amelyben a képfelvevõcsövek közvetlenül adják a három alapszínjelet, *R*-t, *G*-t és *B*-t. Ehhez természetesen a 3 szûrõ transzfer függvényét meg kell változtatni úgy, hogy azok megfeleljenek a színmérési szabályoknak.

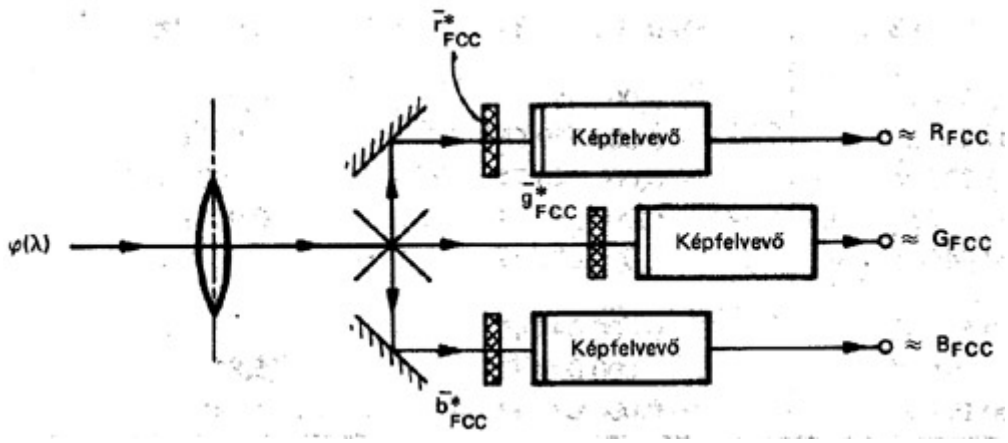
Vegyük alapul a (7.4) mátrixegyenletet, és helyettesítsük be *X*, *Y* és *Z* helyére a CIE spektrális színösszetevõk értékeit (l. az 5.5. táblázat adatait). Ily módon minden egyes hullámhosszra adódik egy-egy *R* - *G* - *B* értékhármas, amelyeket értelemszerûen és felülvonásokkal jelöljük.Ezek szerint:

$$\begin{bmatrix} \bar{r}_{FCC}(\lambda) \\ \bar{g}_{FCC}(\lambda) \\ \bar{b}_{FCC}(\lambda) \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix}.$$

Ezeket a színes tv alapszíneire átszámolt spektrális színösszetevõ függvényeket adja meg a 7.5. ábra, ill. a 7.1. táblázat. Jól látható ezekbõl, ami várható volt, hogy a görbéknek bizony van negatív szakaszuk is, így ezeknek mint a szûrõ transzfer karakterisztikáinak a realizálása elvileg nem lehetséges. Ha azonban tekintettel vagyunk arra, hogy a képvisszaadó csõ, sõt maga a színes tv-rendszer sem lenne alkalmas a választott alapszínháromszögön kívüli színek megjelenítésére, akkor nem tûnik durva közelítésnek az, ha azt mondjuk: próbáljuk a három optikai szûrõ valóságos transzfer karakterisztikáját úgy kialakítani, hogy a pozitív tartományok feleljenek meg a számított értékeknek, míg a negatív tartományok helyett legyen a szûrõ áteresztési csillapítása igen nagy, azaz közelítsük a negatív szakaszokat zérussal. Így persze már nem lesz hibátlan a színek leképezése, de a gyakorlat azt mutatja, hogy az ily módon kiképzett színes tv-kamera igen jó minõségû színes képet ad, és csak az extrém nagy telítettségû színek reprodukcióinál van hiba. Ezzel viszont egyébként is számolnunk kell, hiszen ezek a színek mindenképpen kívül esnek az FCC színháromszögön.



Ezek szerint tehát a 7.4. ábra szerinti elrendezés módosításával már a gyakorlatban is jól használható kameraösszeállítás adódik, ezt rajzoltuk meg a 7.6. ábrán.

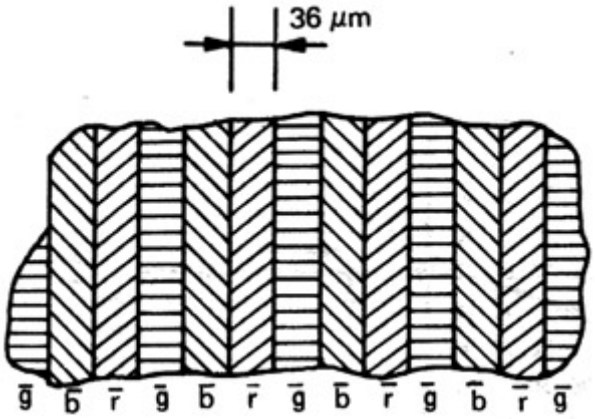


Elmaradt a mátrix, a 3 szûrõ pedig a 7.6. ábra görbéibõl a negatív szakaszok nullává tételével adódó *-gal jelölt transzfer karakterisztikát valósítja meg:

$$R_{FCC}=\int \varphi(\lambda)\bar{r}_{FCC}(\lambda)\,d\lambda \approx \int \varphi(\lambda)\bar{r}^{*}_{FCC}(\lambda)\,d\lambda,$$
$$G_{FCC}=\int \varphi(\lambda)\bar{g}_{FCC}(\lambda)\,d\lambda \approx \int \varphi(\lambda)\bar{g}^{*}_{FCC}(\lambda)\,d\lambda,$$
$$B_{FCC}=\int \varphi(\lambda)\bar{b}_{FCC}(\lambda)\,d\lambda \approx \int \varphi(\lambda)\bar{b}^{*}_{FCC}(\lambda)\,d\lambda.$$

Egy további kívánság - ismét a gyakorlati tapasztalatokat felhasználva - az, hogy ne kelljen a 3 felvevõcsövet igen szigorú követelmények elõírásával pontosan együttfuttatni. Ez ugyanis a felbontást kritikussá teszi, mert a 3 eltérítõ-rendszernek egy képelemnél kisebb méretû toleranciával kell együttdolgoznia, ellenkezõ esetben nem összetartozó képelemek alapszínjelei kerülnek egyidejûleg a kimenetre, ami nyilván a felbontás romlásával jár. Ezt úgy lehet elkerülni, hogy alkalmaznak egy negyedik felvevõcsövet is (4-csöves kamera), amely nagy sávszélességgel csupán az *Y* (világosságjel) felvételére szolgál, míg a másik 3 lényegesen kisebb sávszélességgel és toleranciával csak a színinformáció felvételét végzi. A másik megoldás még egyszerûbb, a zöld (*G*) alapszínjel-csatornát képezik ki *Y* csatornává nagy sávszélességgel, míg a másik kettõ csupán kis felbontással végzi a színinformáció feldolgozását (3-csöves *YRB* kamera). A zöldcsatorna színszûrõje ugyanis igen hasonló karakterisztikájú kell hogy legyen, mint a $v(\lambda)$ láthatósági függvény (1. az 5.5. ábra), ami viszont szükséges a jó *Y* jel elõállításához.

Végül megemlítjük még, hogy létezik egyetlen képfelvevõcsövet alkalmazó színes tv-kamerakonstrukció, amelynél az egyetlen képcsõ homloklapja mögött az üvegburán belül igen vékony szeletekben függõleges állású színszûrõhármas ismétlõdik (7.7. ábra).



A letapogató elektronsugár az ilyen csõnél (trinicon) egymás után adja a képtartalomnak megfelelõ *R*, *G* és *B* értékeket, így a videojel további, aránylag bonyolult feldolgozást igényel ahhoz, hogy végül is külön-külön, de természetesen egyidejûleg rendelkezésre álljon a három alapszínjel. Az idõmultiplex módon létrejövõ *R*, *G* és *B* alapszínjelek pontos szétválaszthatóságát egy járulékos, ún. indexelektróda teszi lehetõvé, amelyrõl nyerhetõ a színszinkronjel, mivel ennek csíkozott kivitele pontosan megfelel a csíkokból álló színszûrõsávok osztástávolságának. Az ilyen sávos kiképzésû színszûrõs kamera felbontása természetszerûleg nem lehet olyan jó, mint a 3- vagy a 4-csöves megoldásé. Hallatlan elõnye viszont az, hogy nincs szükség szigorú követelményeket kielégítõ eltérítõ-áramkörökre,

együttfutásra, hiszen egyetlen csõ egyetlen elektronsugarával megy végbe a kép három alapszínre való felbontása. Ma már ezek az egycsöves színes kamerák is olyan jó minõségûek, hogy riporteri, híradó-felvételi célokra még a professzionális tv területén is alkalmazást nyertek.

Bevezetés

Ha visszatekintünk a földi mûsorszóró televíziózás mintegy 50 éves múltjára, akkor egyértelmûen megállapítható, hogy bár minden fejlesztés, újdonság bevezetése a maga idejében teljesen korszerû volt, ma már egészen más módon oldanánk meg egyes feladatokat, másképpen dolgoznánk ki az egész rendszertechnikát. Sajnos azonban a múltbeli döntések, szabványosítások olyan erõvel hatnak a mára, hogy drasztikus korszerûsítésrõl, alapvetõ szabványmódosításról csak akkor beszélhetünk, ha a mûsorszórásban valami merõben új technológia, eljárás vagy frekvenciasáv-használat bevezetésére kerül sor. Ha ennek hordereje elég nagy ahhoz, hogy még a megnövekedett költségek ellenére is lehet számítani a fogyasztók széles körében való terjedésre, akkor lehetséges a "kiugrás", de ebben az esetben is gondolni kell a már meglevõ és a hagyományos elven mûködõ tv-vevõk millióira: ezeknek mûsorral való ellátását további kb. 10-15 éven át (a vevõk erkölcsi elhasználódásáig) az új eljárással együtt, azzal párhuzamosan biztosítani kell!

Itt kell megjegyezni, hogy egy ilyen határkõ éppen e könyv írásának idején, a 80-as évek derekán tûnt fel: a földi mûsorszórás mellett bevezetés alatt áll a közvetlen mûholdas mûsorszórás, a DBS (Direct Broadcast Satellite). Egy vadonatúj frekvenciasáv (12 GHz), új modulációs eljárás (FM), továbbá új kódolási rendszer (C-MAC, kiterjesztett PAL) mind azt sugallja, hogy azok, akik venni kívánják a DBS adásokat eredeti minõségben, kell, hogy új berendezést vásároljanak, vagy ha meg kívánják tartani a régi tv-vevõjüket, akkor megfelelõ adapterrel tudják csak azok DBS vételi lehetõségeit biztosítani. E kérdéseket részletesen a 15. fejezetben tárgyaljuk, jelen fejezetben és a következõben is csak a földi mûsorszórás kérdéseivel foglalkozunk, ezért a megállapítások, következtetések is erre vonatkoznak.

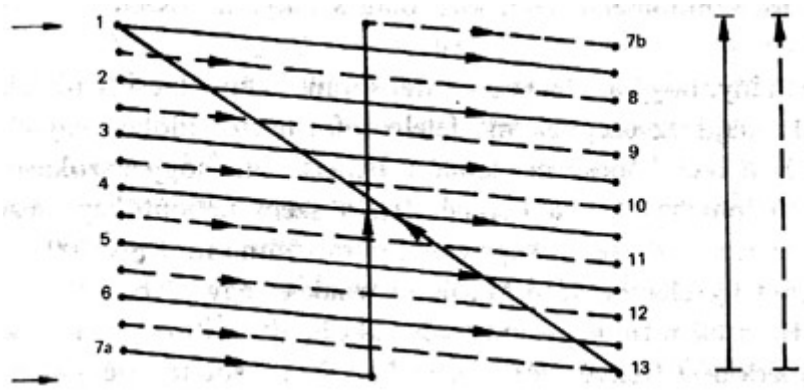
Mint már említettük, a földi mûsorszórás fejlõdése csupán olyan kisebb-nagyobb lépések sorozatával volt lehetséges, amelyek az újat mindig összeférõvé, kompatibilissé tették a már meglevõ régivel. Ez a tradícióktól való állandó függés rányomta a bélyegét a továbbfejlesztés, korszerûsítés minden egyes lépésére, és így sajnos sokszor gátjává vált a haladásnak, bár az is kétségtelen, hogy egyes esetekben (pl. a kompatibilis színes tv-mûsorszórás megalkotása) zseniális ötleteket, megoldásokat hozott létre, és sok esetben olyan ismeretek kerültek felszínre, amelyek egyébként valószínûleg örökre rejtve maradtak volna. Annyi bizonyos, ha a mai tudásunkkal és az elektronika jelenlegi szintjén lehetne szabadon a tv képátvitel-rendszert kialakítani, valószínûleg egészen másképp alakulna minden a jelenlegi megszokotthoz képest.

9.2.1. Váltottsoros képfelbontás

Az eljárás váltottsoros képfelbontás vagy tv-sorok közbeszövése néven ismert. Az elgondolás lényegét vázlatosan a 9.1. ábra mutatja, ahol a jobb áttekinthetõség miatt csupán 13 sorra bontottuk a képet. Az egyes sorok azért látszanak "ferdének", mert mind a függõleges, mind a vízszintes eltérítés folyamatosan mûködik, és mivel az ábrákon a sorszám kicsiny, észrevehetõen "süllyed" a pont helyzete már azalatt az idõ alatt is, amíg egyetlen sor letapogatása folyik.

Jól megfigyelhetõ a 9.1. ábrán, hogy mialatt az 1., 2., 3. stb. sorokat idõben egymás után végigsöpri az elektronsugár, közöttük üres hely marad. A 7. sor letapogatása már be sem tud fejezõdni, mert az "félúton" eléri a kép alját. Ekkor - az egyszerûség kedvéért végtelen gyors függõleges irányú visszafutást feltételezve - a 7. sor nyomvonala a kép tetején folytatódik. Mivel a sor közepén folytatódott a 7. sor másik felének a letapogatása, mire az elektronsugár a sor végére ér, a becsapódási pont helyzete fele annyival lesz lejjebb a kép felsõ szélétõl, mintha az egy egész sort rajzolt volna fel. Ismét végtelen visszafutást feltételezve - ezúttal vízszintes irányban - a 8. sor elejének a helyzete egy magasságban van a 7. sor végével, így a 8. sor pontosan az l. és 2. sor közé kerül. Hasonló a helyzet a kép hátralevõ többi soraival is: azok közbeszövõdnek az 1-7. sorokkal a közben üresen maradt sorközökben.

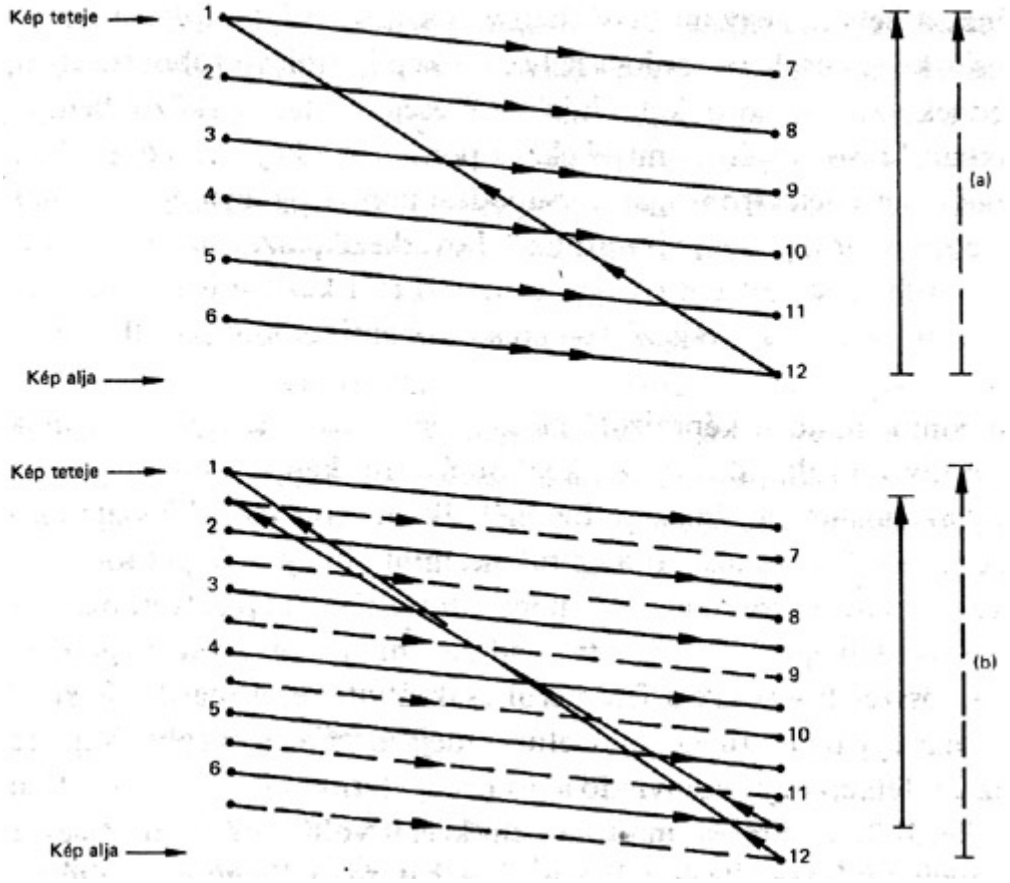
Az utolsó, példánkban 13. sor végén - mivel ekkor pontosan a kép alján és egyben egy sor végén helyezkedik el az elektronsugár becsapódási pontja - egyidejûleg mind vízszintes, mind függõleges irányban "visszafutás" következik, azaz a letapogató sugár felkerül a kép bal felsõ sarkába, az 1. sor elejére. Ettõl kezdve ismétlõdik az egész folyamat és kezdetét veszi a következõ tv-kép soronkénti felbontása, ill. felrajzolása.



Ha mind a képfelbontó, mind a képrajzoló eszközben biztosítva van az azonos rendszerû és idõben szinkronizált váltottsoros képbontási, ill. képrajzolási rendszer, akkor a végeredmény azonos lesz a filmek vetítésénél alkalmazott megoldással: másodpercenként kétszer annyi felvillanást lát a szemünk, mint ahány tv-képet továbbít a rendszer. Más szavakkal úgy is mondhatnánk, hogy adott számú kép helyett másodpercenként kétszer annyi "félképet" visz át a tv-rendszer, hiszen egyetlen függõleges irányú lefutás alatt az összes tv-sornak a fele kerül csak átvitelre, a másik "félkép" sorainak felrajzolása már egy újabb függõleges lefutás ideje alatt megy végbe. Végtére is egy teljes kép, azaz két félkép ugyanannyi idõ alatt (és így természetesen változatlan sávszélesség mellett) kerül továbbításra, mint ha nem került volna sor a váltottsoros képbontás elvének alkalmazására, de a villogást meghatározó függõleges eltérítõ frekvencia (tulajdonképpen: félképfrekvencia) a kétszeresére nõtt.

Érdekes megfigyelni, hogy ez az eljárás csak páratlan sorszám esetén realizálható egyszerû, olcsó eszközökkel, páros sorszám esetén különleges elõírásokat kell tenni a függõleges eltérítés számára. Ez könnyen belátható a 9.2*a* ábra segítségével, amelyen egy 12 soros, tehát páros számú képfelbontás látható a váltott soros képfelbontási elv egyidejû alkalmazásával. Az elsõ félkép végéig, ábránkon a 6. sor végéig látszólag nincs semmi baj. Mivel azonban a 6. sor vége egyben a kép alját is jelenti, ezért a visszafutás egyszerre megy végbe vízszintes és függõleges irányban, tehát az elektronsugár felugrik a kép bal felsõ sarkába. Ez azt jelenti, hogy a következõ és az összes többi félkép rajzolása nem az üresen hagyott sorközökbe folyik, hanem az elõzõ félkép sornyomvonalain. Ez végül is a tervezett 12 soros kép helyett egy 6-soros képet eredményezne, ami 50% os információveszteséget jelentene. Ha mégis ragaszkodnánk a páros sorszámhoz, akkor a 6. sor végén a függõleges visszafutási nagyságát csökkenteni kellene annyival, hogy az új félkép elsõ sora a 9.2*b* ábra 7., szaggatott vonallal rajzolt nyomvonalára essék. Ugyanígy a 12. sor végén nagyobb függõleges visszafutás kell ahhoz, hogy az új kép elsõ sora ismét a helyére, a folytonos vonallal rajzolt 1. nyomvonalra kerüljön (l. a 9.2*b* ábrát).

Végsõ soron csak úgy lenne fenntartható a páros sorszám ellenére a váltottsoros képfelbontási rendszer, ha a függõleges eltérítés kezdopontját és nagyságát minden félképnél fel-le változtatnánk, egy igen pontosan betartandó kis értékkel. Ez - különösen nagyobb tv-sorszám esetén - gyakorlatilag olyan drága és bonyolult megvalósítást tenne szükségessé, hogy ezért sehol sem használják. Ez az oka annak, hogy bár többféle, eltérõ tv-sorszámú mûsorszóró tv-átvitel létezik (és létezett), a sorok száma valamennyinél páratlan szám.



9.2.2. A sorok számának megválasztása

A korábban meghatározott, kb. 600 sorból álló tv-kép sorszámát a különbözõ tv-társaságok, ill. országok szabványosították. Abban az idõben (1940-1950) sajnos nem jött létre nemzetközi megegyezés az egységes sorszám megválasztására, ezért kezdetben több, különbözõ sorszámú mûsorszóró rendszer is létrejött.

A sorszámot a felbontási követelményböl származó 600 körüli értékre vették fel, és természetesen páratlan számot választottak a váltottsoros képfelbontási elv egyszerû keresztülvihetõsége érdekében. További szempont volt még a sorszám megválasztásakor az, hogy az lehetõleg kis számok szorzataként legyen elõállítható. Erre az akkori frekvenciaosztási megoldások kényszerítették a rendszerek tervezõit: egy lépcsõben kb. 10-nél nagyobb leosztást nem lehetett megbízható módon megvalósítani, (Magára az osztásra, a függõleges és a vízszintes eltérítõ frekvenciák közötti pontos arány biztosítására volt szükség.) Így idõrendi sorrendben az alábbi sorszámok terjedtek el:

405 sor = 3 x 3 x 3 x 3 x 5 Anglia,

525 sor = 3 x 5 x 5 x 7 USA, Japán,

625 sor = 5 x 5 x 5 x 5 európai országok,

819 sor = 3 x 3 x 7 x, 13 Franciaország.

Ma már a 405 soros régi angol rendszer és a 819 soros francia rendszer is megszûnt. Ennek oka, amint késõbb látni fogjuk, elsõsorban a színes tv térhódítása, de nem elhanyagolható szempont az egyre jobban tért hódító nemzetközi mûsorcsere lehetõségének a biztosítása sem. Ez idõ szerint Európa, Ázsia (Japánt kivéve), Ausztrália és Afrika országaiban túlnyomórészt 625 soros, míg Észak- és Dél-Amerikában, valamint Japánban 525 soros rendszert használnak mûsorszórási célra.

9.1.3. A másodpercenkénti képek száma

Mivel a villogás kérdését a váltottsoros képfelbontás alkalmazása megoldja, a képfrekvencia annak idején (1940-1950) szabadon választható volt, ezért azt az erõsáramú hálózati frekvencia felére választották. E választást indokolta egyebek között az is, hogy így nem kellett a tv-vevõkészülékek hálózati egységében szigorú szûréseket elõírni, hiszen ha hálózati

búgófeszültség (brumm) esetleg zavart okozott is a képen, az így helyben állóvá vált, és ezért nem volt észrevehetõ. Európában még egy további szempont volt az is, hogy a tv-ben így zavar nélkül bemutathatták a filmszínházak számára készült mozifilmeket, hiszen az európai hálózati frekvencia 50 Hz, s annak fele, 25 Hz lett a tv-képek frekvenciája, ami 1 Hz-cel különbözik csupán a mozifilmek 24 kép/s értékétõl. A tengeren túli országokban a hálózati frekvencia 60 Hz lévén, ott a tv-képek frekvenciáját 30 Hz-re választották. Mozifilmek közvetítésére ezért ott különleges eljárást kell alkalmazni, amely áthidalja a tv 30 Hz és a mozifilmek 24 Hz képfrekvenciái közötti jelentõs különbséget.

Láttuk, hogy a váltottsoros képfelbontásból származó félképek frekvenciája, azaz a függõleges eltérítés frekvenciája éppen kétszerese a tv-kép frekvenciájának, vagyis az megegyezik a hálózati frekvencia névleges értékével. Az eddigiekbõl már számítható a vízszintes eltérítés frekvenciája (röviden sorfrekvencia), hiszen a tv-képfrekvenciának és a sorszámnak a szorzata megadja a másodpercenként letapogatott sorok számát. A számszerû adatokat a 9.1. táblázat foglalja össze.

Európai és tengerentúli tv-rendszerek legfontosabb adatainak összehasonlítása:

Jellemzõk	Európai rendszer	Amerikai-japán rendszer
Sorszám	625	525
Hálózati frekvencia, Hz	50	60
Tv-képfrekvencia, Hz	25	30
Függõleges eltérítõ frekvencia (félkép-frekvencia), Hz	50	60
Vízszintes eltérítõ frekvencia (sorfrekvencia), Hz	15625	15750

Meg kell jegyezni, hogy a táblázatban megadott frekvenciák névleges értékek, és mivel kezdetben ténylegesen is a hálózati frekvenciához kötötték a félképfrekvenciát, ezért valamennyi frekvenciának a tûrése azonos volt a hálózati frekvencia tûrésével. A színes tv bevezetése, amint azt késõbb látni fogjuk, sokkal szigorúbb frekvenciatûréseket követel meg $(10^{-6}...10^{-7})$, mint a hálózati frekvencia tûrése. Ezért ma már a hálózati frekvencia és a félképfrekvencia általában eltér egymástól, mert a tv-technika valamennyi jellemzõ frekvenciáját nagypontosságú (10^{-7})kvarcgenerátorok állítják elõ, míg a hálózati frekvencia az erõsáramú hálózat terhelésétõl függõen sok nagyságrenddel durvábban (10^{-2})változik. Tehát az az elõny, ami valamikor abból származott, hogy fázisban is kötni lehetett a félképfrekvenciát a hálózatihoz, ma már egyáltalán nincs meg.

9.2. A televíziókép elõállítása

Elsõ hallásra meglepõnek tûnhet az az állítás, hogy a televíziókép elõállítását, sõt bizonyos mértékig a képátviteli rendszert is a képvisszaadó eszköz, a színes, ill. fekete-fehér tv-képcsõ határozza meg, figyelembe véve természetesen az emberi látásnak az elõzõ fejezetekben már részletezett korlátait. A televíziókép megjelenítése céljára ez idõ szerint rendelkezésre álló képcsövek közös jellemzõje az, hogy a villamos-optikai átalakítást egy vákuumcsõben felgyorsított elektronsugárnak a képernyõ belsõ falára felvitt fényporrétegbe való becsapódása szolgáltatja. A fénypor látható fényt hoz létre a becsapódó elektronok hatására, a fény színét (jellemzõ hullámhosszát, ill. színhõmérsékletét) a fénypor kémiai összetétele határozza meg.

A csak fekete-fehér képet rajzoló képcsövekben egyetlen elektronsugár mozog, míg a színes képcsövek három egyidejû elektronsugárral mûködnek. A színes képcsövek konstrukciós kiképzése biztosítani tudja azt, hogy a három különbözõ elektronsugár mindegyike csak a neki megfelelõ és természetesen különbözõ összetételû foszforrétegbe csapódik be (l. a 8. fejezetet). Az egyes fényporok külön-külön elõállítják az elõzõ fejezetben megismert tv-alapszínek és , majd a három alapszínösszetevõ összegzõ keverését voltaképpen a szemünk végzi el azáltal, hogy kellõ távolságról szemlélve a képet nem tudjuk egymástól megkülönböztetni a kisméretû, egymáshoz igen közel elhelyezkedõ különbözõ színû képelemeket. Közelrõl, esetleg nagyítóüvegen keresztül nézve természetesen már megfigyelhetõ a kép finom struktúrája, a méretarányokat azonban úgy választották meg, hogy látható zavart ne okozzanak a képet kellõ távolságról szemlélõ nézõben.

A csak fekete-fehér képet reprodukáló ún. fekete-fehér tv-képcsõ egyetlen elektronsugara az egész ernyõn azonos összetételû fényporrétegbe ütközik, és az így létrehozott fény akromatikus, színhõmérsékletét kizárólag a fénypor összetétele határozza meg.

Ma már közismert tény, hogy a televízió-átvitel során a képet kicsiny részekre, ún. képelemekre bontják, majd az ezeknek megfelelõ információt idõben egymás után továbbítják a vevõkészülékek képcsövei számára. Ismert az is, hogy a szokásos nézõ-távolságot (3x ...4x képmagasság), a képméretet, a szem felbontóképsssségét (kb. 2 ívperc) figyelembe véve a szükséges képelemek darabszáma mintegy 500 ezer, ami a 4 : 3 képméretarányt figyelembe véve kb. 600 sornak és egy sorban kb. 800 képelemnek felel meg. Ha ezeken túl figyelembe vesszük, hogy a villogásmentes kép biztosítására a kép ismétlõdési frekvenciájának el kell érnie, sõt tartalékkal meg kell haladnia az ún. fúziós frekvencia értékét (kb. 50...60 Hz), akkor ebbõl 12...15 MHz sávszélesség adódna mint szükséges alapsávi sávszélesség.

Szerencsére már a kezdeti tv-mûsorszóró rendszerek megalkotásánál is igyekeztek a lehetõ legkisebb, de még elfogadható képminõséget adó sávszélességet használni; ezért figyelembe vették, hogy az 50...60 Hz frekvencia csak a villogás elkerülésére szükséges, a folyamatos mozgás benyomásának keltésére - a már jól bevált filmszínházi gyakorlatot alapul véve - elegendõ kb. 20. ..30 kép másodpercenként. Csakhogy amíg a mozikban meg lehet oldani azt, hogy ugyanazt a filmkockát kétszer kivetítik a vászonra mielõtt a film továbbhaladna, addig a tv képernyõjén minden egyes kép létrehozásához az elektronsugárnak végig kell söpörnie a teljes képernyõn. Mivel pedig a technika akkori állása nem tette lehetõvé nagykapacitású tároló használatát (ez ma már ugyan létezik, de még túl drága), amelyben meg lehetett volna õrizni az egyes továbbított képeket ismétlés céljaira, ezért kellõen kell értékelnünk azt a kiváló megoldást, amely végül is lehetõvé tette, hogy anélkül csökkenthetõ legyen a másodpercenként továbbított képek száma, hogy villogás lépne fel.

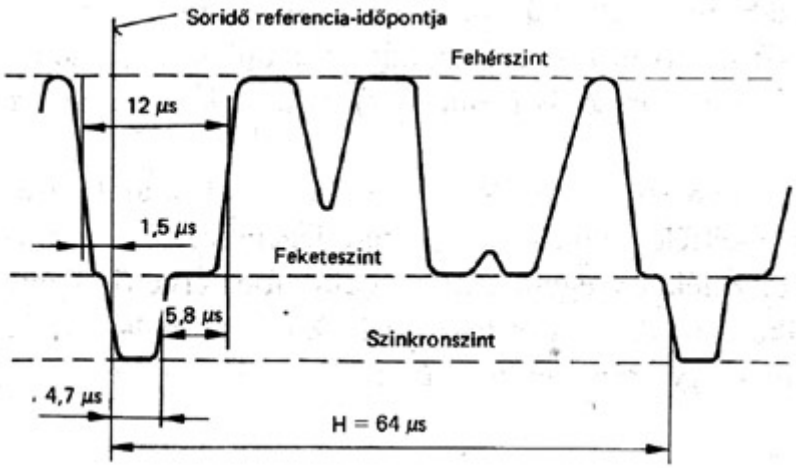
9.3.1. Szinkronjel, sorkioltás

Az ily módon kialakított összetett videojelnek egy rövid szakaszát mutatja a 9.4. ábra. A teljes soridõ, *H*, a vízszintes eltérítési frekvencia reciproka Európában $64\,\mu s$. Megállapodásszerûen a sor kezdetét a sorszinkronjel homlokának 50%-os pontjától számítjuk.

A 9.4. ábrán, amely az Európában használt tv-jelalakot ábrázolja, megfigyelhetõ, hogy a szinkronjel $4{,}7\,\mu s$idõtartama sokkal rövidebb, mint a tényleges vízszintes visszafutásra hagyott idõ $(12\,\mu s)$. A visszafutás ideje alatt ui. az elektronsugárnak kioltott (lezárt) állapotban kell lennie, aminek a kioltó-, ill. feketeszint felel meg. Ezért ezt az idõt sorkioltási idõnek nevezzük, ami a 9.4. ábrán $12\,\mu s$szabványos értékkel van megadva. Érdekes megfigyelni azt is, hogy a szinkronjelek csúcsai a feketeszint alatt helyezkednek el (amplitúdódiszkrimináció!), ezért azok ugyanolyan "jól" kioltják az elektronsugarat, mint maga a feketeszint, ami már önmagában is elegendõ a sugáráram lezárásához.

A 9.4. ábrát szemlélve szembetûnik az az aszimmetria, amellyel a sorszinkronjel a sorkioltási idõn belül elhelyezkedik. Elsõ látásra azt várnánk, hogy amint az elõzõ sor átvitele befejezõdött, azaz mihelyt elkezdõdík a sorkioltási idoszak, azonnal megjelenjék a sorszinkronjel, hiszen minden késlekedés csak nyújtja az egyébként is holt idõszaknak számító sorkioltási idõszakot. Ezzel szemben azt látjuk, hogy a sorszinkronjelnek van egy "elõválla", amely $1{,}5\,\mu s$-mal "késlelteti" a sorszinkronjel homlokát.

Ennek az elõvállnak a magyarázata az átvitt jel véges sávszélességében, tehát véges felfutási idejében rejlik. Az nyilvánvalóan megengedhetetlen lenne, hogy bármelyik sorszinkronjel homloka ne pontosan mindig $H = 64\,\mu s$-mal kövesse az elõzõ sorszinkronjel homlokát. Márpedig ha nem lenne az $1{,}5\,\mu s$idejû elõváll, akkor attól függõen, hogy fekete- vagy fehér- (vagy bármilyen közbensõ) szinten végzõdött az elõzõ sor, a sorszinkronjel homlokéle elõbbre, ill. késõbbre kerülne a világosságjel véges lefutási idejének következtében. Ez pedig egy képtartalomtól függõ impulzus-helyzetmodulációt okozna a sorszinkronjelben, ami nyilván nem megengedhetõ. Így azonban az elõváll gondoskodik arról, hogy a sorszinkronjel kezdetéig a jel szintje minden esetben el tudja érni a feketeszintet, tehát nem lesz helyzetmoduláció.



Az elõvállhoz hasonlóan beszélünk hátsó vállról is, ez a 9.4. ábrán 5,8 µs-mal jelölt idõtartam, ami a sorvisszafutás befejezõdéséig a várakozási idõ még hátralevõ szakasza. Úgy is mondhatjuk, hogy a 12 µs sorkioltási idõ három részbõl tevõdik össze: *a)* 1,5 µs idejû elõváll, *b)* 4,7 µs széles sorszinkronjel, *c)* 5,8 µs hátsó váll. Itt említjük még meg, hogy régebben szokásos volt a fekete- és a kioltószint között különbséget tenni, ma már ez az egyébként is igen kicsiny különbség nincs meg, tehát: kioltószint = feketeszint.

9.3. A mûsorszóró fekete-fehér televízió összetett videojele

A televízió-technika fejlõdésének elsõ szakaszában csak a fekete-fehér képek átvitelére és megjelenítésére volt képes. Valamennyi ma is használt kiszolgálójel (szinkronjel, kioltójel stb.) kialakításakor annak idején (1940-1950) természetesen azokat a szempontokat vették figyelembe, amelyek az akkori áramköri technika, gyártástecnológia szintjének feleltek meg, és nyilvánvalóan az egésznek az volt a végsõ célja, hogy minél valósághûbb, a mozikban megszokott minõségû fekete-fehér képet nyújtsanak a tv-nézõk számára. Ma már sok mindent másképp oldanánk meg, de ahogy e fejezet bevezetõjében már említettük, a tradíció kötelez bennünket a régi továbbvitelére. Így érthetõ, hogy a ma korszerûnek tartott színes képátvitel is a régi fekete-fehér képátviteli rendszeren alapszik, ezért elsõként ezt a rendszert ismertetjük.

Az egyetlen hasznos jel, amelyet a mûsorszóró rendszer a tv-nézõ fekete-fehér vevõkészülékébe továbbít, a világosságjel vagy *Y* jel. Helyesebb lenne az *Y′* jelölés használata, hiszen a fekete-fehér képcsõ gammatorzításának kompenzálására gammakorrigált (*Y′*) jelet visz át a tv-csatorna, azonban most is és a továbbiakban is csak ott fogjuk a (vesszõs) megkülönböztetést használni a gammakorrigáltságra, ahol az félreértésekre adhat okot.

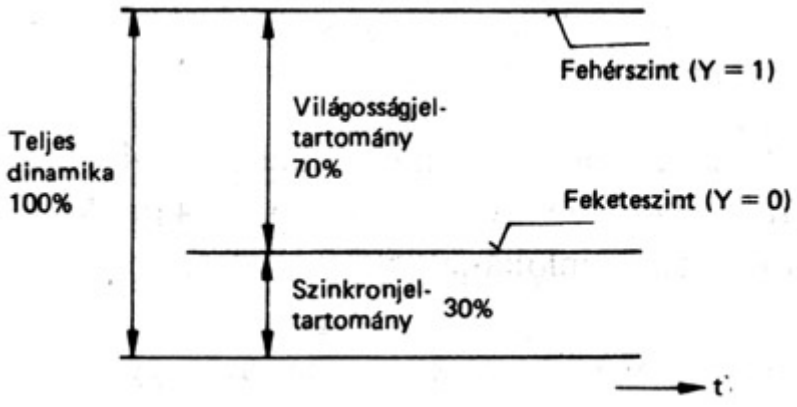
Az *Y* jel relatív értéktartománya, mint korábban láttuk, 0...1 között van. 0 felel meg a fekete-, 1 pedig a fehérszintnek, és a közbensõ értékek adják a szürke különbözõ árnyalatait. Ezek

szerint tehát az *Y* jel olyan idõfüggvény, amely minden idõpillanatban leírja a képfelbontó eszköz ernyõjén levõ kép éppen letapogatott képpontjának fénysûrûségét relatív értékben.

Az *Y* jel átvitele mellett azonban szükség van az egyes képpontok, képelemek helyzetadatainak továbbítására is, mert a vevõkészülék képernyõjén ezek nélkül nem lehet "összerakni" az elemeiben átvitt képet. Természetesen arra még a kezdet kezdetén sem gondoltak, hogy minden egyes képelem koordinátáját valamilyen címkódrendszerben együtt vigyék át a képelem *Y* értékével, hiszen ez óriási mértékben terhelné - tegyük hozzá: teljesen feleslegesen - az átvivõcsatornát. Bõségesen elegendõnek bizonyult az, ha csupán minden egyes tv-sor kezdetét jelölték meg egy ún. sorszinkronizáló jellel, mert ahhoz, hogy az egy sorban egymás mellett fekvõ képelemek a vevõ képernyõjén rendezetten egy tv-sort alkossanak, elegendõ az, ha az idõben lineárisan mozgó felbontó és rajzoló elektronsugarak egyszerre, szinkronban végzik vízszintes irányú mozgásukat. Már csak azért is célszerû volt ezt így megoldani, mert az *Y* jel folyamatos átvitelét mindenképpen meg kellett szakítani arra az idõre, amíg a képfelbontó, ill. a képrajzoló elektronsugarak vízszintesen visszafutnak a kép bal oldali szélére. Sõt, a vevõkészülékek közötti konstrukciós, áramköri stb. különbségekre való tekintettel ezt a holt idõt a leglassúbb megengedett visszafutási idõre kellett megszabni, ami messze nem elhanyagolható oly mértékben, ahogy azt a 9.1. és 9.2. ábrákon feltételeztük.

Teljesen hasonló megfontolással belátható, hogy függõleges irányban sincs szükség minden egyes sor kódolt megjelölésére, elegendõ, ha a félképek kezdetét jelöli meg egy-egy ún. félkép-szinkronizáló jel. Ennek hatására ui. idõben lineáris, szinkronizált függõleges eltérítés indul meg mind a képfelbontó, mind a képrajzoló eszközben, és az egyes sorok a kép tetejéhez igazodva pontosan a helyükre kerülnek. A félkép-szinkronizáló jel elhelyezésére önként adódott az a két félkép közötti ugyancsak holt idõszak, ami szükséges az elektronsugarak függõleges irányú visszafuttatásához.

A lehetõ legegyszerûbb áramköri megoldások lehetõségének biztosítására az összetett videojel teljes kivezérlési tartományát (100%) két részre osztották: a nagyobb részt kitevõ (70%) világosságjel-tartományra és a kisebb (30%) szinkronjel-tartományra (9.3. ábra).



Megjegyezzük, hogy ez a választás a maga idejében (1940-1950) teljesen indokolt volt. A mai elektronikai lehetõségeink azonban már lényegesen jobbak, és ha mód nyílna új tv-szabvány kialakítására, ma már biztosan nem pazarolnánk el a teljes dinamika 30%-át szinkronizálóielekre. Sajnos azonban nincs lehetõség a változtatásra, ezért a mai tv-mûsorszórás (színes is!) változatlanul ezzel az amplitúdódiszkriminációval folyik.

További kérdés még a sor- és félkép-szinkronizáló jelek formájának kialakítása. A fõ szempont itt is az volt, hogy a kétféle szinkronjel a lehetõ legegyszerûbb áramköri megoldással legyen a vevõkészülékben egymástól megkülönböztethetõ. Ezért erre a célra idõdiszkriminációt alkalmaztak: a sorszinkronjelnek egy aránylag rövid $(\text{kb. } 5\,\mu\text{s})$, míg a félképszinkronjelnek egy aránylag hosszú $(2{,}5H = 160\,\mu\text{s})$impulzust választottak.