

Analóg TV rendszerek

Írta: Tóth Roland

Tartalomjegyzék

1.	Látás	3
1.1	A fény	3
1.2	A szín.....	4
1.2.1	Fényforrások színhőmérséklete	4
1.3	Szemünk felépítése	5
1.4	A színlátás.....	6
1.5	Színkeverés	8
1.6	A CIE színdiagram	9
2.	Képmegjelenítők és felvevők	12
2.1	Fényvezető réteget alkalmazó képfelvevőcsövek	12
2.1.1	Plumbicon	15
2.1.2	Vidicon.....	15
2.1.3	Newvicon	16
2.1.4	Színes képfelvevő eszközök	16
2.1.4	Színes televízió- kamerák	17
2.2	Katódsugárcsöves képmegjelenítő	22
2.2.1	Katódsugárcsöves képmegjelenítő elvi felépítése	23
2.2.2	Színes képmegjelenítőben használt katódsugárcsövek	24
2.2.2.1	Árnyékmaskos képcső	24
2.2.2.2	Trinitron maskos cső	26
2.2.3	A fényporréteg.....	27
2.3	Passzív (nem önvilágító) képmegjelenítők [LCD]	28

2.4 Plazma képmegjelenítő	29
2.5 Projektor típusok, működési elvük	31
2.5.1 CRT	31
2.5.2 LCD	31
2.5.3 DLP	32
2. A színes TV-rendszerek.....	34
3.1 Általános megfontolások, követelmények	34
3.1.1 A színtrögzítés szerepe	34
3.1.2 A világosságjel spektruma	34
3.1.3 A színsegédvivő feladata	35
3.2 A videójel felépítése	35
3.3 Váltottsoros letapogatás	37
3.4 Az átviteli lánc torzításai	39
3.4.1 Differenciális erősítés	40
3.4.2 Differenciális fázis	40
3.4.3 Egyéb fontos torzításfajták	41
3. Színes televízió rendszerek	42
4.1 Az NTSC	42
4.2 A SECAM	45
4.3 A PAL	48
4. Felhasznált irodalom.....	52

A televízió-technika legfontosabb feladata, hogy a lejátszódó eseményekről készített felvételt élethűen adja vissza a nézők számára. Ahhoz hogy a továbbított kép valóban élethű hatást keltsen, a következőket kellett megoldani:

- A kép egyes részleteinek, az ún. képelemeknek a fényességre vonatkozó átvitelét;
- A képtartalom geometriai alakhűségének fenntartását;
- A mozgás természetű átvitelét;
- A színinformációk átvitelét;

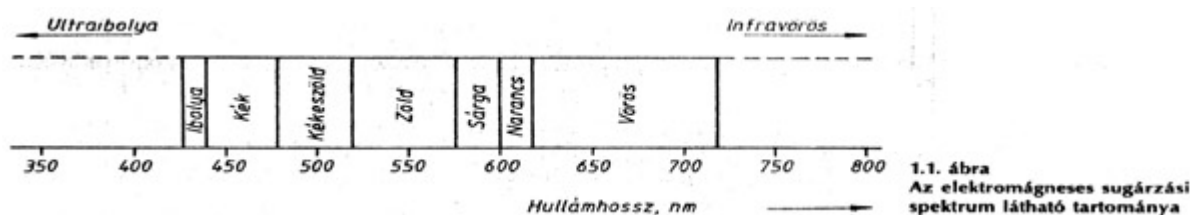
A megfelelő képátvitelhez az első három feltétel elengedhetetlenül szükséges, míg a negyedik feltétel csak a színes televízióra vonatkozik.

Az optimális átviteli rendszer kialakításához figyelembe kell venni az emberi látás-hallás fiziológiáját.

1. Látás

1.1. A fény

A fény sajátosan kettős természetű, bizonyos körülmények között hullámként, máskor részecskeként viselkedik. 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.



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 csődöt mondott a fényelektromos jelenség értelmezésekor. A klasszikus hullámelméletből kiindulva képtelenség volt megmagyarázni, hogy miért független a kilépő elektronok energiája a fényhullám intenzitásától, viszont közvetlen összefüggésben van a fény frekvenciájával, azaz színével. Einstein felismerése volt, hogy a fényenergia "atomos" (részecske-) szerkezetű. A legkisebb "atomja" a foton. A foton energiája fordítottan arányos a hullámhosszal. A különböző színű

fények energiája eltérő. A fotonok tömege csak fénysebesség mellett értelmezhető. Azaz a foton tömege:

$$m = \frac{W}{c^2} = \frac{hf}{c^2}$$

ahol W a foton energiája, c a fénysebesség. A foton-elmélettel magyarázhatók azok a fényelektromos jelenségek, amelyek a felfevőcsövekben, ill. újabban a CCD (Charged Coupled Device) típusú szilárdtest-képzérzőkben játszódnak le, a fény-energia elektromos energiává való átalakításakor.

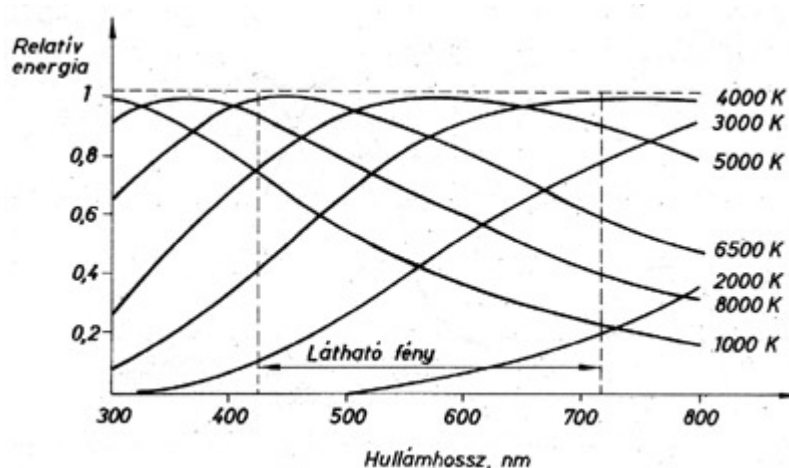
1.2. A szín

1.2.1. Fényforrások színhőmérséklete

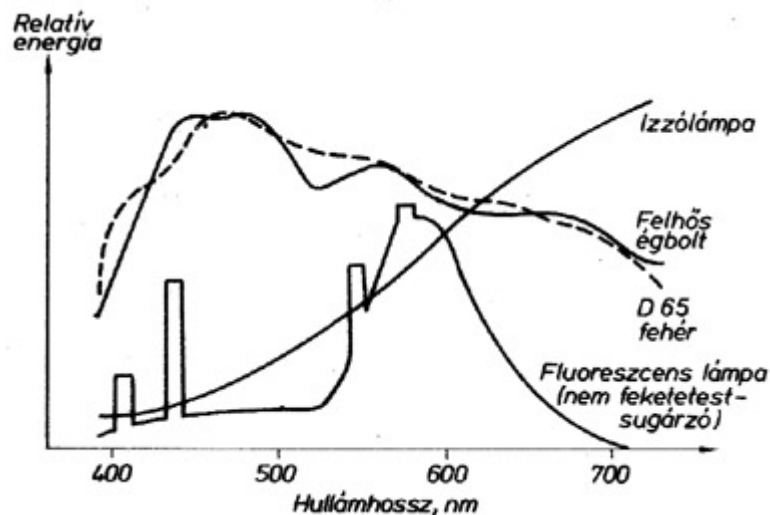
A nagy hőmérsékleten izzított testek fényt bocsátanak ki, amelynek színe függ az izzított tárgy hőmérsékletétől. A kibocsátott fényenergia hullámhossz szerinti függőségét spektrális eloszlásnak vagy spektrumnak nevezzük.

A színhőmérséklet meghatározására vezessük be a fizikából jól ismert feketetest fogalmát! A feketetest olyan sugárzó, amely minden rá eső sugárzást (energiát) elnyel. A feketetest sugárzásának spektrális eloszlása a Planck - törvényt követi, és a hőmérséklettől függően változik, de adott hőmérsékleten mindig azonos. A kisugárzott fény színe kis hőmérsékleten vörös, majd növelve a hőmérsékletet, sárgás, fehér, majd kék színű lesz. A feketetest hőmérséklete tehát kielégítő információt ad a spektrális eloszlásra vonatkozóan, és ily módon adott színű fényt a test hőmérséklete alapján pontosan reprodukálhatunk.

Bevezetjük a színhőmérséklet fogalmát, amely a fény színhatását pontosan jellemző adat. Az 1.2. ábrán is látható, hogy a spektrum a legkiegyenlítettebb az 5500 K körüli hőmérsékleten, s formája hasonlít a napfény spektrális eloszlásához. (A szaggatott vonallal jelölt egyenes az ún. egyenlő energiájú fehérnek felel meg.)



1.2.1. ábra A Planck-féle feketesugárzó energiaeoszlása különböző hőmérsékleteken



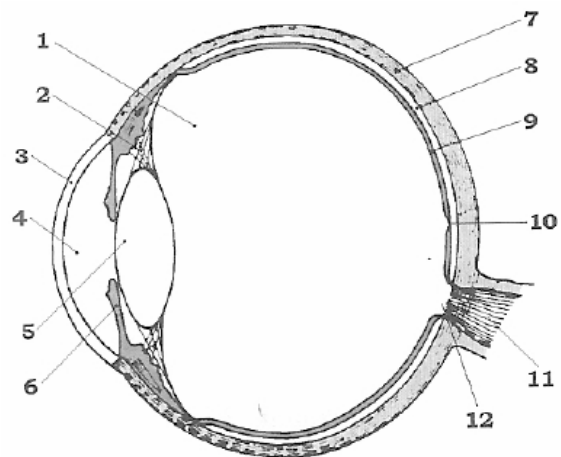
1.2.2. ábra Különféle fényforrások spektrális energieloszlása

Egyes mesterséges fényforrások - a fénycső, a gázkisülésű csövek (nátriumlámpa, higanygőzlámpa, fémhalogénlámpa stb.) - fényének spektruma erőteljes vonalakat, ill. lyukakat tartalmaz. Ma már létezik egy olyan mesterséges fényforrás, a lézer, amely energiáját rendkívül koncentráltan, egyetlen hullámhosszon és rendezetten adja le. Ezért a lézert koherens fényforrásnak nevezzük. A lézer és az előbb említett fényforrások fénye nem jellemezhető a színhőmérséklettel.

1.3. Szemünk felépítése

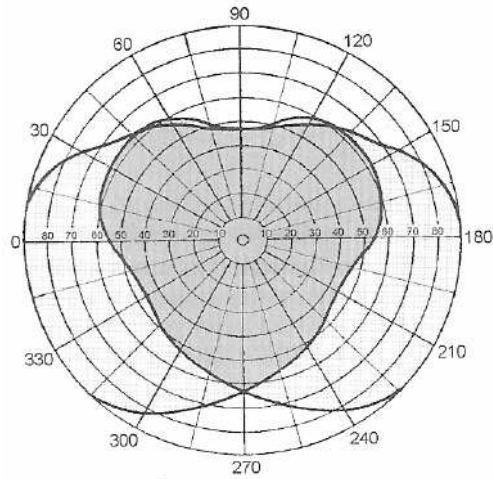
(1.3.1 ábra)

1. üvegtest
2. mozgatóizmok
3. szaruhártya
4. csarnok (víz)
5. szemlencse
6. szivárványhártya és pupilla
7. ínhártya
8. érhártya
9. retina (ideghártya)
10. központi mélyedés
11. kilépő idegköteg
12. vakfolt



1.3.1. ábra

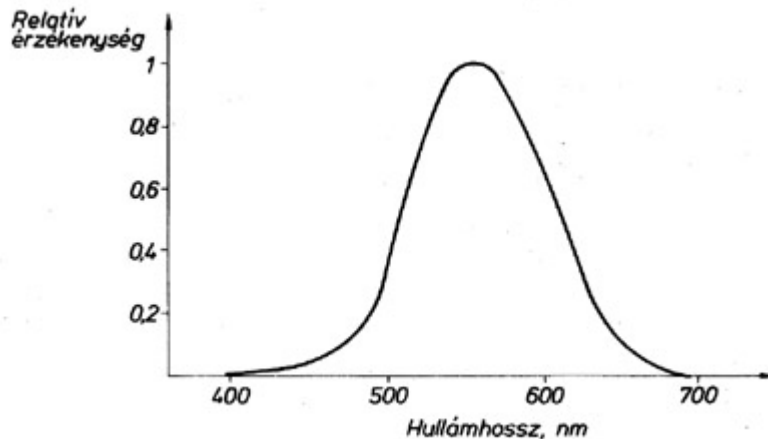
A környezetből felvehető információk kb. 70-80%-a vizuális eredetű. A vizuális információ forrása a tárgyról visszaverődő fény, amely a szem közegein átjutva a retinán kétdimenziós képet alkot. A retinára vetülő kép fordított irányú és kicsinyített. Ha valamit nézünk, szemünkkel fixáljuk az adott tárgyat vagy helyzetet. Szemünk eközben is mozog, ez az ún. mikromozgás, ami nagyon kis amplitúdójú rezgés. A makromozgások egyik jellegzetes formája a kontúrkövető szemmozgás. Ezt akkor tapasztaljuk, amikor a vonatból nézve az út menti fákat „kapkodjuk” a szemünket. Szemünk információt csak a fixáció alatt vesz fel. Igazolt tény, hogy a szemünk elsősorban a változásokra érzékeny. Az éleslátás szöge függőleges irányban kb. 20° , vízszintes irányban kb. $50-60^\circ$.



1.3.2. ábra

1.4. A színlátás

Az emberi szem az elektromágneses sugárzás spektrumának csak szűk tartományát észleli, ráadásul még a látható spektrumot sem érzékeli egyenletesen. A szem érzékenységi diagramján (1.4.1. ábra) jól követhető, hogy a görbének a zöld színnek megfelelő 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.



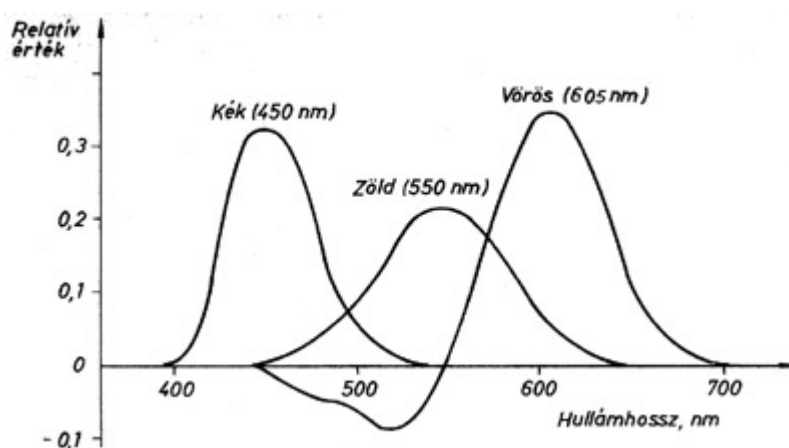
1.4.1. ábra Az átlagos emberi szem spektrális érzékenysége (CIE)

Ha a közel ideális fehér fénynek tartott, kb. 5500 K^0 -os napfényt megfelelő szögben egy prizma bocsátjuk, akkor a fehér fény összetevőire, azaz spektrális színekre bomlik fel. A színek átmeneti tartományai nem különböztethetők meg egymástól, mivel a napfény energiájának hullámhossz szerinti eloszlása gyakorlatilag folytonos. Ha azonban a színspektrumot laboratóriumi körülmények között egy keskeny résen át szemléljük, hozzávetőlegesen 350 különböző színt érzékelhetünk. Ebből arra következtethetnénk, hogy szemünk kb. 350 különböző receptorral (érzékelővel) rendelkezik, amelyek mindegyike csak

egy igen keskeny színsávban működik. A valóságban azonban nem ez a helyzet! A tudomány mai állása szerint szemünkben három különböző típusú színérzékelő van.

A szem recehátyáján elhelyezkedő fényérzékelők (receptorok) a bíborfolyadékban lejátszódó fotokémiai reakció segítségével az idegszálakon keresztül információkat továbbítanak az agy megfelelő részeibe. A receptorok egyik fajtája, az ún. *pálcikák* rendkívül érzékenyek, így elsősorban a gyenge fény felfogására alkalmasak, és nagy felbontást biztosítanak (fekete-fehér formában). A színes látást az ún. *csapok* biztosítják, amelyekből három különböző típus létezését tételezik fel. A kék, a vörös és a zöldérzékelő.

Három monokromatikus fény összekeverésével a spektrum valamennyi színárnyalata kikeverhető. A CIE e fényeket 1931-ben szabványosította. Meghatározták, hogy egy-egy spektrumszín előállításához milyen arányban kell keverni őket. Az eredményt az 1.4.2. ábrán láthatjuk. Az ábrán jól követhető, hogy a látható spektrum szélső értékeit kivéve a görbék átfedik egymást.



1.4.2. ábra A spektrális alapszín-összetevő függvények (CIE-1931)

A hullámhossznak megfelelően 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 a következő: a spektrum színeit általában különböző sötétségűnek látjuk, de vannak olyanok, amelyeket egyformának. A fekete-fehér tv-rendszernek ilyen esetben a szürkeértékeket kell közvetítenie, holott más-más színekről van szó. Annak érdekében, hogy azok a színárnyalatok legyenek egyforma szürkeértékűek a képernyőn, amelyeket egyforma sötétségűnek is látnánk, a tv-kamerák felvevőcsövének átvitelét megfelelő szűrőkkel úgy kellett kialakítani, hogy az legalább közelítőleg kövesse a szem spektrális érzékenységi görbéjét.

Az első színes tv-rendszer kialakítása során 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) megkülönböztető képessége. Azaz, az apró színrészleteket, melyek nagyobb frekvenciának felelnek meg a tv-jelátvitelben, összetéveszti a hasonló fényességű szürkével. Tehát bizonyos méretű pontstruktúrán túl már nem érzékeli a szín, csak a szürkeérték változását. Ez a "színtévesztés" természetesen nem független a szem

spektrális érzékenységtől. Azaz az 550 nm körüli zöld színt téveszti össze a szürkével legkésőbb. A legtöbb részletet ebben a színtartományban érzékeli. A szem korlátozott színelbontó képességére vonatkozó felismerés jelentősen befolyásolja a színes rendszerek kialakítását. A vizsgálatok azt jelezték, hogy a kép színtartalmát képviselő információt nem kell teljes sávszélességgel átvinni. Ezért a színinformáció sávszélességét kb. 1 MHz-re korlátozták. Az utóbbi időben viszont egyértelművé vált, hogy az 1 MHz sávszélesség nem felel meg a korszerű tv-jelátvitel követelményeinek. Az újabban kifejlesztett tv-átviteli rendszerek, mint pl. a MAC, már mentesek a korábbi rendszerek hiányosságaitól.

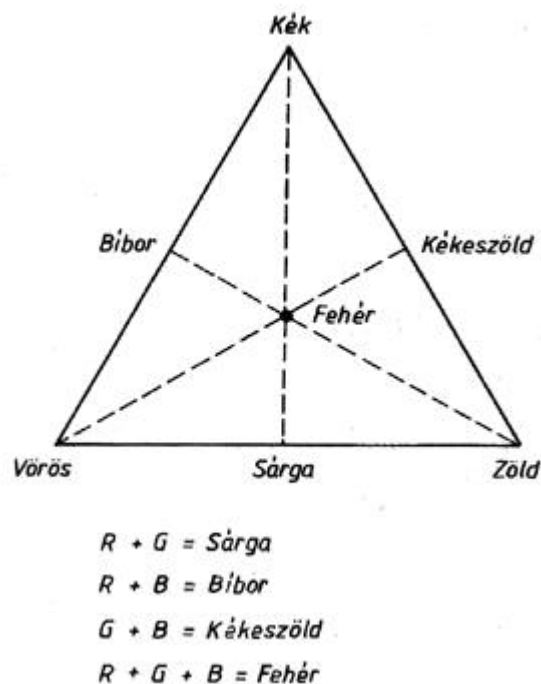
1.5. Színkeverés

Az optikai prizma a fehér fényt spektrális színekre bontja fel. Ha ezeket a színeket megfelelő módon összegezzük, újra előállíthatjuk a fehér fényt. A színelmélet szerint a szem három különböző típusú színreceptorának gerjesztésével gyakorlatilag bármely szín érzékelhető.

A színes tv-technikában a szem három színérzékelő csaptípusával összhangban a piros (R = red) a zöld (G = green) és a kék (B = blue) alkotja az alapszíneket. Ezek keverékéből bármely, a gyakorlatban használt szín előállítható. A szín előállításának ezt a formáját additív vagy összegező típusú színkeverésnek nevezzük. A tv-készülék képcsöve is additív színkeverés útján állítja elő a különböző színeket.

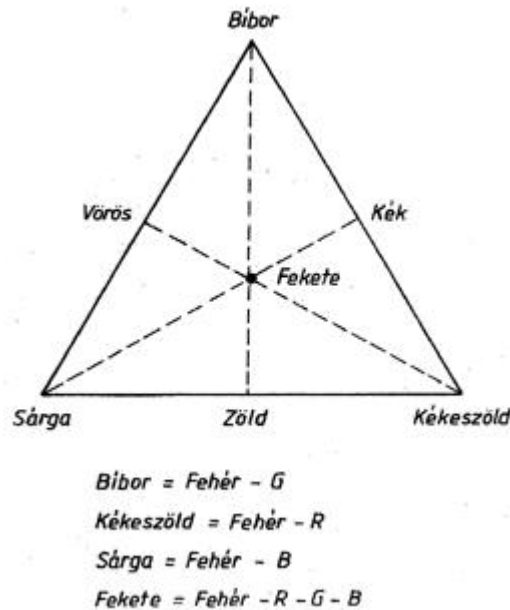
Az 1.5.1. ábrán egy háromszög segítségével szemléltetjük az összegező típusú színkeverést. A háromszög csúcsain helyezkednek el az alapszínek, a csúcsokat összekötő oldalakon pedig a keverékszínek. Mindhárom alapszínt összegezve, fehérét kapunk eredményül, amely a háromszög középpontjában helyezkedik el.

Ha két szín additív keveréke fehérét ad, akkor ezek a színek egymásnak *komplementer* vagy kiegészítő 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 fehérét hoz létre.



1.5.1. ábra Additív színkeverés

Az 1.5.2. ábra a szubtraktív színkeverést szemlélteti, az előzőekhez hasonlóan színháromszöggel. Látható, hogy az additív színkeverés során használt alapszínek jelen esetben komplementer színek, ill fordítva. Sárga bíbor és kékeszöld színt úgy állítunk elő, hogy a fehérből kivonjuk a kék, 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 összegezi.



1.5.2. ábra Szubtraktív színkeverés

1.6. A CIE színdiagram

Az *RGB* háromszög alapján nem állítható elő a természetes spektrum minden színe. Egyes színek előállításakor abba a nehézségbe ütköznénk, hogy két alapszín összegét és a harmadik különbségét kellene képeznünk. 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 1.6.1. 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 előjelű alapszínek összegeként adódjanak.

Egyébként az egyes színeket pontosan egy háromdimenziós térvektor határozza meg, amelyet a három spektrális színösszetevő képvisel. A színek térbeli ábrázolása azonban igen körülményes, így a térgörbéből kétszeres transzformációval állították elő a gyakorlatban kitűnően 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*) összekötő nevezetes vonal a bíborvonal, amely nem monokromatikus, hanem keverék színeket képvisel. A *W*-vel (white) jelölt pont a referenciafehéret képviseli. A 100%-os telítettségű spektrális színektől (*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 meglehetősen tág. A színek reprodukálhatósága érdekében a CIE 1951-ben meghatározta a választott R , G , B alapszíneknek megfelelő hullámhosszakat:

$$\lambda_R = 700nm$$

$$\lambda_G = 546,1nm$$

$$\lambda_B = 435,8nm$$

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

$$\lambda_R = 615nm$$

$$\lambda_G = 532nm$$

$$\lambda_B = 470nm$$

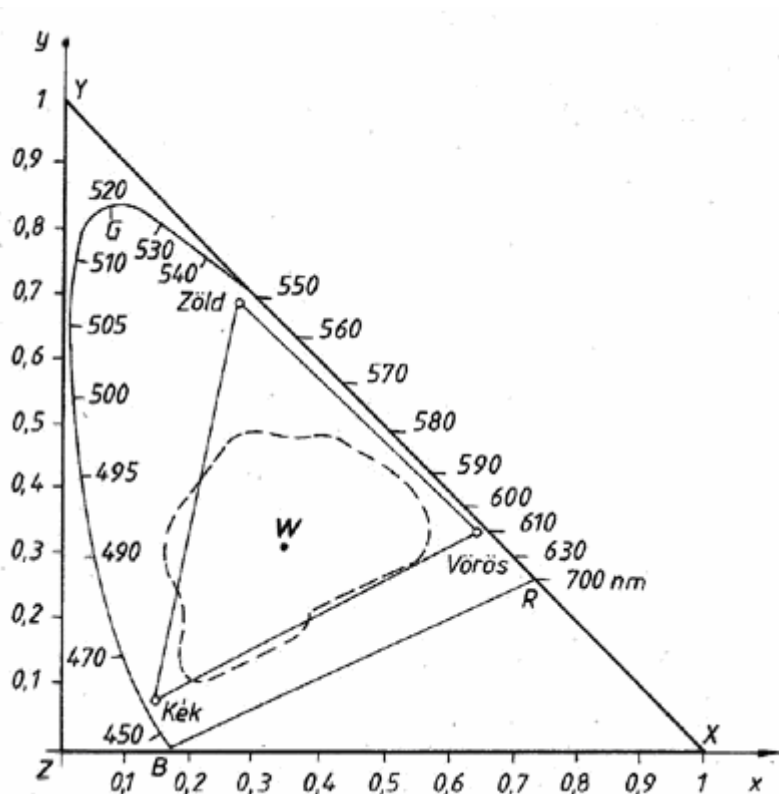
Ez a referenciafehér időközben többször módosult (8500 K, 9300 K), annak érdekében, hogy a képcsövek nagyobb fénysűrűséget legyenek képesek előállítani. Napjainkban a 6504 K színhőmérsékletű, ún. D_{65} fehéret használják az EBU (European Broadcasting Union) szabványa alapján. A színek hullámhosszai:

$$\lambda_R = 610nm$$

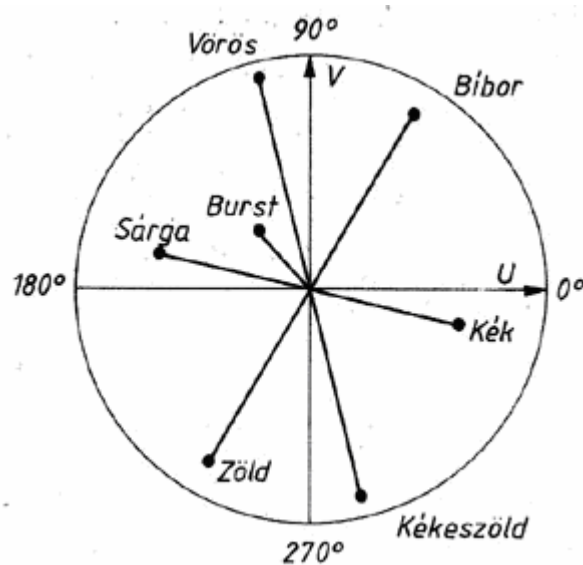
$$\lambda_G = 550nm$$

$$\lambda_B = 470nm$$

A zöld az előzőekhez képest lényegesen telítettebb irányba tolódott el. A patkóba rajzolt háromszög szemlélteti tehát a színes tv-rendszer által reprodukálható színek halmazát. Első pillantásra úgy tűnik, hogy a színes tv színátvitel meglehetősen szegényes, a gyakorlatban azonban elég jól követi a természetben előforduló színeket. A szaggatott görbe az 1.6.1. ábrán az egyéb színes rendszerekkel - mint pl. a fénykép, a film, a színes nyomtatás stb. - reprodukálható színeket jelzi. Látható, hogy a színes tv lényegesen bővebb színtartományt ölel fel.



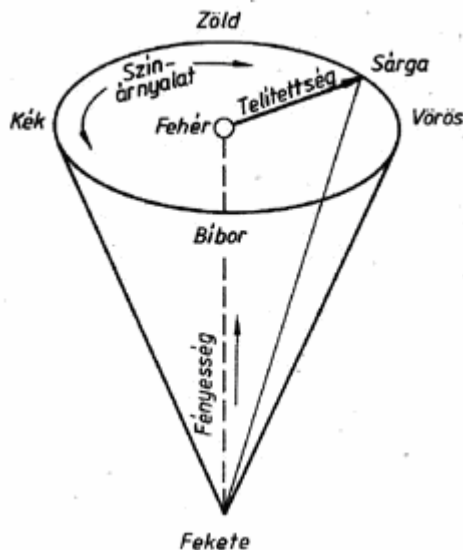
1.6.1. ábra A CIE színháromszög



1.6.2. ábra A 100%-os színsávok vektordiagramja

A tv-stúdiótechnikában a színháromszög helyett az ún. színkört használjuk, amelyet vektorszóppal jelenítünk meg (1.6.2. 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 megfelelően a színsegédvívó fázisa 180° -kal, a burst fázisa pedig 90° -kal megváltozik az $(n + 1)$ -edik sorban. Ily módon a színvektorok is változnak, majd a vektorszóp az $n + 1$ -edik megváltozott állapotot egyberajzolja az n -edikkel, ill. szemünk a két állapotot egynek látja. A telítettség, a színárnyalat és a fényerő (fényesség) viszonyát az 1.6.3. ábra érzékelteti.



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

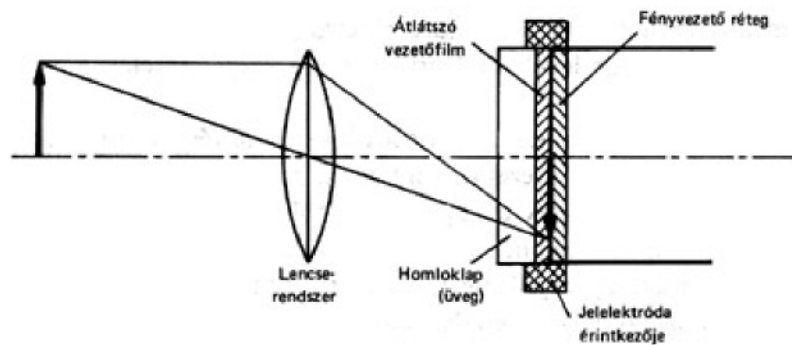
2. Képmegjelenítők és felvevők

2.1. Fényvezető réteget alkalmazó képfelvevőcsövek

Ide tartoznak azok a képfelvevőcsövek, amelyek működési alapelve a következő: az optikai lencsével leképezett kicsinyített kép egy olyan felületre kerül, amely a ráeső fény mennyiség, azaz a megvilágítás arányában változtatja a vezetőképességét. Innét az elnevezés is: fényvezető (photoconductive) rétegű cső. 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 nőtt, ma szinte egyeduralkodók a tv-kamerákban alkalmazott felvevőcsövek között.

A cső alaptípusának működési elvét a 2.1.1. ábra vázolata segítségével tekintjük át. A felbontandó képet egy optikai lencserendszer (az ábrán egyetlen lencsével ábrázolva) rávetíti az optikailag sík felületet képező homloküvegre. Ez utóbbi belső felületére van felvívva egy átlátszó, de villamosan jól vezető réteg, a jó villamos csatlakozást az üvegfal szélén körkörös elhelyezett, ún. jellemez-elektroda biztosítja. Ennek az átlátszó vezetőfilmnek a belső oldalán kap helyet az egész felületre egyenletesen felvitt, s a fény hatására vezetővé 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 vezetőképességét.

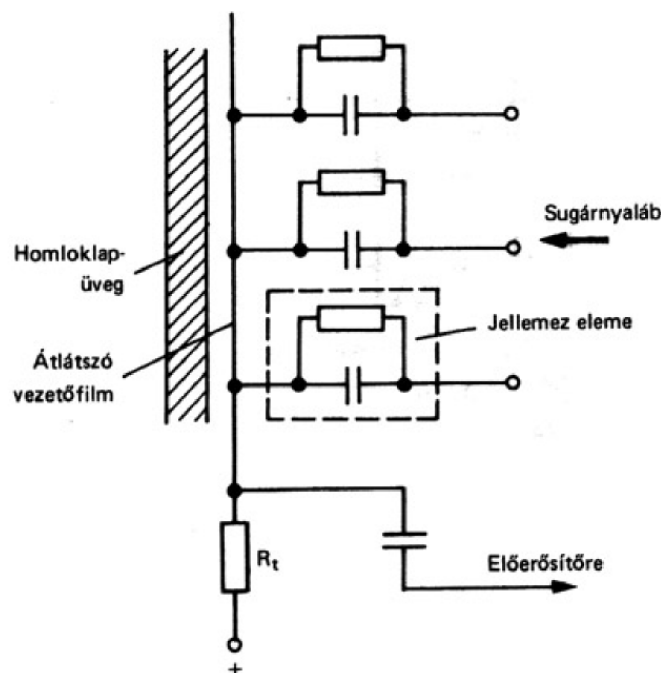
Sötétben ennek az anyagnak nagy a fajlagos ellenállása, amely azután csökken növekvő megvilágítások esetén.



2.1.1. ábra

Ezt a fényvezető 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 helyettesítő kapcsolást mutatja a 2.1.2. ábra. A cső belseje felől 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 - összegyűlvén a katód feszültségével közel azonos feszültségre töltik fel az egyes elemi kapacitásokat. Ezt hívják katódfeszültség-stabilizálásnak.

Ha elsőként feltételezzük, hogy a cső ernyője le van takarva, akkor az egész homloklap sötét, és így potenciálkülönbség alakul ki a rétegre merőlegesen, és minden egyes elemi kapacitás feltöltődik erre a katód jellemez feszültségkülönbségre. Sötétben a fényvezető réteg alig vezet, jó szigetelőnek tekinthető, ezért két, egymás utáni pásztázás közötti időben a párhuzamos ellenállásokon csak igen kis töltés folyik le.



2.1.2. ábra

Ezt az igen kis töltésmennyiséget pótolja a pásztázó elektronsugár eltérítésről eltérítésre, a jellemez-elektrodán ilyenkor levehető áramot szokás ezért "sötétáramnak" is hívni.

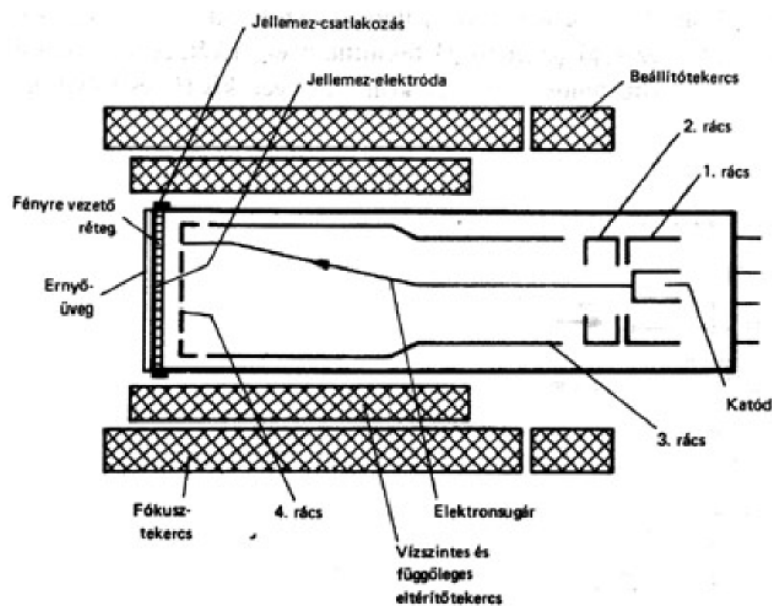
Ha egy optikai képet vetítünk a jellemezre, akkor azok az elemi részek, amelyeket nagyobb megvilágítás ér, jobban fognak vezetni, mint azok, amelyekre sötét képrészletek kerülnek. A vezetőbb részek kisütik a kapacitásuk töltését, és így a jellemez elektronágyú felőli részén az optikai képnek megfelelő 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 jelelektrodán áramot hajtanak át a töltődő kapacitások, és az áramok eredője feszültségesést hoz létre a közös munkaellenálláson. Ez pedig már a videojel, ami a további jelfeldolgozás céljából az előerosító-fokozatokra kerül.

A csövet stabilizálnak mondjuk, ha a sugáráram elegendően nagy ahhoz, hogy a fényvezető rétegen a katódpotenciált helyre tudja állítani. Valamennyi elemi kapacitás, beleértve azokat is, amelyek az optikai kép legvilágosabb részeinél vannak, teljesen feltöltődik a rajtuk végigsöprő elektronsugár hatására.

Nézzük ezek után a vidikonrendszerű képfelvevőcső teljes felépítését. A csövet és az elektronsugár eltérítését, fókuszálását végző tekercskészletet a 2.1.3. ábra szemlélteti vázlatosan. A cső mágneses eltérítésű, és mágneses mezővel van megoldva a fókuszálási feladat is. A cső 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 fűtésű katódból és a körülötte levő 4 rácsból áll. Az 1. rács feszültsége állítja be a sugáráram nagyságát. A 2. rács vagy másképpen I. Anód szerepe az elektronok gyorsítása. Ezek után a henger alakú 3. rács terébe jutnak, majd egy finom hálókiképzésű 4. rácson haladnak át, amely gondoskodik az elektronok lefékezéséről, közvetlenül a jellemez előtti szakaszon.



2.1.3. ábra

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

Két beállítótekerecs az elektronágyú síkja közelében az elektronsugár sebességére merőleges állítható mágneses teret hoz létre, segítségével lehet az elektronsugarat a cső tengelyével párhuzamos irányúra szabályozni, vagyis ezek állítják be a pontos merőleges sugárbeccsapódást a jellemezen.

Végül két eltérítőtekerecs-készlet szolgáltatja a tengelyre merőleges, változtatható irányú és nagyságú mágneses mezőt, amelynek hatására a jellemez pásztázása, letapogatása tv-sorról tv-sorra bekövetkezik.

2.1.1. Plumbicon

A fény hatására vezetővé váló réteg alkalmazásán alapuló képfelvevőcsövek leggyakrabban felhasznált változatának márkaneve: plumbicon. Jellegzetessége, hogy a fényvezető réteg ennél a csőfajtánál ólom-dioxid . Ez a réteg lényegében egy folytonos eloszlásban felvitt, záróirányban előfeszített PIN diódák sokaságának tekinthető, ami magyarázza a cső igen kis sötétáramát, a szokatlanul jó lineáris transzfer karakterisztikáját, a nagy érzékenységet, igen kis mértékű húzási hajlamát, kiváló felbontóképességét és aránylag kis hajlamosságát az erős fény hatására jelentkező beégésre. Mindezen kedvező tulajdonságai alapján különösképpen alkalmas színes stúdiókamerák képfelvevőcsövének. Jóllehet az ólomoxid-réteg spektrális érzékenysége 650 nm-nél nagyobb hullámhosszúságú fényre már igen gyenge, egy kismértékű kén adagolása az ólom-oxidhoz a plumbicon érzékenységét messze a vörös hullámhosszak tartományára is kiterjeszti.

Érdekes megoldás egyes plumbiconcső-típusoknál egy külső fényforrás alkalmazása, amely a húzási hajlamot tovább csökkenti. Ez a fényforrás a cső katódja felől, tehát az elektronágyú irányából veti fényét a fényvezető réteg belső, az elektronsugár által is pásztázott felületére, a jó fényvezetést a csőbura belsejében elhelyezett, villa alakban szélesedő üvegcsővel biztosítják. Ezzel a módszerrel még kis megvilágítások esetén is kifogástalan működést lehet biztosítani. Egy másik érdekesség, hogy a dinamikus sugáráram vezérlő (DBC: Dynamic Beam Control) visszacsatolást létesít a jellemez munkaellenállása és az első rács között. Ha a cső homloklapján pontszerű, nagy fényerejű megvilágítást kap, akkor a szokásos sugáráram nem lenne elegendően nagy az itt elfolyó elektrontöltések pótlására. Ez a visszacsatolás azonban - észlelve a túl nagy megvilágítást - úgy változtatja meg az első rács feszültségét a pásztázás időpillanatában, hogy a sugáráram erre a rövid időre hirtelen megnő, és így a csúcsmegvilágítás értéke helyesen "olvasódik ki" a csőből: nem lesz fehérben vágva a kép.

2.1.2. Vidicon

A vidicontípusok jellegzetessége, hogy ezeknél a fényvezető réteg antimon-triszulfid anyagokból készül. E réteg érzékenysége nagymértékben függ a rajta fellépő feszültségeséstől, így ennél a fajtánál lehetséges az érzékenység szabályozása ezzel a feszültséggel. Sajnos a cső kellemetlen tulajdonságai közé tartozik az, hogy a sötétáram erősen függ a jellemez feszültségétől, de a hőmérséklet is jelentős befolyásoló tényező.

A vidicon fényvezető rétege nagyon hajlamos a húzásra és a beégésre. További hátrányos tulajdonsága a nemlinearitás, végső soron ezek miatt ezt a csőfajtát színes felvevőcsőként nem alkalmazzák, viszont előnyösen használható ipari fekete-fehér felvevőkamerákban.

Különösen, mivel a fényvezető réteg vékony, igen jó az érzékenysége: még mostoha megvilágítási körülmények között is használható képet ad. Ugyancsak ezt a felhasználási területet motiválja a viszonylag kis előállítási költsége. Használják még orvosi célokra, pl. röntgenképek erősítésére, ahol pl. a húzási hajlam nyilvánvalóan nem szempont.

2.1.3. Newvicon

Ennél a csőfajtánál a fényvezető réteg több különböző összetevő eredője: az egyes alrétegek összetétele ZnSe (cink-szelén), ZnTe (cink-tellur) és CdTe (kadmium-tellur), üzem közben ezt a réteget záróirányba kell előfeszíteni. Ez a keverék réteg jelentős sötétáramot eredményez, ami még hőmérséklettől is függ.

A newviconcső előnye, hogy igen nagy az érzékenysége, amely spektrálisan az infravörös tartományra is kiterjed. További előny, hogy ez az érzékenység nem függ a jellemző feszültségétől, kielégítően lineáris a transzfer karakterisztikája és nem hajlamos a beégésre sem. Vékony a fényvezető rétege, ez magyarázza a nagy érzékenységet. Jellemző felhasználási területei az olyan helyek, ahol a nagy érzékenység alapkövetelmény: biztonsági vagy felügyeleti célú kamerák, ahol a kis méret és kis fogyasztás ugyancsak elsőrendű szempont. Infravörös tartománybeli érzékenysége ugyancsak alkalmassá teszi a newvicon speciális felhasználásokra is.

2.1.4. Színes képfelvevő eszközök

A televízió-technikában használt színes képfelvevő eszközök túlnyomó többségét a tv-kamerákban alkalmazott képfelvevőcsövek képezik, de ugyancsak meg kell említeni a jelenleg még újdonságnak számító, félvezetőeszközökön alapuló képfelvevő, 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 idő. A mai korszerű képbontóban, még a diabontóban is általában valamilyen fajta képfelvevőcsövet vagy félvezetőeszközt alkalmaznak. Jelen rövid áttekintésünket csupán a csövekre korlátozzuk.

A kamera képfelvevőcsöveit felhasználásuk alapján három nagy csoportra lehet felosztani: -

műsorközvetítésre használt képfelvevőcsövek,

- zárt láncú, ipari felhasználású képfelvevőcsövek,

- különleges célú képfelvevőcsövek.

A felvevőcsöveket gyártó világcégek ennek figyelembevételével számos fajtát és típust fejlesztettek ki és gyártanak az előbbi célokra. A műsorközvetítés célját szolgáló képfelvevőcsövekkel szemben a legfőbb követelmények a következők:

- nagy érzékenység
- jó felbontás
- nagy jel-zaj viszony
- kicsiny utánhúzás
- egyenletes spektrálisérzékenység a látható fény hullámsávjában.

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

Ugyancsak meg kell említeni olyan tulajdonságokat, mint pl. stabilitás erős fényerősség-változások esetén, egyenletes gradációérzékenység (gamma), és különösen kis megvilágítási szinteknél a zavaró jelektől való mentesség. Stúdió-, ill. helyszíni közvetítések esetén a kamera gyakran ki van téve erős külső mechanikai igénybevételnek, ezért a jó képfelvevőcső 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 jelentőségű), azonban a velük szemben támasztott követelmények jóval mérsékeltebbek, mint a stúdió céljára készült példányoké.

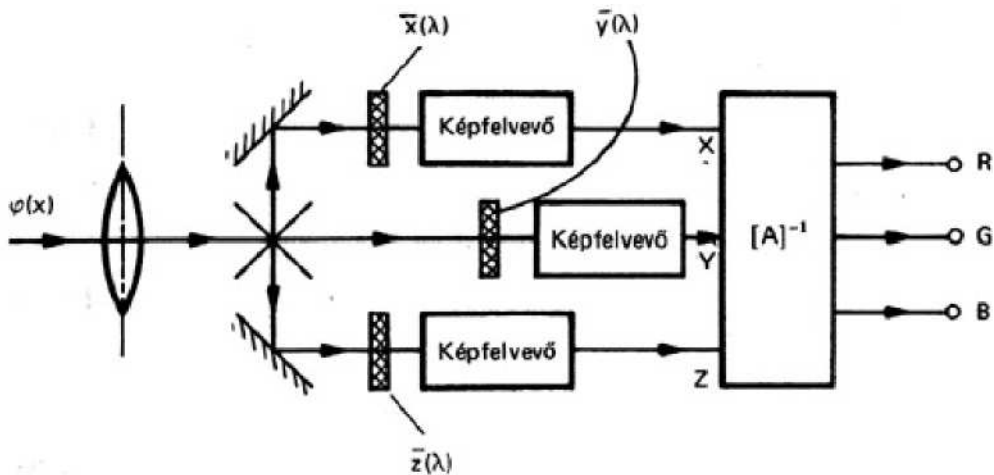
A különleges felhasználások közül kiemeljük azokat, amelyek a képfelvevő eszközt nem a látható fény (400.. 700 nm) hullámsávjában, hanem alatta vagy felette üzemeltetik. Igen fontos terület a hősugarakra (erősen infravörös sugarakra) érzékeny kamera felvevőcsőve, vagy ennek ellentettje, az ultraibolya érzékenyítésű felvevő-eszköz. A gyógyászatban, ill. anyagvizsgálatoknál használnak olyan felvevőcsöveket is, amelyek a röntgenképek felvételére is alkalmasak. A látható fény hullámsávjában dolgozó különleges képfelvevő eszköz a szokásosnál sokszorta érzékenyebb kameracső, ezek a szó szoros értelmében a sötétben is "látnak".

A televízió közel félévszázados története során a képfelvevő eszközök is hatalmas fejlődésen mentek keresztül. Ezek nagy része már a műszaki történelem mérföldköveit képezi: az ikonoszóp, a szuperikonoszóp, az emitron, sőt újabban már a szuperortikon is csupán emlék, ezeket kiváltották a 80-as évek technológiai szintjét képviselő, a fényvezetés elvén alapuló képfelvevőcső-változatok. Ugyancsak egyre többet hallat magáról a teljesen félvezetőelemekből felépített képfelvevő, bár ez utóbbi e könyv írásának idején (1984) kereskedelmi forgalomban még nem kapható. A korlátozott terjedelem következtében a jelenleg használatos képfelvevőfajtákat csak röviden, vázlatosan tudjuk ismertetni.

2.1.5. Színes televízió-kamerák

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

Feltételezzük, hogy a kamerákban használt képfelvevő eszközök (képfelvevőcsövek) olyan optikai-elektromos átalakítók, amelyeknek spektrális érzékenysége alkalmas optikai szűrővel a használt hullámhossztartományban ki van egyenlítve, vagy az egyenetlenségeket az egyéb, általunk is tárgyalt színszűrők karakterisztikájának kialakításánál figyelembe vesszük.



2.1.5.1. ábra

Tekintettel arra, hogy egy színes kamerának alapfeladata a három FCC alapszínjel, az R , a G és a B jel szolgáltatása, ésszerűnek látszik a kérdés olyan megközelítése, hogy használjunk erre a célra 3 különálló képfeltevőcsövet, amelyek közül az első csak az R , a második csak a G és a harmadik csak a B jelet állítja elő, természetesen ugyanarról a témáról felvett kép alapján. Létezik egy egyértelmű összefüggés az FCC alapszínei és a CIE három színösszetevője, az X , Y és Z között. Ha tehát egy alapjában színhelyes tv-kamerát akarunk létrehozni, akkor a feladatot az alábbi lépésekben célszerű megoldani:

- biztosítani kell a felveendő optikai kép egyidejű szétosztását 3 egyforma optikai úthosszal 3 képfeltevőcső részére,
- gondoskodni kell optikai szűrők segítségével, hogy a képfeltevőcsövek rendre a CIE spektrális színösszetevő függvényének megfelelő megvilágítást kapjanak,
- a 3 képfeltevőcsövön ily módon létrejövő CIE X , Y és Z színösszetevőket folyamatosan és egyidejűleg át kell transzformálni az FCC alapszíneire, R -re, G -re és B -re.

Az ilyen kamera vázlatos elrendezését mutatja a 2.1.5.1. ábra. Az objektívre jutó továbbítandó kép egyes képelemeinek spektrális eloszlását a függvény jelöli. Itt már feltételeztük, hogy ez a függvény megfelel az élethű színvisszaadás elvi követelményeiben 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 megfelelően egy optikai szétosztó-rendszer, amely két, egymásra merőleges és féligáteresztő, valamint két teljesen visszaverő optikai tükörből áll. Az ábrán megfigyelhető, hogy az objektív síkjától mérve a fény útja a 3 képfeltevőcső homloklapjáig azonos hosszúságú. A 3 képfeltevőcső előtt rendre elhelyeztünk egy-egy optikai szűrőt, amelyeknek a transzfer karakterisztikája megfelel a CIE spektrális színösszetevő függvényeknek.

Miután feltételeztük, hogy a képfeltevőcsövek spektrális érzékenysége egyenletes, ezért elvileg felírható, hogy a csövek által szolgáltatott kimenő jelek arányosak lesznek a mindenkori képelem CIE színösszetevőinek 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 összefüggésnek eleget tevő három mátrixáramkörrel létre kell hozni a három alapszínjelet az X , Y és Z -ből.

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

Azonban már itt meg kell jegyezni, hogy az ily módon kialakított színes tv-kamera 3 kimenő jele esetenként (a képelem színétől függően) negatív (!) értékű alapszínjelet is fog adni, egyszerűen azért, mert az FCC alapszínekkel nem írható le a teljes CIE színdiagram 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, amidőn a képelem színe kívül esik az FCC színháromszögén. Márpedig egy negatív alapszínértékkel a színes képcső 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.

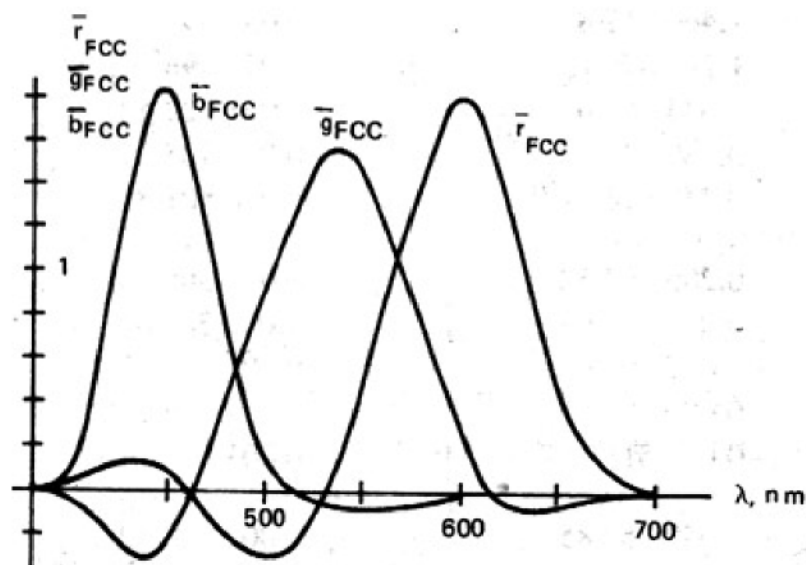
Ezzel együtt a 2.1.5.1 ábra színes tv-kamerája elvileg tökéletesen működik, megoldja a vele szemben támasztott alapkövetelményt: szolgáltatja a felvett kép képelemeinek megfelelő 3 FCC alapszínjelet a színmérési szabályoknak megfelelően, még ha azok történetesen negatív értékűek is. Van azonban e megoldásnak több gyakorlati hátránya, amely főleg a mátrixolásból származó megnövekedett zajszintből, vagy ami ezzel egyenértékű, az érzéketlenségből fakad. Ilyen szűrőrendszerben ugyanis nem lehet jól kihasználni a felvevőcsövek érzékenységét.

Ésszerűnek látszik tehát az a törekvés, hogy olyan optikai szűrőrendszert alkalmazzanak, amelyek után már nincs szükség mátrixolásra. Vagyis olyan kamerakialakítás a célszerű, amelyben a képfelvevőcsövek közvetlenül adják a három alapszínjelet, R -t, G -t és B -t. Ehhez természetesen a 3 szűrő transzfer függvényét meg kell változtatni úgy, hogy azok megfeleljenek a színmérési szabályoknak.

Vegyük alapul a mátrixegyenletet, és helyettesítsük be X , Y és Z helyére a CIE spektrális színösszetevők értékeit. Ily módon minden egyes hullámhosszra adódik egy-egy $R - G - B$ értékhármass, amelyeket értelemszerűen és felülvonásokkal jelöljük. Ezek szerint:

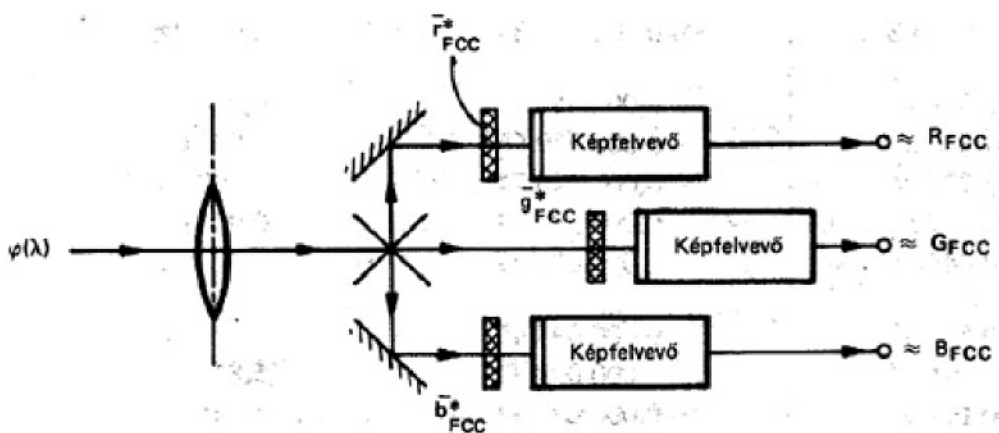
$$\begin{pmatrix} \bar{r}_{FCC}(\lambda) \\ \bar{g}_{FCC}(\lambda) \\ \bar{b}_{FCC}(\lambda) \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{pmatrix}$$

Ezeket a színes tv alapszíneire átszámolt spektrális színösszetevő függvényeket adja meg a 2.1.5.2. ábra. Jól látható ezekből, ami várható volt, hogy a görbéknek bizony van negatív szakaszuk is, így ezeknek mint a szűrő transzfer karakterisztikáinak a realizálása elvileg nem lehetséges. Ha azonban tekintettel vagyunk arra, hogy a képviisszaadó cső, sőt maga a színes tv-rendszer sem lenne alkalmas a választott alapszínháromszögön kívüli színek megjelenítésére, akkor nem tűnik durva közelítésnek az, ha azt mondjuk: próbáljuk a három optikai szűrő valóságos transzfer karakterisztikáját úgy kialakítani, hogy a pozitív tartományok feleljenek meg a számított értékeknek, míg a negatív tartományok helyett legyen a szűrő 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 minőségű színes képet ad, és csak az extrém nagy telítettségű színek reprodukciójánál van hiba. Ezzel viszont egyébként is számolnunk kell, hiszen ezek a színek mindenképpen kívül esnek az FCC színháromszögön.



2.1.5.2. ábra

Ezek szerint tehát a 2.1.5.1. ábra szerinti elrendezés módosításával már a gyakorlatban is jól használható kameraösszeállítás adódik, ezt rajzoltuk meg a 2.1.5.3. ábrán.



2.1.5.3. ábra

Elmaradt a mátrix, a 3 szűrő pedig a 2.1.5.2. ábra görbéiből a negatív szakaszok nullává tételével adódó *-gal jelölt transzfer karakterisztikát valósítja meg:

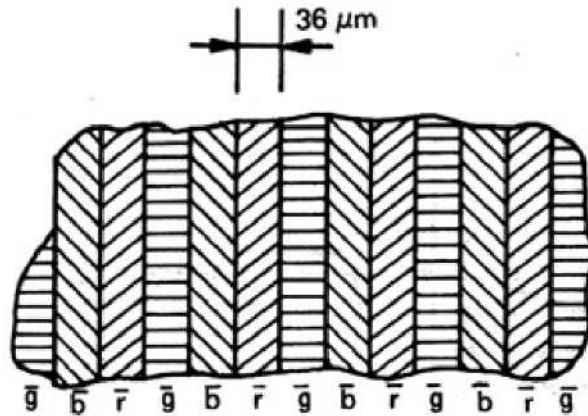
$$R_{FCC} = \int \varphi(\lambda) \bar{r}_{FCC}(\lambda) d\lambda \approx \int \varphi(\lambda) \bar{r}_{FCC}^*(\lambda) d\lambda$$

$$G_{FCC} = \int \varphi(\lambda) \bar{g}_{FCC}(\lambda) d\lambda \approx \int \varphi(\lambda) \bar{g}_{FCC}^*(\lambda) d\lambda$$

$$B_{FCC} = \int \varphi(\lambda) \bar{b}_{FCC}(\lambda) d\lambda \approx \int \varphi(\lambda) \bar{b}_{FCC}^*(\lambda) d\lambda$$

Egy további kívánság - ismét a gyakorlati tapasztalatokat felhasználva - az, hogy ne kelljen a 3 felvevőcsövet igen szigorú követelmények előírásával pontosan együttfuttatni. Ez ugyanis a felbontást kritikussá teszi, mert a 3 eltérítő-rendszernek egy képelemnél kisebb méretű toleranciával kell együttműködnia, ellenkező esetben nem összetartozó képelemek alapszínjelei kerülnek egyidejűleg a kimenetre, ami nyilván a felbontás romlásával jár. Ezt úgy lehet elkerülni, hogy alkalmaznak egy negyedik felvevőcsövet 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 egyszerűbb, a zöld (G) alapszínjel-csatornát képezik ki Y csatornává nagy sávszélességgel, míg a másik kettő csupán kis felbontással végzi a színinformáció feldolgozását (3-csöves YRB kamera). A zöldcsatorna színszűrője ugyanis igen hasonló karakterisztikájú kell hogy legyen, mint a láthatósági függvény, ami viszont szükséges a jó Y jel előállításához.

Végül megemlíjtük még, hogy létezik egyetlen képfelvevőcsövet alkalmazó színes tv-kamerakonstrukció, amelynél az egyetlen képcső homloklapja mögött az üvegburán belül igen vékony szeletekben függőleges állású színszűrőhármass ismétlődik (2.1.5.4. ábra).



2.1.5.4. ábra

A letapogató elektronsugár az ilyen csőnél (trinicon) egymás után adja a képtartalomnak megfelelő R , G és B értékeket, így a videojel további, aránylag bonyolult feldolgozást igényel ahhoz, hogy végül is külön-külön, de természetesen egyidejűleg rendelkezésre álljon a három alapszínjel. Az időmultiplex módon létrejövő R , G és B alapszínjelek pontos szétválaszthatóságát egy járulékos, ún. indexelektróda teszi lehetővé, amelyről nyerhető a színszinkronjel, mivel ennek csíkozott kivitele pontosan megfelel a csíkokból álló színszűrősávok osztástávolságának. Az ilyen sávos kiképzésű színszűrős kamera felbontása természetesen nem lehet olyan jó, mint a 3- vagy a 4-csöves megoldásé. Hallatlan előnye viszont az, hogy nincs szükség szigorú követelményeket kielégítő eltérítő-áramkörökre,

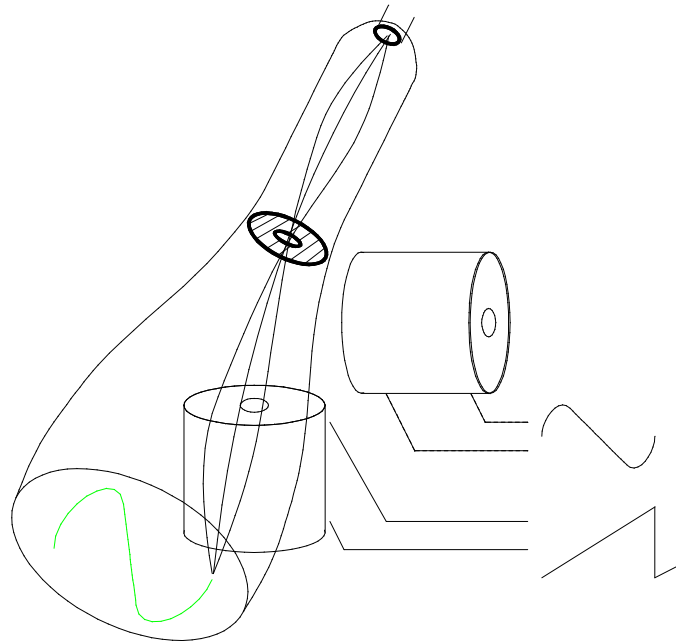
együttfutásra, hiszen egyetlen cső egyetlen elektronsugarával megy végbe a kép három alapszínre való felbontása. Ma már ezek az egycsöves színes kamerák is olyan jó minőségűek, hogy riporter, híradó-felvételi célokra még a professzionális tv területén is alkalmazást nyertek.

2.2. Katódsugárcsöves képmegjelenítő

Rövid történelmi áttekintés

A katódsugárcső a múlt század második felének atomfizikai kutatásai során jött létre. Fontosabb állomásai a következők voltak:

Hittorf 1869-ben észlelte, hogy vákuum-csőben, nagy feszültség hatására a katódból „sugarak” lépnek ki. Ezek tulajdonságát Crooks vizsgálta részletesebben, majd Braun alakította ki a Crooks csőből a képmegjelenítőt. Az elektronnaláb útjába fókuszáló és eltérítő rendszereket helyezett, a cső homlokfalára vitte fel a lumineszkáló fényporbevonatot. (1. ábra).

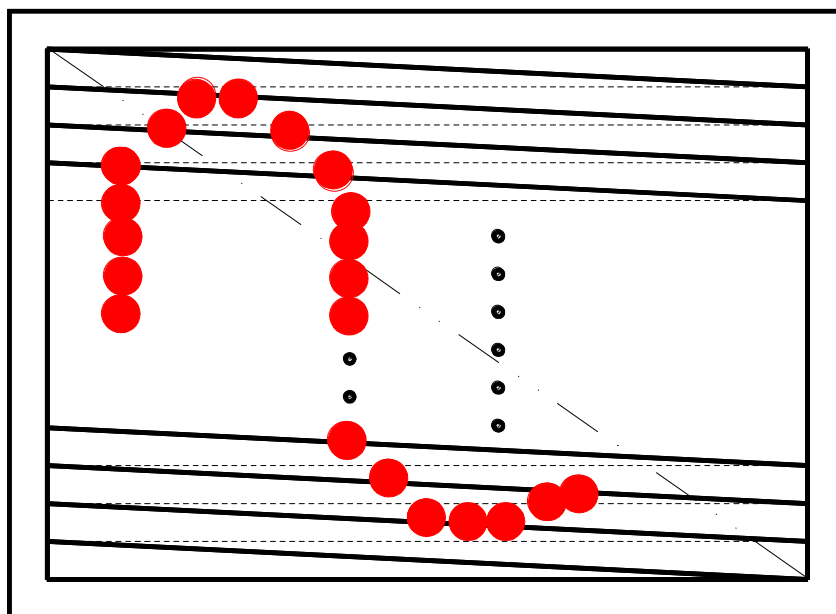


2.2.1. ábra A Braun féle cső vázlata.

Ezt az elvet hasznosították a katódsugárcsőszekciókban elektromos jelek időfüggésének, vagy két egyidejű lefutással rendelkező jel összefüggéseinek vizsgálatára (vektor-grafika, Lissajous ábrák).

A katódsugárcsövet televíziós képek megjelenítésére 1928-299 óta használjuk. A televíziós technikában nem a vektor - grafika, hanem az ún raster grafika elve alapján rajzolják a képet, s ezt vette át a számítógépes grafikai megjelenítés is: a kép elektromos jelsorozattá történő átalakításakor sorról-sorra tapogatjuk le a képet és ezt továbbítjuk. A kép visszaállításakor a katódsugárcsőben az elektronsugarat úgy vezérlik, hogy az a kép felrajzolásakor a bal felső sarokból induljon, végigpásztázza a kép felső sorát, közben kicsit elmozdul lefelé, majd visszaugrik az elektronnaláb a kép bal szélére és elkezd a 2. sor felírását. A televíziós technikában, átvitel-technikai sáv szélesség megfontolásai miatt, két félkép formájában történik az átvitel: először a páratlan sorokat rajzolják a képernyőre, majd a párosakat (interlaced technika). A számítógépben használt képmegjelenítésnél a kép minden sorát folyamatosan pásztázza az elektronnaláb (non-interlaced technika). A számítógép monitorán megjelenő kép ennek megfelelően sorokból tevődik össze, a sorokban lévő egyes képpontok

fénysűrűségét az szabja meg, hogy mekkora az elektronnyaláb erőssége abban az időpillanatban, amikor az adott helyre (raszterpont vagy pixel) jut az elektronnyaláb 2.2.2. ábra.



2.2.2. ábra Rasztergrafikai képmegjelenítés

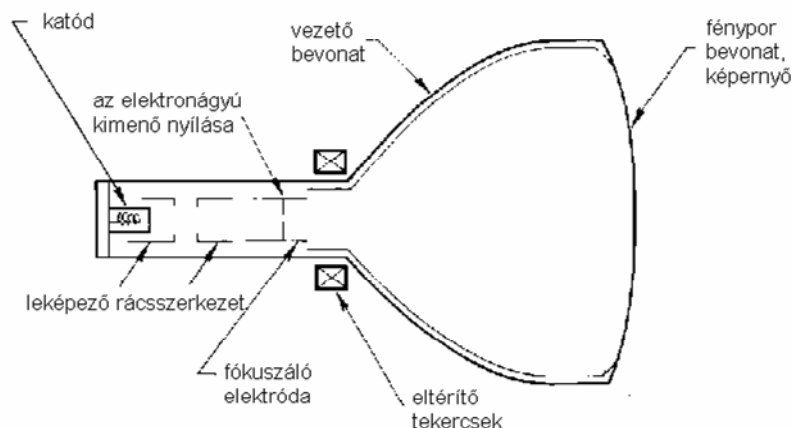
Amikor az elektronnyaláb elérte a kép jobb alsó pontját, nagyon rövid idő alatt visszaugrik a nyaláb az első sor bal szélére. A sor és kép visszafutásának idejére az elektronnyalábot kioltják, így ezen idők alatt nem ír jelet a képernyőre.

A fejlődés következő fontos lépése a színes képmegjelenítés volt (1950), amikor árnyékmásk segítségével három elektronágyú sugárzását három különböző (vörös, zöld, kék) fényben világító fénypor szigetecskére vetítették. Az emberi szem a sűrűn egymás mellett elhelyezkedő különböző színű világításokat már nem tudja térben elválasztani egymástól, az egyes sugárzások additív keveréke hozza létre az észlelt színt.

A további fejlődés ezen technológiát tökéletesítette, az elektronnyalábok fókuszálását javították, jobb minőségű árnyékmásk anyagokat dolgoztak ki, majd más elektronnyaláb szétválasztó lejárásokat is kifejlesztettek. Az alábbiakban a katódsugárcsöves képmegjelenítő felépítésének alapjait és manapság használt néhány változatát ismertetjük.

2.2.1. Katódsugárcsöves képmegjelenítő elvi felépítése

A 2.2.1.1. ábrán egyetlen színben (monokrom) világítani képes katódsugárcső hosszmetsetét látjuk. A katódsugárcső nagyvákumra leszívott üvegballon. A cső nyakában van a fűtött katód. Ennek felületi rétege BaO vagy más hasonló anyagot tartalmaz, melyből termikus hevítés hatására (fűtőszál) elektronok tudnak kilépni. Az elektronnyalábot fókuszáló elektronoptika hozza létre. Ez az elektronoptika általában különböző potenciára kapcsolt lyukblendék sorozatából áll, de vannak elektromágneses fókuszáló rendszerek is (ilyeneket használnak például az elektronmikroszkópokban).



2.2.1.1. ábra Katódsugárcső hosszmeteszetének vázlatá.

A fókuszáló rendszert követi a ballon kiszélesedése tájékán az eltérítő rendszer, mely az elektronnyalábot a homloklap különböző helyére irányítja. Az eltérítés is lehet elektrosztatikus (oszilloszkóp csövekben ezt használják), számítógép kijelzőben általában elektromágneses eltérítést alkalmaznak.

A katódsugárcső homloküveg lapjának belső felületére fényport visznek fel, mely a beeső elektronok hatására lumineszkál. Ahhoz, hogy a lumineszcencia elég fényerős legyen, az elektronoknak kellő energiával kell becsapódniuk. Ezért a katód és a fénypor rétegre felvitt igen vékony, elektron áteresztő, fémes anód közt nagy gyorsító feszültségkülönbség kell, hogy uralkodjék. Az elektronokat a fénypor rétegről el is kell vezetni, ezért a cső oldalán elhelyezkedő anód kivezetést és a fénypor réteget takaró, a gyors elektronokat áteresztő vékony alumínium réteget a ballon belső falára felvitt úgynevezett aquadag (kolloid szénréteg) köti össze.

A ballon belsejét evakuálják, ezért arra 1 atmoszféra nyomás nehezedik. Ahhoz, hogy ez a nyomás ne roppantsa össze a csövet, a homloklapját enyhén meg kell görbíteni, és viszonylag vastag (cm-es vastagságú) üvegből kell készíteni. Bár a mai modern technológiával készített katódsugárcső esetén valószínűtlen, hogy kisebb ütés, koccanás hatására a cső berobbanjon (implosio), azért a katódsugárcső cseréjéhez, annak szereléséhez megfelelő védőpajzsos szemüveget és speciális testvédő kesztyűt kell hordani. Ha a cső berobban a homloklap szilánkjait az atmoszféra nyomás puszkagolyó sebességűre gyorsíthatja.

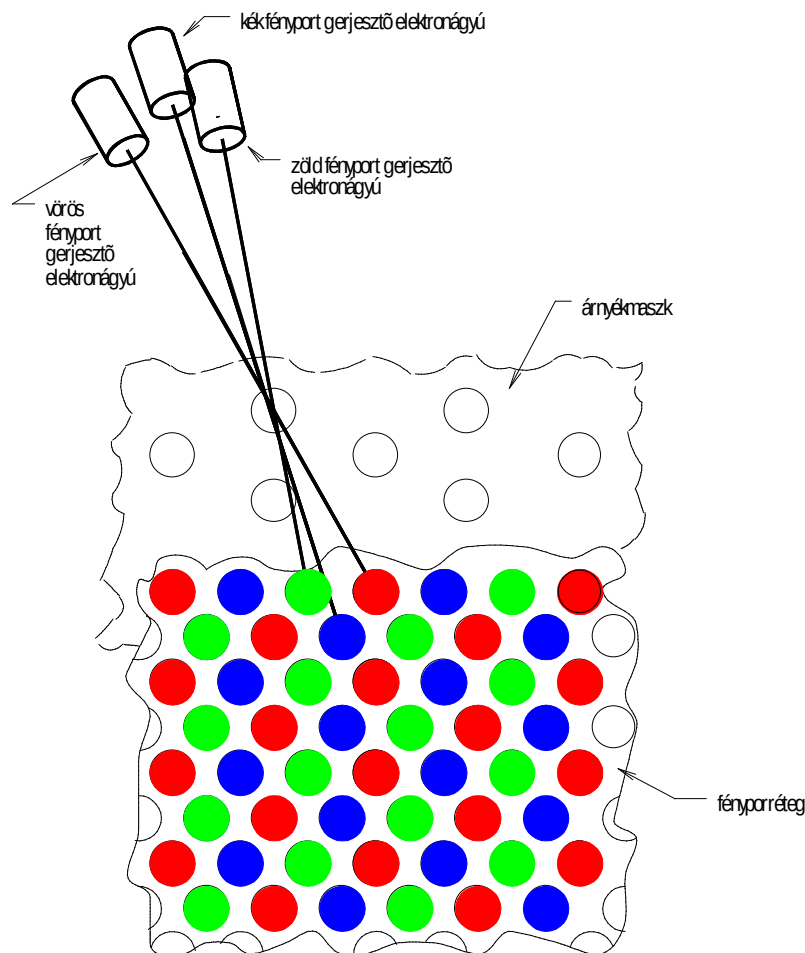
2.2.2. Színes képmegjelenítőben használt katódsugárcsövek

Mind a televíziós technikához, mind a modern számítástechnikai képmegjelenítéshez a képcsövön színes képet kell létrehozni. Ezt az additív színkeverés elvén valósítják meg. Időrendben elsőként az úgynevezett lyukmaszkos, vagy árnyékmaskos (shadowmask) képcsövek terjedtek el. A nagyfelbontást, finom rajzolatot igénylő megjelenítők ma is ezen elven épülnek fel.

2.2.2.1.Árnyékmaskos képcső

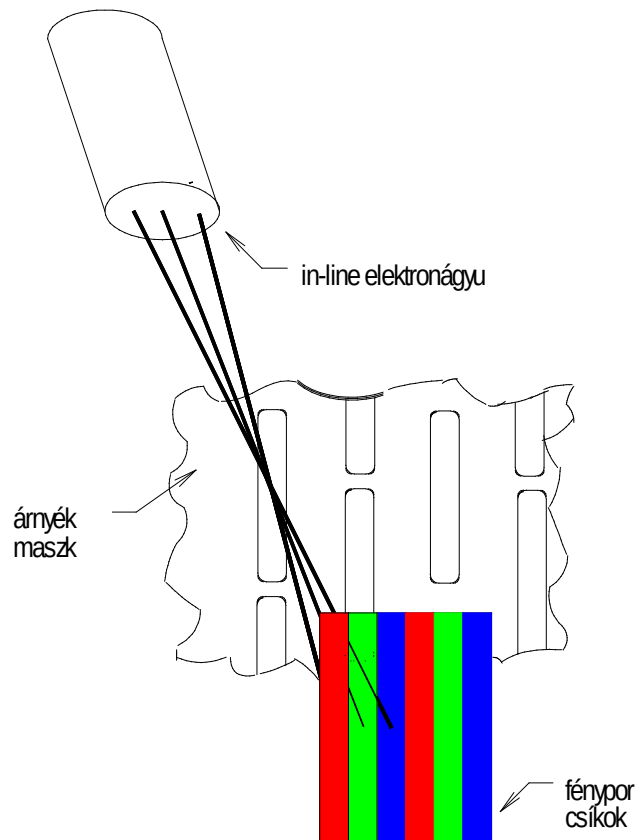
A 2.2.2.1.1. ábra árnyékmaskos cső felépítését szemlélteti. A színes képet vörös (red: R), zöld (green: G) és kék (blue: B) színben világító fénypor fényének keveréke hozza létre. Ehhez a három fényport szabályos síkrács formában ülepített kis szigetekként kell a ballon homloklapjára felvinni, és elektronnyalábbal gerjeszteni. Ehhez három elektronnyalábra van szükség, melyet a régebbi csőtípusokban egyenlő oldalú háromszög csúcaiban (Δ : Delta)

elrendezett katódok és elektronágyúk hoztak létre (R, G, B). Az elektronnyalábot úgy fókuszálták, hogy a homloklap közelében lévő árnyékmásk lyukain áthaladó elektronnyalábok közül az R nyaláb csak vörösen világító fénypor szigeteket érhesse, a G nyaláb csak zölden, a B nyaláb csak kéken világítót.



2.2.2.1.1. ábra Árnyékmáskos képcső részlete.

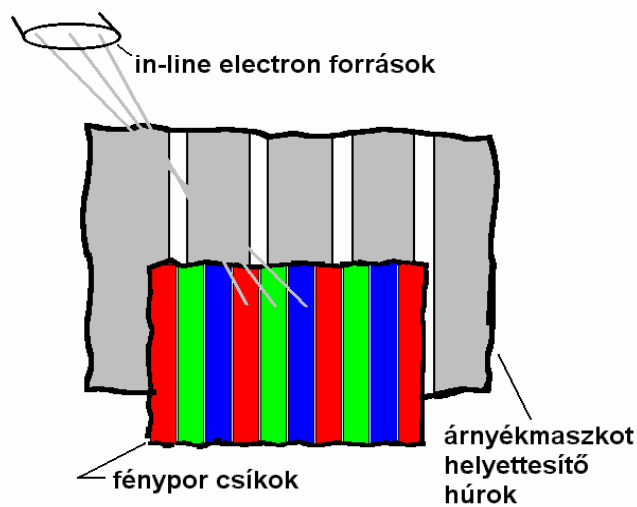
Modern árnyékmáskos képcsőveknél két-két szomszédos lyuk távolsága 0,2 mm ... 0,3 mm, az árnyékmásk invar ötvözetből készül, melynek hőkitágulási együtthatója igen kicsiny. Erre azért van szükség, mert az elektronnyaláb egy része az árnyékmáskba ütközik, azt felmelegíti s így nem invar anyag esetén kitágul. Ha ez lokálisan jön létre, mert adott helyen nagyobb az elektronáram, az árnyékmásk torzul, a torzult máskok áthaladó elektronok szomszédos fényporszigetecskéket is elérhetnek, ami hamis színek létrehozásához vezet. A gyorsan mozgó elektronok maguk körül mágneses teret keltenek, mely hosszabb idő alatt felmágnesezi az árnyéklemezt. Ez az elektronnyalábot defókuszálja, ami a kép minőségét rontja. Ezért az árnyékmásk lemezt időnként le kell mágnesezni. Modern monitoroknál ez a bekapcsoláskor automatikusan történik: az árnyékmásk lemez körül elhelyezkedő tekercsbe váltakozó áramot vezetnek, melyet fokozatosan kikapcsolva a tekercsben lévő mágneses anyagok doménjei eredeti rendezetlen irányítottságukat veszik fel. Újabban árnyékmáskos képcsővekben is használják az úgynevezett "in-line" technikát, ahol a három elektron-katód egy vonalban helyezkedik el és közös a fókuszáló rendszerük (lásd 2.2.2.1.2. ábra).



2.2.2.1.2. ábra In-line elektronágyú elrendezés.

2.2.2.2. Trinitron maszkos cső

Az árnyékmásk lyukai körül sok elektron becsapódik az árnyékmásk lemezbe, s ez rontja a cső hatásfokát. Jobb elektronáram hasznosítást ért el a Sony cég szabadalma alapján készült "Trinitron" márkanevű katódsugárcső, melynél árnyéklemez helyett párhuzamos vékony lemezeket, húrokat feszítettek ki, lásd 2.2.2.2.1. ábra.



2.2.2.2.1. ábra: Trinitron maszkos képcső.

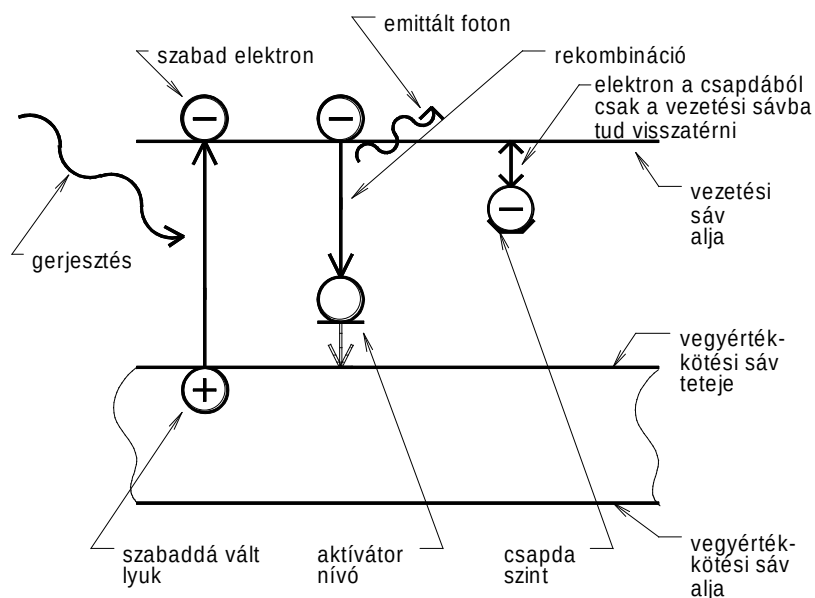
Ezen rendszer elektronáram hasznosítása igen jó, az on-line katódelrendezéssel kombinálva finom rajzolatú, nagy fényerősségű cső készítését tette lehetővé.

A Trinitron cső húrjait erősen meg kell feszíteni ahhoz, hogy külső lökés, ütés hatására ne kezdjenek el rezegni. A rezgés csökkentésére, függőleges húr elrendezés esetén, vízszintesen egy-két igen vékony húrral kötik össze a színeket elkülönítő húrokat. Ez azonban vékony sötét csíkként látható a képernyőn.

Másik, első pillanatra is feltűnő jelenség, hogy míg az árnyékmazk lehet gömbsüveg formájú, s így a katódsugárcső homloklapja is lehet gömbsüveg, mely a külső nyomásnak jobban ellenáll, a Trinitron húrok függőleges irányban egyenesek, csak a vízszintes metszet lehet ívelt, s ezért a cső homloklapja hengersizet formájú. Ez a rálátást javítja, de a technológiát nehezíti.

2.2.3. A fényporréteg

Az elektronikus jel átalakítása optikai jellé a fényporrétegben történik. A fénypor mikrokristályos szigetelőanyag, melynek tilos-sávjában aktivátor nívók vannak. Lumineszkáló anyag egyszerűsített sávképét láthatjuk a 2.2.3.1. ábrán.

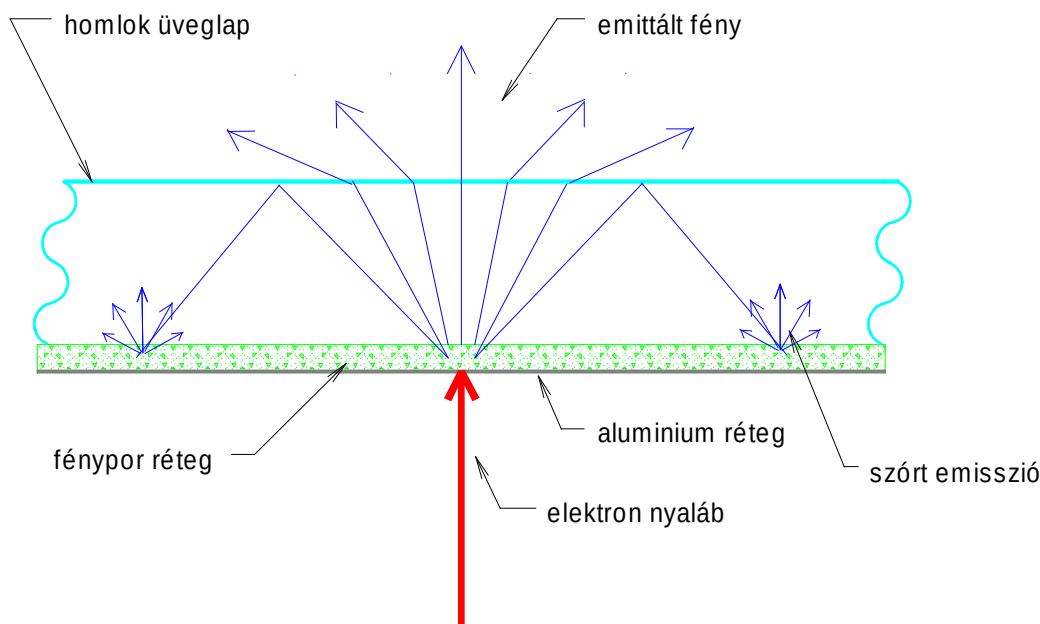


2.2.3.1. ábra Lumineszkáló anyag egyszerűsített sávképe

A nagy energiával becsapódó elektronok további elektronokat tesznek szabaddá, vagy gerjesztenek magasabb energiaállapotba, ahonnan az aktivátor alapállapotába visszatérve fotont bocsátanak ki. A kristályos anyagban lehetnek csapda (trap) nívók is, melybe ha beleesik az elektron, onnan csak termikus gerjesztéssel tud ismét a vezetési sávba visszajutni, majd az aktivátor nívón lévő lyukkal foton kibocsátás mellett rekombinálódni. Ilyenkor a gerjesztés és az emisszió között hosszabb idő is eltelhet, ezt a jelenséget hívjuk utánvilágításnak, vagy foszforeszcenciának. (Katódsugárcsöves monitort sötét szobában kikapcsolva az elektromos gerjesztés megszűnése után látható a képernyő fokozatos elsötétülése, az utánvilágítás.)

Ha a fénypor utánvilágítása túlzottan hosszú idejű, a képernyőn mozgó jelenségeknél a világos mozgó tárgyat követő üstökös figyelhető meg. Ha az utánvilágítás túlzottan rövid, a fényjelenség arra a rövid időre koncentrálódik, amíg az elektronsugár az adott pixelt gerjeszti. Ez szubmikroszekundumos idő is lehet, s például 80 Hz-es kép frissítési frekvencia esetén a

fényhullám kitöltési tényezője akár 10^{-4} is lehet; 100 cd/m^2 fénysűrűséghez Mcd/m^2 csúcshinténzítások adódnak. Ezen rövid idejű igen erős felvillanások átlagolását szemünk elég jól elvégzi, a képernyő világításának fotoelektromos mérése esetén azonban meg kell győződni arról, hogy a készülék pontosan integrálja-e a felvillanás alatt kapott fényáramot. A fényporréteget a katódsugárcső homloklapjának belső felületére hordják fel. A rétegben lévő mikrokristályban keletkezik a fény, de a nagy törésmutatójú lumineszkáló kristályból való kilépéskor a fény útja megváltozik, sokszorosan törést, totálreflexiót, szórást szenved, lásd 2.2.3.2. ábra.



2.2.3.2. ábra Fényszórás a képernyő fényporrétegében.

Ezért a képernyő nem csak ott világít, ahol elektronok étek, de csökkenő intenzitással annak környezetében is. A katódsugárcső gyártók féltve őrzött technológia titka, hogy optimális világítást milyen szemcseméretű, milyen rétegtészítési technológiával (pl. ülepítéssel), esetleg milyen utókezeléssel (réteg színterelése) érnek el. Nagyon finom rajzolatú cső készíthető, ha nem kész fényporszemcséket ágyaznak be egy hordozó mátrixba (alapanyagba), hanem a ballon falán alakítják ki, hordozó mentesen, a mikrokristályos struktúrát.

A színes jelek visszaadására készült katódsugárcsőnél például a lyukmaszk által megszabott $0,2 \text{ mm} \dots 0,3 \text{ mm}$ -ként három különböző fényporból kell kis szigeteket, szubpixeleket kialakítani. A cső fénytisztaságát - a szomszédos szubpixelekből való fényátszűrődést - le lehet csökkenteni, ha a szubpixelek között fekete, fényt át nem eresztő anyag tölti ki. Ezen megoldás hátránya, hogy a szubpixelek méretét kell kisebbre választani és ezért a létrehozható maximális fénysűrűség kisebb, mint a hagyományos elrendezés esetén.

2.3. Passzív (nem önvilágító) képmegjelenítők [LCD]

Az eddigi tárgyalt összes képmegjelenítő maga termelte a kép megjelenítéséhez szükséges fényt. Az úgynevezett passzív képmegjelenítőkön a kép csak akkor látszik, ha a képernyőt meg, vagy átvilágítjuk. Leglényegesebb képviselője ennek a képmegjelenítő típusnak a folyadékkristályos képmegjelenítő (Liquid Crystal Display, LCD).

Történelmi áttekintés

Bizonyos szerves molekulák elektrooptikai tulajdonságait több mint egy évszázada ismerjük, képmegjelenítésre azonban csak az 1960-as évek óta használják őket. A folyadék kristály gyűjtő fogalom. Egyszerűen folyadékkristályos kijelzőnek nevezett eszköz számos különböző fizikai hatáson alapulhat.

Az első folyadékkristályos kijelzőkben olyan anyagot használtak, melynek fényszűrő tulajdonsága megnőtt, ha erős elektromos térbe helyezték (dinamikus fényszórás). További hatások, melyeket kijelzőben használtak, az elektromos tér hatására létrejövő kolesterikus - nematikus átmenet és a guest-host (fogadó mátrixba beágyazott vendég anyagok) hatás dikroikus festékekkel.

Komoly haladást jelentett a csavart nematikus (Twisted Nematic, TN) hatás felhasználása (TN-LCD) a 70-es évek elején. Ezzel a technikával sikerült kielégítő élettartamot elérni, és kisebb oszlop/sor számú, mátrix címzésű képmegjelenítőket készíteni.

Nagyobb (500x500) pixelszámú mátrixokat csak a szupercsavart nematikus (Super Twisted Nematic, STN) módus felfedezése után sikerült készíteni (1984). A kellően rövid kapcsolási idejű, fekete-fehér átmenetű folyadékkristályok kidolgozása (melyeket RGB szűrőkkel kombinálva meg lehetett valósítani a színes képmegjelenítőt) a fejlődés további állomását jelentette. Ezt az elvet hasznosító CD-kijelzőkkel a xxx fejezetben még foglalkozunk.

A következő fontos lépés az egyes pixelek aktív meghajtása volt, mivel a szokásos technológiával már nem lehetett nagyobb mátrixokat előállítani. Bár a magyar származású Bródy már a 60-as évek közepén ismertette az aktív mátrix (AM) meghajtás módszerét, AM-LCD rendszerek csak a 90-es évek közepétől váltak általánosan elterjedté. Az 1990-es évek végére az AM-LCD technológiával XGA (1024x768 pixel) felbontású 13,3" diagonális méretű képmegjelenítők is elérhető áru eszközökké váltak.

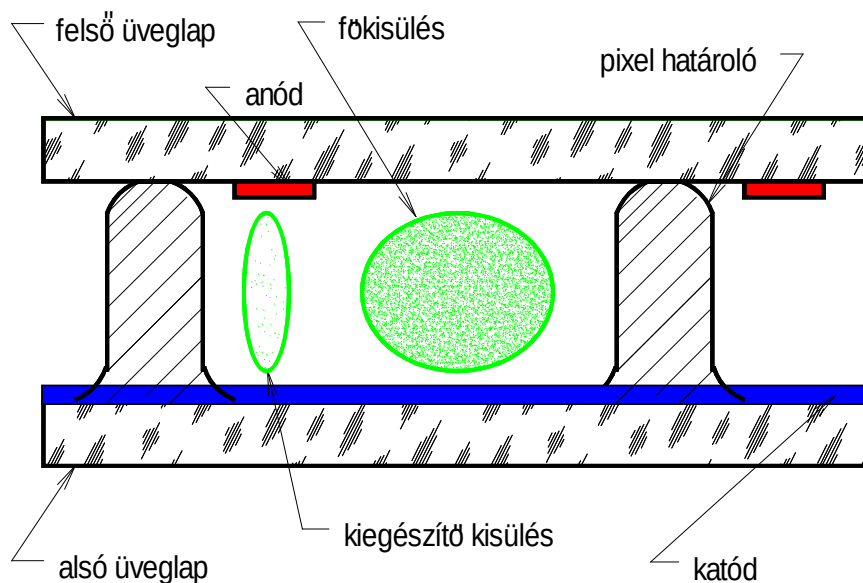
Számos más LC technológiával is foglalkoznak a kutatók és fejlesztők (ferro és antiferro elektromos, reflektáló kolesterikus, plazma címzett stb. LCD rendszere). A jelen összeállítás készítésekor még nem volt világos, mikorra érik el e rendszerek a piaci érettség állapotát. A verseny aba az irányba halad, ki tud nagyobb rálátási szögtartományból torzítatlan színekkel rendelkező képernyőt készíteni.

2.4. Plazma képmegjelenítő

A katódsugárcsöves képmegjelenítő egyik, nagy felületű képmegjelenítők készítéséhez igen perspektivikus, vetélytársa a plazma képmegjelenítő (plasma display panel, PDP). Míg a katódsugárcsöves monitor 21" diagonális képátmérő fölött már igen nagy tömegű és drága eszköz, a PDP-k 40" diagonális átmérő, és e fölött is készülnek.

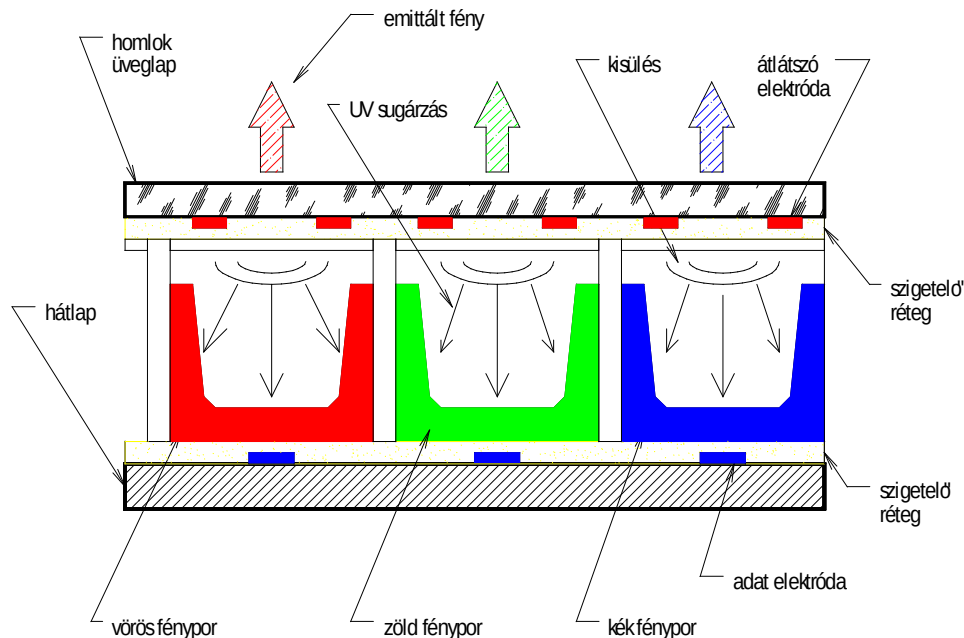
A plazma kijelző pixelének működése nagyon hasonló a gázkisülőlámpák működéséhez: megfelelő feszültségkülönbség hatására a gáztérben lévő töltéshordozók gyorsulnak, ütközéssel gerjesztett atomokat hoznak létre, vagy újabb atomokat ionizálnak. Az alapállapotba való visszatérés és rekombináció során fény keletkezik. A fény színét a töltőgáz (például Ne esetén narancsvörös) szabja meg.

Plazmakijelző készíthető egyenáramú üzem számára. Ezen esetben külső áramköri elemmel kell gondoskodni arról, hogy a kialakuló ívkisülés ne növekedjék meg nem engedett áramerősségeig; azaz áramstabilizált üzemmódot kell létrehozni, melynél az áramerősséggel vezérelhetjük a fénysűrűséget. Az egyenáramú plazmakijelzőnél a biztos, időkésés nélküli, gyújtás érdekében úgy szokták beállítani a kisülést, hogy "sötét" állapotban is legyen a pixel egyik szélén kisülés, melynek fényét azonban eltakarják (2.4.1 ábra).



2.4.1. ábra Egyenáramú plazmapanel egy pixelének felépítése.

Váltakozóáramú (AC) plazma pixel esetén az elektródákat el lehet szigetelni a gáztértől. A vezérlő jelforma bonyolultabb, viszont a rendszerbe emlékező hatás építhető be, csak azon pixeleket kell az alapjeltől eltérő jellel vezérelni, melyek világítási állapotát meg akarjuk változtatni. Az ilyen plazmakijelző kisebb képfrissítési frekvencia esetén sem mutat villogást. Ha magának a gáztérnek látható fényét használjuk fel képmegjelenítésre, jó hatásfokkal csak monokróm kijelzőt készíthetünk. Háromszínű pixel keresztmetszeti képét a 2.4.2 ábra szemlélteti.



2.4.2 ábra Háromszínű plazmapanel pixelének keresztmetszeti képe.

Itt a töltő gáz az elektromos gerjesztés hatására az ultraibolya színek tartományban sugároz, és a fénycsőhöz hasonlóan ezt a sugárzást fénypor segítségével alakítjuk át látható fénné. A három szubpixelt külön - külön kell címezni, s a kisülésük rendre vörösen, zölden, kéken világító fényport gerjeszt. A 2.4.2 ábrán bemutatott rendszer AC panel, a két üveglemez

távolsága 100 μm - 200 μm és külön átlátszó elektródapár hozza létre a kisülést, és vezérlő adat-elektróda vezérli annak intenzitását.

A PDP-k hátránya, hogy nagy (150 V - 200 V) feszültség szükséges a vezérléshez, a pixelek közötti távolság (pitch) 0,3 mm - 0,4 mm, az elérhető kontraszt viszony a legtöbb megvalósított rendszernél csak kevéssel haladja meg a 100:1 értéket. Mindezek ellenére, ha a m^2 árat sikerül elfogadható értékre csökkenteni, úgy a PDP a jelenlegi lapos képernyőknek vetélytársa lehet, főleg ahol nagyobb kijelzőkre van szükség.

2.5. Projektor típusok, működési elvük

A mindennapokban használatos projektor típusok a katódsugárcsőes (CRT, *cathod ray tube*), a folyadékkristályos panel(ek)ből felépülő (LCD, *liquid cristal display*) és a mikrotükrös (DLP, *digital light processing*) projektorok. Működésüket az alábbi összefoglaló mutatja be röviden.

Az LCD és DLP projektorok működési elve az, hogy egy nagy teljesítményű lámpa állandó sugárzásból állítják elő a kivetítendő képet, amit megfelelő optikával vetítenek ki. A CRT projektorok a CRT monitorokéhoz hasonló elven állítják elő a képet.

2.5.1. CRT

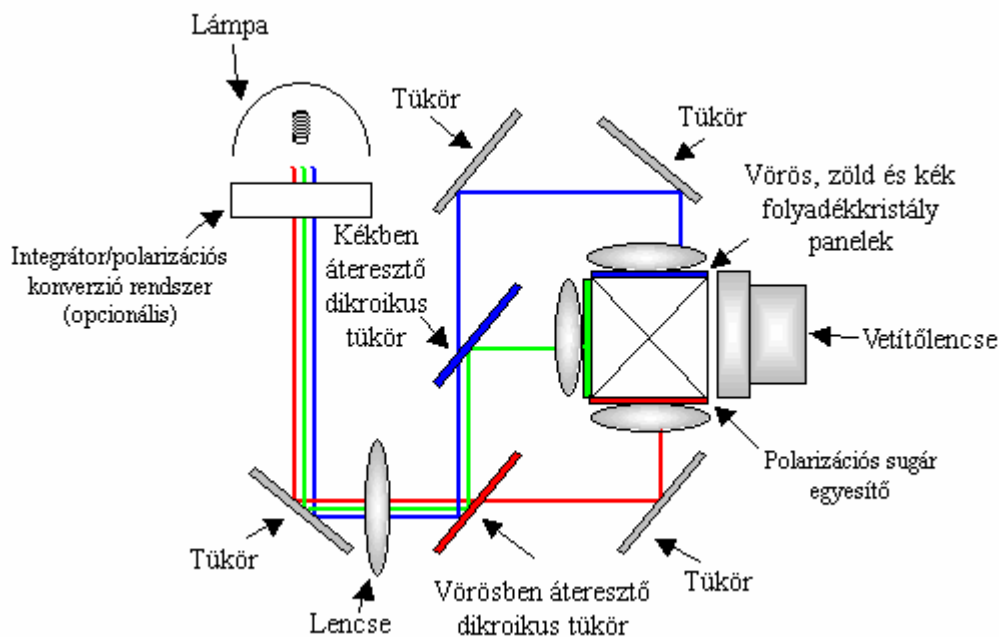
A katódsugárcsőes projektorokban nem valamilyen lámpa szolgáltatja a sugárzást, hanem az fényporokban képződik az elektronágyúk nyalábjainak hatására. Az alapszíningereknek megfelelően három – körülbelül 18 centiméter átmérőjű vetítőlencsével kiegészített – képcsövet tartalmaznak, és a három kép a lencséken keresztül vetül egymásra a vetítővászonra.

2.5.2. LCD

Két különböző technológiájú LCD projektor létezik. A transzmisszív típus esetén az optikai sugárzás LCD panel(ek)en halad át. A reflexív típusnál a forrás sugárzása LCD panel(ek)ről verődik vissza.

A transzmisszív technológia esetén két elrendezést alkalmaznak: az egypaneles elrendezést és a hárompaneles elrendezést. Az egypaneles LCD projektor működési elve teljesen megegyezik az LCD monitorokéval, csupán annyi a különbség, hogy lapos fényforrás helyett egy nagyteljesítményű lámpa szolgáltatja a sugárzást, amely a kis méretű (általában 0,9 inch) LCD panelen halad át. A panelt a már kész kép hagyja el, és azt vetítik ki megfelelő optikával.

Ezzel szemben a hárompaneles LCD projektorban az LCD paneleken nincsenek filterek, mivel a lámpa sugárzását a panelek előtt annak alapszíningereire bontják szét, és ezek külön-külön a saját paneljükön haladnak át (ezért van három panel). A 2.5.2.1 ábra sematikusán ábrázolja egy hárompaneles LCD projektor működési elvét.



2.5.2.1 ábra

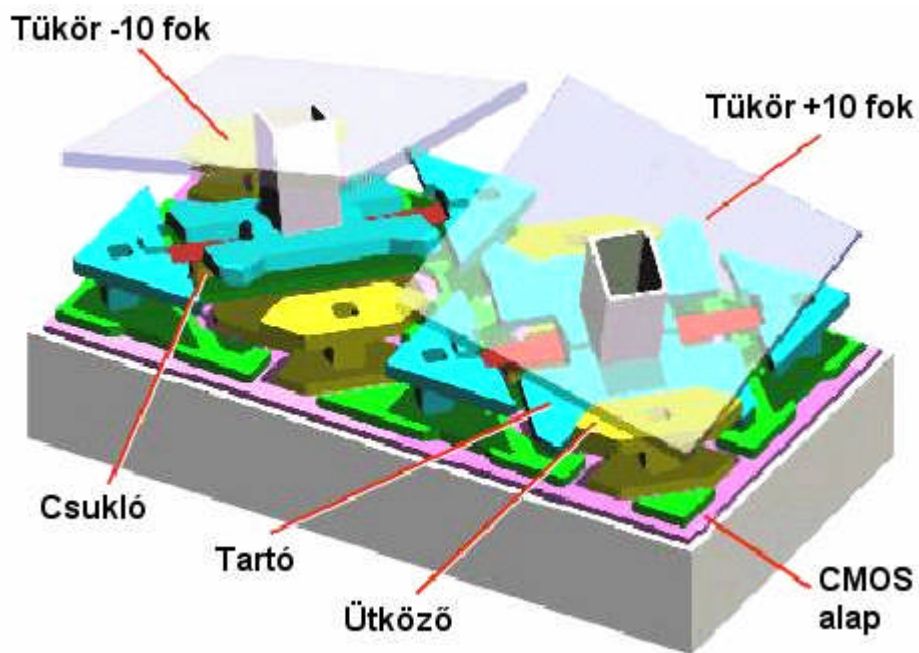
Hárompaneles LCD projektor sematikus működési elve

Forrás: Sharp Laboratories of Europe Ltd.

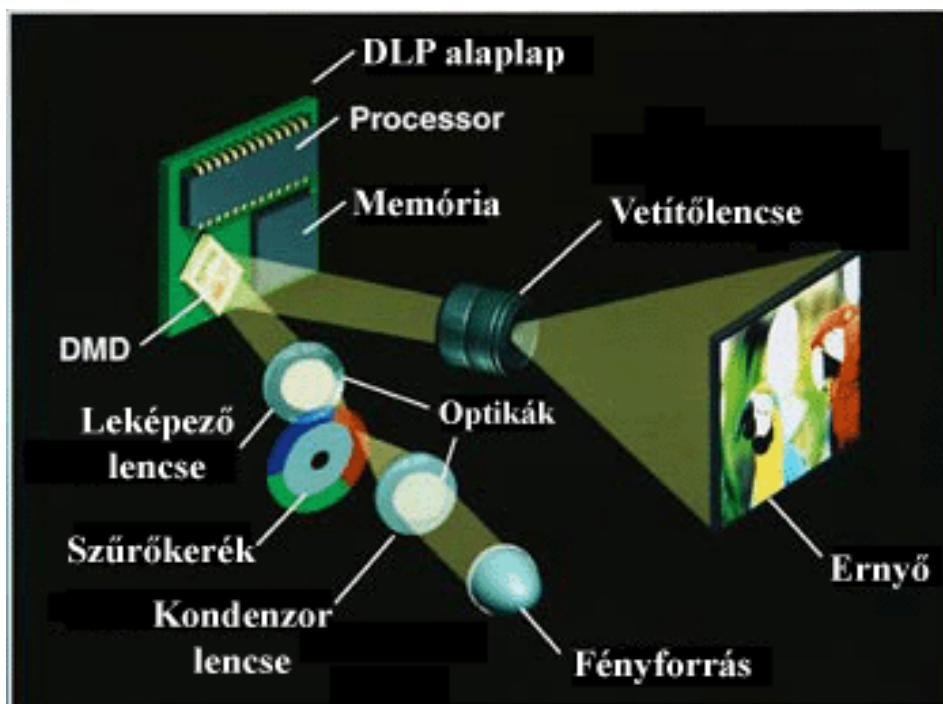
2.5.3. DLP

A DLP projektorokban képképzésre az ún. DMD (*Digital Micromirror Device*) chipet használják. Az apró mikrochip felületén többszázezer mikroszkopikus méretű tükör helyezkedik el (egy mikrotükör párt mutat a 2.5.3.1 ábra). A mikrotükör billenésével lehet elérni, hogy a sugárzás a vetítőlencse irányába, vagy egy elnyelő rétegre verődjön vissza. A tükör billenési állapotainak idejével lehet a kivetített sugárzás fényerősségét szabályozni. Az egychipes elrendezésben a lámpa sugárzása egy gyorsan forgó szűrőkeréken halad keresztül, melyeket vörös, zöld és kék szegmensekre osztottak (alapszíninger szűrők), majd a DMD chipről egy optika vetíti ki a képet (ld. 2.5.3.2 ábra).

A háromchipes elrendezésben a lámpa sugárzását három alapszíningerre bontják szét (akárcsak a hárompaneles LCD projektor esetében), és az alapszíningerek egy-egy DMD chipre vetülnek.



2.5.3.1 ábra
DMD chipen alkalmazott két mikrotükör sematikus rajza
Forrás: Texas Instruments



2.5.3.2 ábra
1 DMD chipes elrendezésű DLP projektor elvi sémája
Forrás: Texas Instruments

3. A színes tv-rendszerek

3.1. Általános megfontolások, követelmények

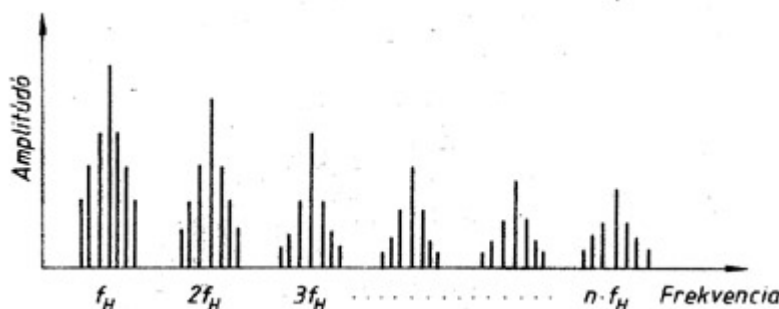
A világon számos színes tv-rendszert fejlesztettek ki, ám ezek közül csak hármat vezettek be: az NTSC, a PAL és a SECAM rendszert. Mindhárom rendszer kifejlesztésekor elsődleges szempontnak tekintették az előzőekben már tárgyalt kettős kompatibilitás feltételét. A fekete-fehér tv-rendszerek csak a világosságjelet közvetítik, amely megfelel a képet alkotó képpontok felületi fényességének. A világosságjel frekvenciatartománya 0 Hz-től hozzávetőlegesen 6 MHz-ig terjed (a felső határ függ a rendszertől).

3.1.1. A színtrögzítés szerepe

A 0 Hz-nek megfelelő egyenáramú szint (amely arányos a kép átlagos megvilágításával) átviteléhez egyenáramú csatolást kellene alkalmazni a teljes átviteli láncban. Ez a követelmény rendkívül bonyolítaná az áramköröket. Ettől függetlenül a színes rendszerek esetében szóba sem jöhet az alapszínjelek egyenáramú szintjének változása. Azonnal felborulna a színegyensúly, hiszen a képtartalom függvényében változna a jelek átlagértéke, és az *RGB* mátrix hibásan működne. Az egyenáramú csatolás nehézségei miatt olyan, speciális váltakozó áramú csatolást alkalmazunk, amely lehetővé teszi az egyenáramú szint helyreállítását (clamperáramkör) minden tv-sorban. A clamperáramkör stabilitása és a színtrögzítés a színhelyes reprodukálás igen fontos tényezője.

3.1.2. A világosságjel spektruma

A kompatibilitás követelményéből adódik, hogy a színinformációval kibővített világosságjel együttes sávszélessége sem lehet nagyobb, mint 6 MHz. Azaz a színinformáció nem foglalhat le új frekvenciasávot. Egy igen lényeges felismerés lehetővé tette ennek az első pillantásra abszurd követelménynek a kielégítését. Fourier-analízissel bizonyítható, hogy a világosságjel energiaeoszlása nem folytonos, hanem a sárfrekvencia (f_H) egész számú többszöröseinél (harmonikusok) "csomósodási" helyeket tartalmaz (3.1.2.1. ábra).



3.1.2.1 ábra

A sorfrekvenciás spektrumvonalak környezetét - mint oldalsáv - a félképváltó jel harmonikusai alkotják. Az ábrán követhető, hogy az energiacsomósodások között minimumhelyek vannak, ahol az Y jel spektrumvonalai közel zérus értékűek. Ezek a minimumhelyek kiválóan alkalmasak a színinformáció elhelyezésére.

3.1.3. A színsegédvivő feladata

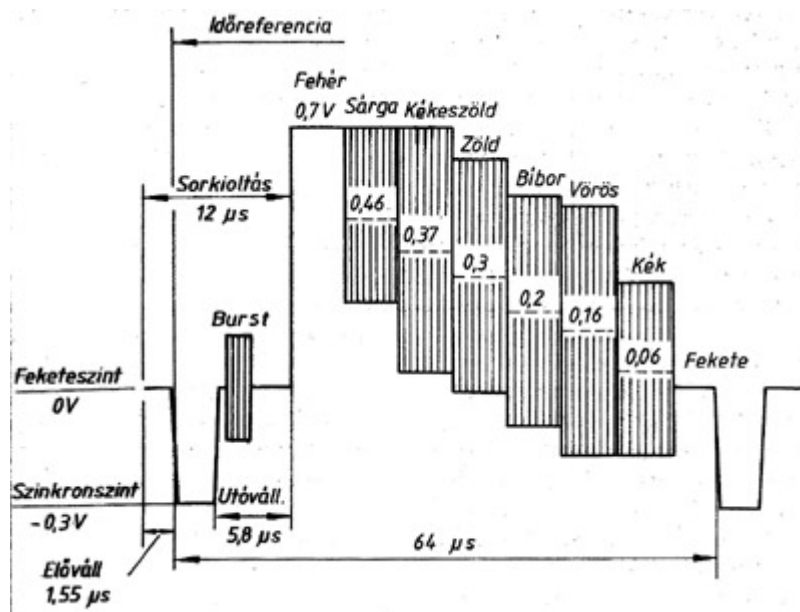
A járulékos színinformáció átviteléhez ún. színsegédvivő(ke)t alkalmaznak, amelye(ke)t a két színkülönbségi jel modulál. A világosságjel és a világosságjelre szuperponált, színkülönbségi jellel modulált színsegédvivők alkotják az összetett színes videojelet. Ám ezt még kiegészítik a sor- és képszinkronjelek, amelyek lehetővé teszik, hogy a monitor képernyőjén futó elektronsugár szinkronban mozogjon a kamera felvevőcsövét letapogató elektronsugárral. E kötött szinkronkapcsolat biztosítja, hogy a kamera képpontjai egységes képet alkossanak a képernyőn. A horizontális és vertikális szinkronjeleken kívül - amelyek tehát az elektronsugár eltérítését szinkronizálják - az összetett videojel tartalmaz ún. színszinkronizáló jeleket (*burst*) is. Ezek azonban nem az eltérítést vezérlik, hanem segédjelként szolgálnak a dekóder helyes működéséhez.

A leírt formában felépülő összetett színes videojel spektrumában a színsegédvivő spektruma az Y jel spektrumának minimumhelyeit tölti ki, ha a segédvivő frekvenciáját körültekintően választjuk meg. Ily módon "spektrumbeszövással" megoldottuk a színjelek átvitelét a világosságjel frekvenciasávján belül. A segédvivő Y jelet zavaró hatása (interferencia) gyakorlatilag elhanyagolható, habár a helyzet nem ideális, mert pl. a PAL rendszerben a dekóder képtelen tökéletesen megkülönböztetni a színjelet és az Y jel azon részét, amely a segédvivő környékére esik. Ily módon a dekóder színjelként kezeli az Y jel egy töredékét, ami zavaró hatású interferenciához vezet (*cross color*). Ez különösen akkor érezhető, ha a kép függőleges irányú csíkokat tartalmaz, amelyeknek a frekvenciája összemérhető a segédvivő frekvenciájával (pl. csíkos ruha).

A három színes rendszerben a kolorimetrikus elvek és az előzőekben tárgyalt elvek is azonosak. Az e rendszerek közötti különbség a segédvivő modulációs rendszerében van.

3.2. A videojel felépítése

A videojel felépítését, időzítését és nevezetes szintjeit az 3.2.1 ábra szemlélteti. Az ábra egy teljes tv-kép egyetlen sorát mutatja, amely ez esetben PAL rendszerű, csökkenő világosságtartalmú színsávjel (EBU 100.0.75.0 típusú 75% telítettségű *color bar*).

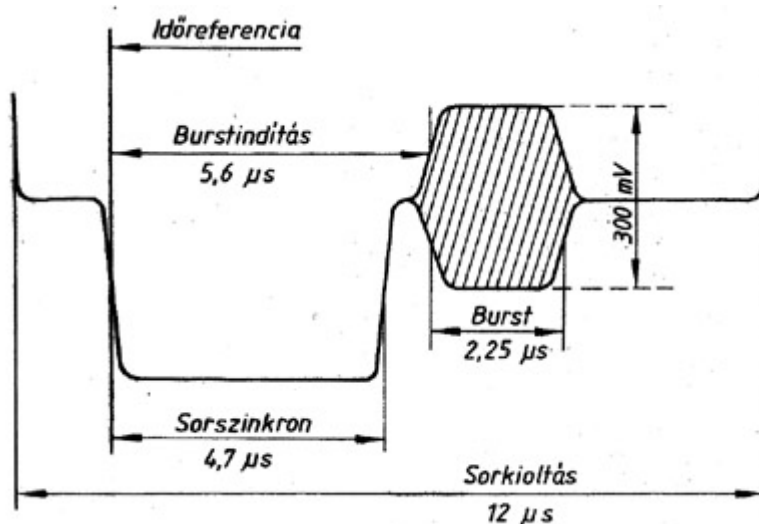


3.2.1 ábra

A videojel horizontális irányban a horizontális szinkronimpulzus lefutó élével kezdődik, amelynek le- és felfutó éle 250 ± 50 ns-os. A lefutó él a sorirányú időzítés referenciájaként kezelendő. A szinkronimpulzust az utóváll követi, amelyen a színzinkronitást biztosító burst helyezkedik el. A burst frekvenciája pontosan megfelel a színsegédvívő frekvenciájának; abból 10 periódust tartalmaz. Az előváll, a szinkronimpulzus és az utóváll együttesen alkotják a horizontális kioltás szakaszát. Ezen időtartam alatt az elektronsugár a képernyő jobb széléről a bal szélére fut vissza. A kioltást a videojel aktív szakasza követi, amely megfelel egy tv-sor képpontjainak. Az elektronsugár ezen időszak alatt a képernyő bal szélétől a jobb széléig kirajzolja a kamera által közölt kép egyetlen sorát. A képernyőn természetesen csak az aktív szakasz látható, mivel a visszafutó elektronsugár intenzitását az ún. kioltóáramkör minimálisra csökkenti.

A videojel horizontális irányú időzítése után vizsgáljuk meg a nevezetes szinteket, a kioltószinthez képest! A kioltószinten az elektronsugár által gerjesztett fénysűrűség közel zérus. A kioltószintet a feketesztinttől egészen a fehérsztintig a képtartalom követi. A fehérsztint a maximális világosságtartalmú képpontnak felel meg. A közbenső lépcsők (a valóságban folyamatos!) alkotják a kép gradációját, amelyet a világosságjel pillanatnyi amplitúdója és az erre szuperponált színinformáció alkot. A szinkronszint a feketénél is "feketébb", így természetesen ez sem látható.

A PAL rendszerben a feketesztint megegyezik a kioltószinttel, bár a kamerák esetében némelyik felhasználó $10...20$ mV-ra állítja a feketesztintet. Ezt azért teszi, hogy a képtartalom kevésbé megvilágított részletei is láthatóvá váljanak. (E beállítás hátulütője, hogy a kép a sötét tartományban zajosabbnak látszik.) Az 3.2.2. ábrán felnagyítva látható a horizontális kioltás szakasza.



3.2.2 ábra

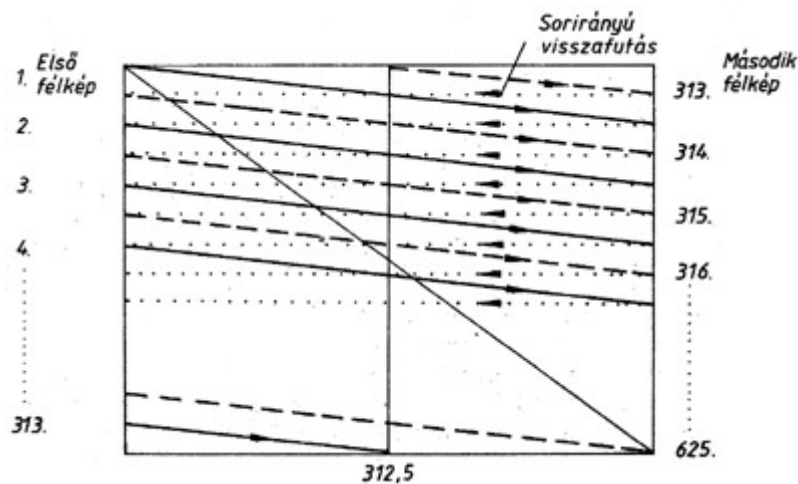
3.3. Váltott soros letapogatás

A tv-kép teljes terjedelmében 625 sorból áll (a CCIR és az OIRT szabvány szerint), amely az imént leírt sorirányú videojelek időbeni összegzéseként jön létre. A 625. sor után az elektronsugár a képernyő aljáról visszafut, és kezdődik előlről a folyamat. A 625 sor felrajzolása 40 ms alatt megy végbe, ezért a képváltás frekvenciája 25 Hz.

Itt álljunk meg egy pillanatra! A bevezetőben már említettük, hogy az emberi szem érzékelési sebessége véges, azaz tehetetlensége jelentős. Ez a tehetetlenség tette lehetővé, hogy a tv-rendszereket aránylag lassú eltérítéssel és ezáltal kis sáv szélességgel hozzuk létre. Ha ugyanis az időben egymás után következő képpontokat, majd a teljes képet megfelelő sebességgel villantjuk fel, akkor a szemünk folyamatos képet érzékel.

A 64 μs-os időközönként közvetített sorokkal nincs is problémánk. Szemünk azonban mégsem annyira tehetetlen, hogy a 25 Hz-es ütemben váltakozó kép villogását ne érzékelné. 40 Hz körül van a zavaró villogás határa. Ha ennek alapján pl. 50 Hz-nek megfelelő 20 ms alatt közvetítenénk 625 sort, a soridőt a felére kellene csökkenteni, ami kétszeres sebességű eltérítést és nagyobb sáv szélességet jelentene. Ez a követelmény a tv-rendszerek kialakításának idején komoly gondokat okozott volna.

A problémát szellemes módon a *váltott soros* letapogatással oldották meg. Ennek lényege a következő (3.3.1. ábra): 20 ms alatt nem közvetítünk 625 sort, csak ennek felét, de ezalatt az elektronsugár a tetejétől az aljáig pásztázza a képernyőt, majd visszatér, és az ábrán látható sorközökbe belerajzolja a kép második felét.



3.3.1 ábra

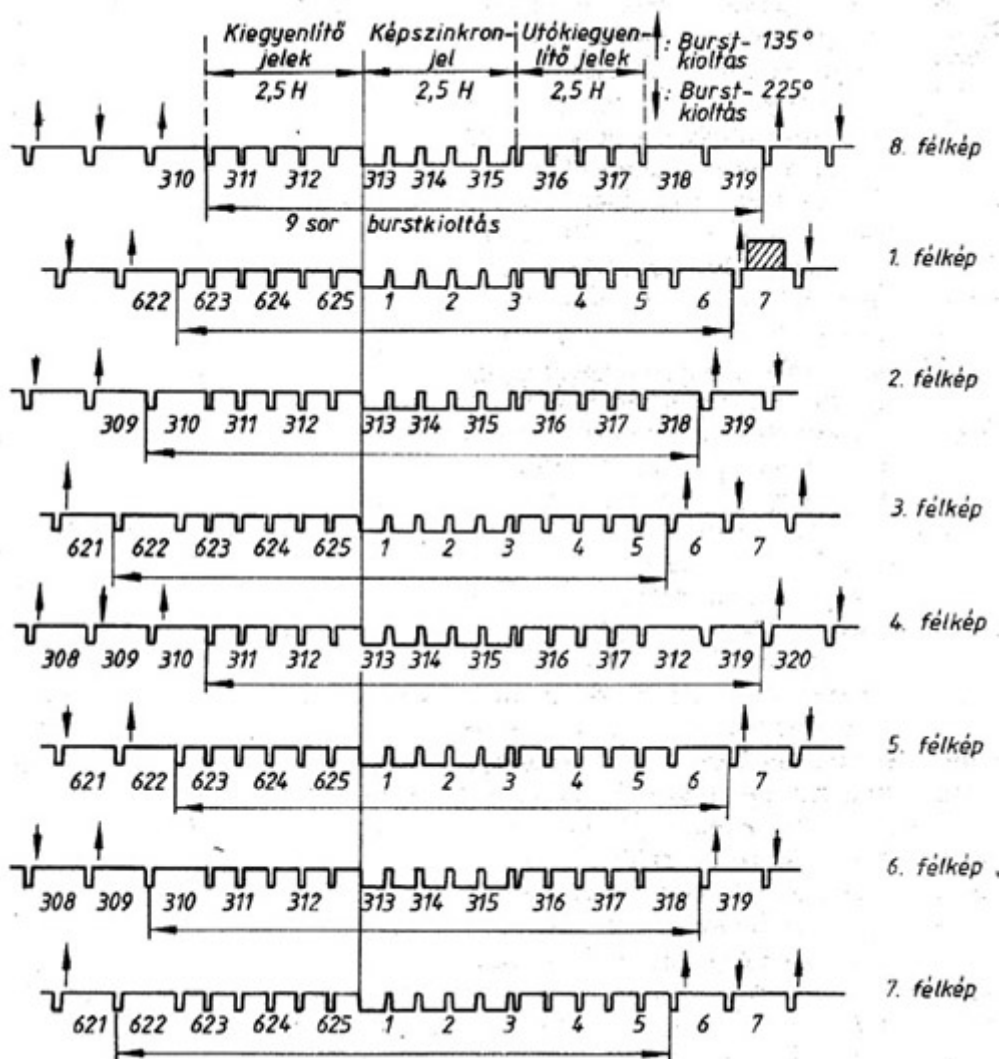
Tehát ún. félképekből szerkesztünk egy teljes értékű képet. Ez nyilvánvaló "csalás", hiszen a 2. félkép információtartalma különbözik az 1. félképétől, mivel tőle időben éppen 20 ms távolságra van. Ebből egyenesen következik, hogy a két félkép összetartozó képpontjai időben kissé elcsúsznak egymáshoz képest. A helyzet azonban nem tragikus, mert 20 ms alatt a képtartalom gyakorlatilag keveset változik. Továbbá ezt a változást a szem úgysem érzékelné (enyhe vízszintes irányú elmosódás lenne csupán látható, ha pl. egy függőleges tárgy vízszintes irányban mozogna nagy sebességgel. Ezt a hatást azonban jóval túlszárnyalja a felvevőcsövek és a képernyő utánvilágítása.)

Az 3.3.2. ábra a teljes tv-jelet ábrázolja a képköltés környezetében, egyben szemlélteti a PAL szekvencia fázisviszonyait is, amit később, a PAL jel értelmezésekor felhasználunk. Ezt és az előző ábrát áttanulmányozva, követhetjük a félképváltás, ill. a váltott soros letapogatás folyamatát. Az egyszerűség kedvéért csak néhány sort tüntettünk fel. Tételezzük fel, hogy a visszafutás végtelenül gyors, azaz zérus idejű! Az eltérítés a képernyő bal felső sarkából indul az első félkép első sorával. A 313. sor már nem fejeződhet be, mert a felénél eléri a képernyő alját. Ekkor visszafut a sugár, és a képernyő közepén a 313. sor második felének kezdőpontjától, ami időben egybeesik a második félkép vertikális szinkronjelének lefutó élével, újra indul. A 313. sor a képernyő tetején fejeződik be. A képernyő közepétől indulva a sugár a teljes út felét teszi csak meg. Következésképp a képernyő tetejéhez képest csak fele annyival lesz lejjebb a jobb szélén, mintha az egész utat befutotta volna. Így tehát a második félkép sorai az első félkép sorai között fognak elhelyezkedni.

A vízszintes sorok azért ferdek, mert a horizontális eltérítés alatt a vertikális eltérítés folyamatosan mozgatja a sugarat függőleges irányban. A váltott soros letapogatás pontos félképváltását a képszinkronimpulzus előtt és után elhelyezkedő félsor idejű kiegyenlítőjelek biztosítják. A képszinkronjelet megszállató "befűrészelések" szerepe: ne szűnjön meg a vízszintes eltérítés szinkronizálása a vertikális visszafutás ideje alatt.

A képszinkronjel környezetében $25H$ időtartam ($H = 64\mu s$) alatt - amely megfelel a képköltési szakasznak - nincs videojel. Az első félkép első aktív sora a 23. és az utolsó a 310. A második félkép első aktív sora a 336. És az utolsó a 623. A félképköltés ideje ebből következően: $25H$. A 625 soros tv-rendszerben tehát csak 575 sornak van képtartalma. A képköltés ideje alatt az átviteli rendszer tulajdonságainak vizsgálatára szolgáló mérőjeleket,

továbbá teletextjeleket továbbítanak. Nevezetesen: a páratlan félképek 7...22. soraiban, ill. a páros félképek 320...335. soraiban.



3.3.2 ábra

3.4. Az átviteli lánc torzításai

Ejtsünk néhány szót azokról a torzításfajtákról, amelyeknek a szerepe hangsúlyozottá vált a színes tv-rendszerek bevezetése során! Valamely átviteli lánc minőségi jellemzőit megítélhetjük, ha megvizsgáljuk, hogy a láncon közvetített speciális mérőjel hogyan változik meg (torzul), amíg eljut a kimeneti pontra. A jeltorzulás megengedhető mértékét vizuálisan, megtekintés alapján határozták meg. Hiszen az a döntő, hogy jónak ítéljük-e a képet, nem pedig a mérőjelek "bravúros" átvitele. A szubjektív elemzés után a mérőjeleken fellépő torzulások maximálisan megengedhető értékét számszerűen is definiálhatjuk. A tv-technikában használt mérőjelek rendszerét nemzetközi előírások rögzítik (CCIR Rec. 421.).

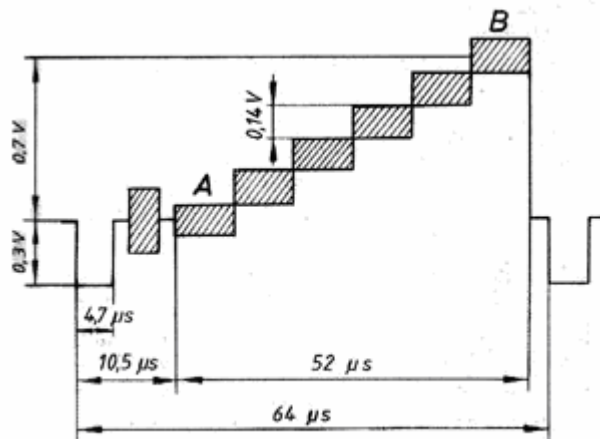
3.4.1. Differenciális erősítés

Az átviteli lánc akkor lineáris a teljes kivezérlési tartományban, ha a kimeneti és bemeneti feszültség közötti függvénykapcsolat lineáris

$$U_{ki} = kU_{be}$$

azaz differenciálhányadosa konstans.

Az 3.4.1.1 ábrán látható mérőjel lépcsőjelre szuperponált színsegédvívót tartalmaz. Ha az átviteli karakterisztika (transzfer karakterisztika) nem lineáris, hanem görbült, akkor a világosságjelre szuperponált segédvívó amplitúdója a görbültséggel arányosan megváltozik. Tehát a szuperpozícióból moduláció lesz. Úgy tűnik, mintha a világosságjel modulálná a segédvívót. A differenciális erősítést számszerűen a 6 lépcsőben elhelyezkedő színsegédvívók amplitúdóviszonya határozza meg. Referenciaként kezeljük a kioltószinten elhelyezkedő segédvívócsomagot, és ehhez képest mérjük a többi változást. Ha az átviteli karakterisztika pl. exponenciális jellegű, akkor a *B* lépcsőn szereplő segédvívócsomag amplitúdója az *A*-hoz képest megnő. Ebből következik, hogy ebben a kivezérlési tartományban torzul a színtelítettség is. (Az *Y* jel torzulása fekete-fehér készüléken ún. gradációtorzításhoz vezet.) A leírt torzításfajtát helyesen nem differenciális erősítésnek, hanem differenciális erősítéshibának nevezzük, bár az előbbi elnevezést is használják.

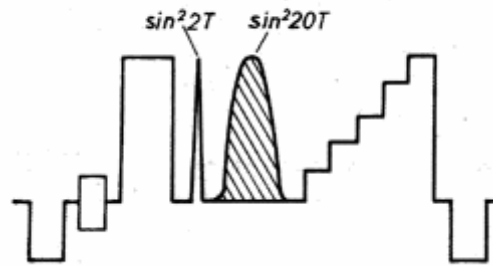


3.4.1.1 ábra Mérőjel a differenciális torzítások vizsgálatához (CCIR REC. 451-2)

3.4.2. Differenciális fázis

A differenciális fázistorzítás szintén a nemlineáris karakterisztika következménye. Most azonban nem a színjellel modulált színsegédvívó amplitúdója, hanem annak fázisa változik a kivezérlés függvényében, azaz a differenciális fázistorzítás színezethibát okoz. A méréshez az előbbi mérőjel használandó. De most nem az amplitúdók, hanem a fázisok viszonyát vizsgáljuk a referencia- (kioltó-) szinthez képest. A differenciális fázistorzítás az NTSC és a PAL rendszerben közvetlenül befolyásolja a színinformációt. A SECAM rendszerben is hasonló mértékben érvényesül, de közvetetten: fázis-frekvencia-moduláció által (PM-FM konverzió).

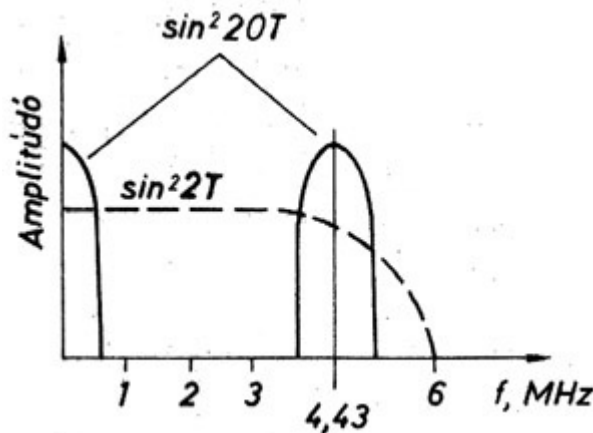
3.4.3. Egyéb fontos torzításfajták



3.4.3.1 ábra A tizenhetedik sor szabványosított mérőjele

Az 3.4.3.1 ábra szerinti mérőjel olyan impulzusokat tartalmaz, amelyek segítségével szemléletesen, gyorsan következtethetünk az átviteli lánc minőségére. Ezek az impulzusok a $\sin^2 2T$ és $\sin^2 20T$

A $\sin^2 2T$ impulzus (amely Dirac-deltából Thomson-szűrővel alakítható ki) spektruma a teljes videosávban a felső határfrekvenciáig terjed (3.4.3.2 ábra). A $\sin^2 2T$ impulzus amplitúdójából (a fehérszínhez viszonyítva!) és talpponti túllövéséből következtethetünk a csatorna impulzusátviteli tulajdonságaira, frekvencia-menetére, reflexióhibákra.



3.4.3.2 ábra

A $\sin^2 20T$ spektruma a kisfrekvenciás tartományban helyezkedik el (0...0,5 MHz) és színsegédvívővel modulált (4,43 MHz). A burkológörbe az Y jelnek felel meg. Az impulzus talpponti ingadozása arányos egy igen fontos jellemzővel, az ún. csoportfutási időhibával. A csoportfutási idő ideális esetben állandó. Ellenkező esetben az Y jel és a színjellel modulált színsegédvívő spektruma egymáshoz képest időben elcsúszik. Ez viszont komoly probléma, mert az Y jel és a színjel összetartozó értékeinek fázisa is elcsúszik, és a kép torzul. Pl. a VHS magnók jelének többszörös átírásánál a csoportfutási időhiba rendkívül megnő, és a színjel elcsúszik az Y jelhez képest.

4. Színes televízió rendszerek

4.1. Az NTSC rendszer

Az NTSC rendszerben az úgynevezett I és Q jeleket viszik át. Az I és Q jelek bevezetését megelőzően vizsgálatokat végeztek az emberi szem színfelbontó képességének vizsgálatára. A 4.1.1. ábrán bemutatjuk a CIE színháromszögben azokat a felületeket, amelyen belül a szem egyenlő színességkülönbségeket észlel.

A felületek ellipszis alakúak, melyek nagysága a spektrál patkón belül erősen változó. Az ellipszisek tengelye (Q) közel azonos irányba (a kék színárnyalattól a sárgászöld színárnyalatok irányába mutat) az I tengely az R-Y tengelyhez képest $+32^\circ$ -ot siet míg a Q tengely -71° -ot késik.

A részletes levezetést mellőzve az eredmény:

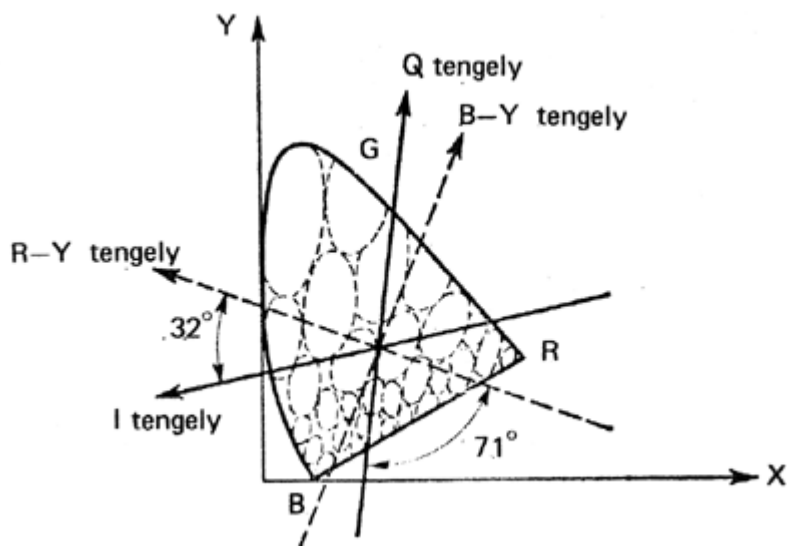
$$I' = 0,74 (R' - Y') - 0,27 (B' - Y')$$

$$Q' = 0,48 (R' - Y') + 0,41 (B' - Y')$$

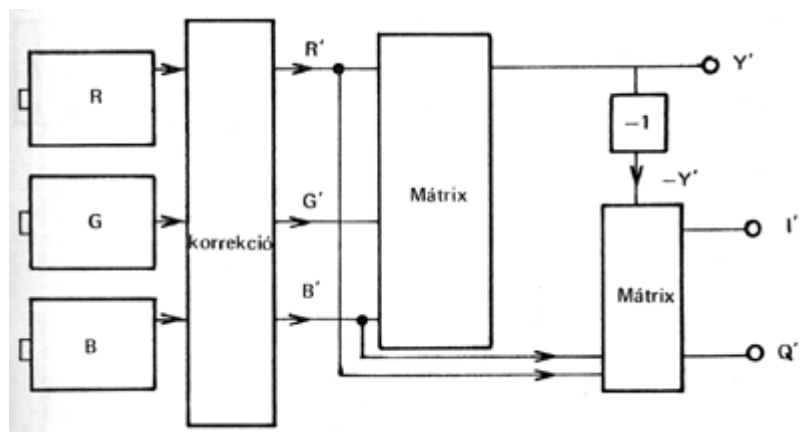
Az I' és a Q' jeleket előállító áramkörök blokkváltozatát mutatja a 4.1.2. ábra.

A színinformáció továbbítására egyetlen színsegédvívót használnak mely a sárfrekvencia 228-szorosa.

Egy színsegédvívóval a két színjel (I - és Q) átvitele csak kvadratura modulációval lehetséges.



4.1.1 ábra A CIE színháromszög azon felületei, amelyeken belül a szem egyenlő színességkülönbségeket észlel.



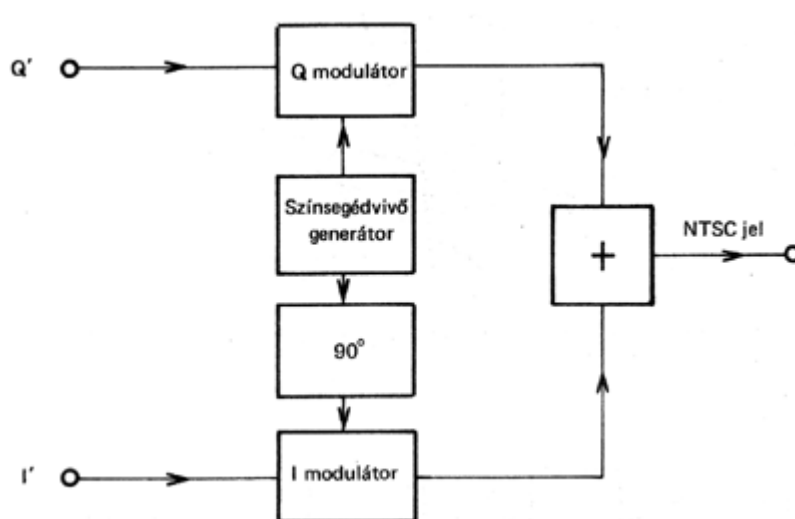
4.1.2 ábra I' és Q' jelek előállítása NTSC rendszerénél

A kvadratura moduláció során a Q jellel egy 0° -os fázisú jelet amplitúdómodulálnak AM-DSB/SC rendszer szerint, mely kétoldalsávú elnyomott vívójú amplitúdómodulációt eredményez.

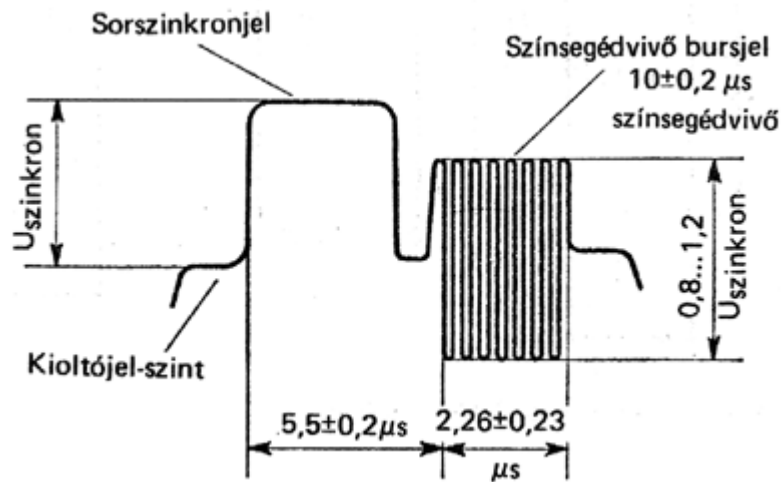
Az összetett NTSC jel;

$$U_{NTSC}(t) = Y' + O' \sin(\omega t + 33^\circ) + I' \cos(\omega t + 33^\circ)$$

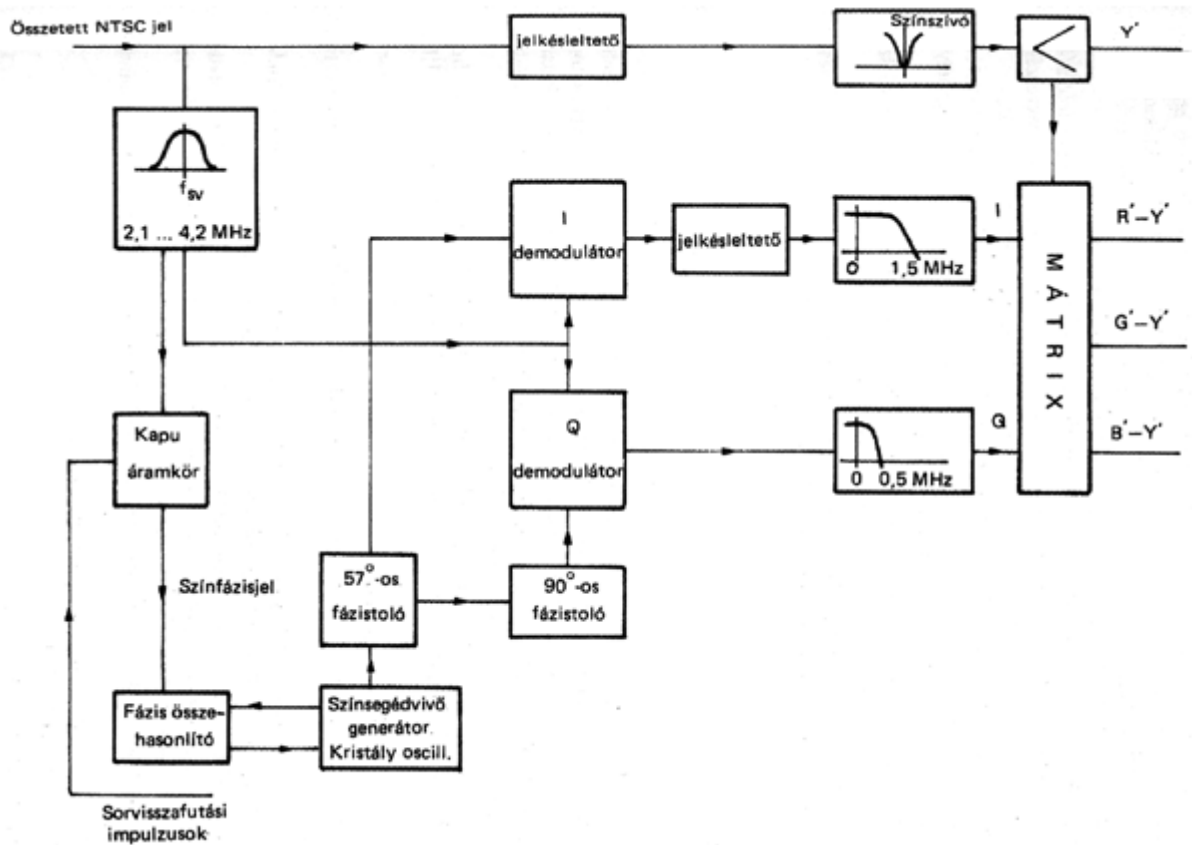
melynek előállítását a 4.1.3. ábra szemlélteti.



4.1.3 ábra Az NTSC jel előállítása



4.1.4 ábra Színsegédvívő burstjel NTSC rendszernél



4.1.5 ábra NTSC rendszerű dekódoló tömbvázlata

Az NTSC vételnél ahhoz, hogy a regenerált színsegédvívő sorról-sorra helyes fázisú legyen az összetett színes videojelen belül egy járulékos jelet (az ún. színsegédvívő burstjelet) kell elhelyezni. A színsegédvívő burstjelet a sorszinkronjeleket követő utókioltásban, az ún.

védősávban helyezik el. A képernyőn a színsegédvívó burstjel nem okoz látható zavart, mert a védősáv ideje alatt a képcső még lezárt állapotban van.

A színsegédvívó burstjel adatait a 4.1.4. ábra mutatja. Az NTSC rendszerű dekódoló áramkört a 4.1.5 ábra mutatja. A színes televíziós képátvitel szempontjából a két legveszélyesebb nemlineáris torzítás a differenciális amplitudó és a differenciális fázistorzítás.

Az NTSC rendszer egyik jelentős hátránya, hogy igen érzékeny a differenciális fázistorzításra. Az emberi szem már $\pm 2^\circ$ -ot is észrevesz; a szabvány viszont $\pm 10^\circ$ -ot engedélyez. A differenciális amplitudótorzításnál a maximális hiba 30° lehet.

Az NTSC rendszer másik hibája a csonka oldalsávós színjelátvitel miatt létrejövő színáthallás, amely az átvitt kép színhűségét változtatja meg.

A színes televíziózásnál a fejlődés iránya éppen ezeknek a hibáknak a kiküszöbölésére irányult. Így fejlesztették ki előbb a SECAM majd a PAL rendszert.

4.2. A SECAM rendszer

Henry de France francia mérnök a SECAM rendszer elvét arra alapozta, hogy az emberi szem színfelbontó képessége korlátozott. Így a színjelcsatorna és a világosságjel-csatorna 1:3 sáv szélességviszonya elegendő a függőleges irányú színfelbontás 1:2 arányú csökkentéséhez. Ezáltal lehetővé válik, hogy a modulált színjeleket egymásután következő sorokban váltakozva viszik át (és nem egyidejűleg).

Ezzel a módszerrel sikerült az NTSC rendszer hibáit kiküszöbölni. Tekintettel arra, hogy a SECAM televízió rendszernek is ki kell elégíteni a kompatibilitás kritériumait, itt is át kell vinni a világosságjelet:

$$Y' = 0,3R' + 0,59G' + 0,11B'$$

A színekülönbségjeleknél (melyek a színinformációt hordozzák) három szempontot vettek figyelembe:

- a) az egyforma telítettségű alap-és keverékszínek esetében lehetőleg egyforma amplitudójú jeleket kapjanak a súlyozott színekülönbségjelek koordináta rendszerében.
- b) a telített színeknek (100% amplitudó) megfelelő 75 %-os telítettségű színek átvitele esetén a videojel amplitudója ne legyen nagyobb, mint + 1V és ne legyen kisebb, mint 1V. (Ha a fekete-fehér szintek közötti különbség 1V).
- c) a színekülönbség jelek kialakításában arra törekedtek, hogy a színáthallás minimális legyen.

A súlyozott színekülönbségjelekre bevezették;

$$D_R = -1,9 (R' - Y')$$

$$D_B = +1,5(B' - Y')$$

Ahol D_R - a vörös színekülönbség jel, D_B a kék színekülönbség jel.

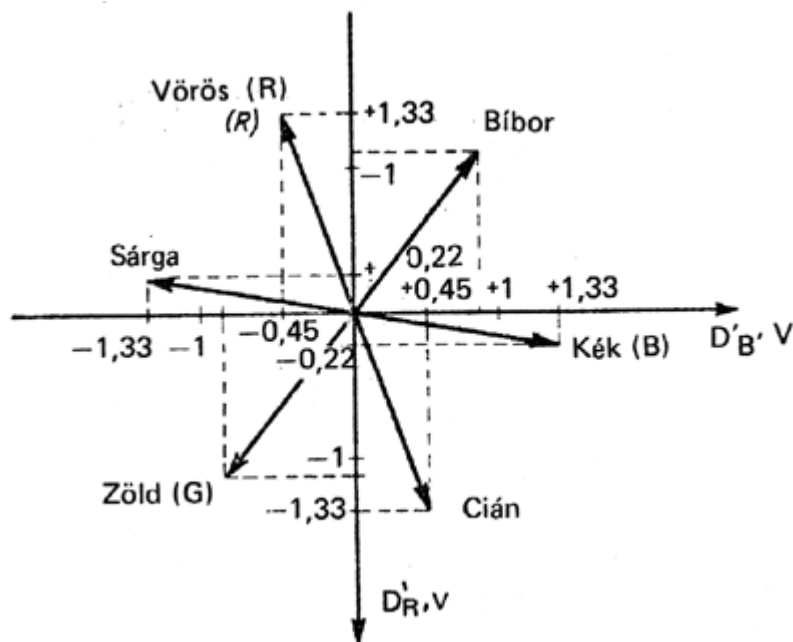
A 4.2.1. ábra mutatja, hogy a SECAM rendszernél mindhárom feltétel teljesül.

A SECAM rendszernél a színjelek átvitelére két színsegédvivőt használnak:

$$f_{OB} = 4250 \text{ kHz} \pm 2 \text{ KHz} = 272 \text{ fs}$$

$$f_{OR} = 4406,25 \text{ kHz} \pm 2 \text{ kHz} = 282 \text{ fs}$$

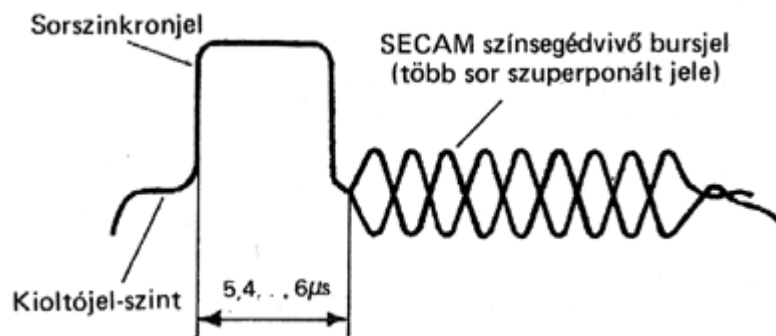
ahol f_s = sorfrekvencia (16 625 Hz)



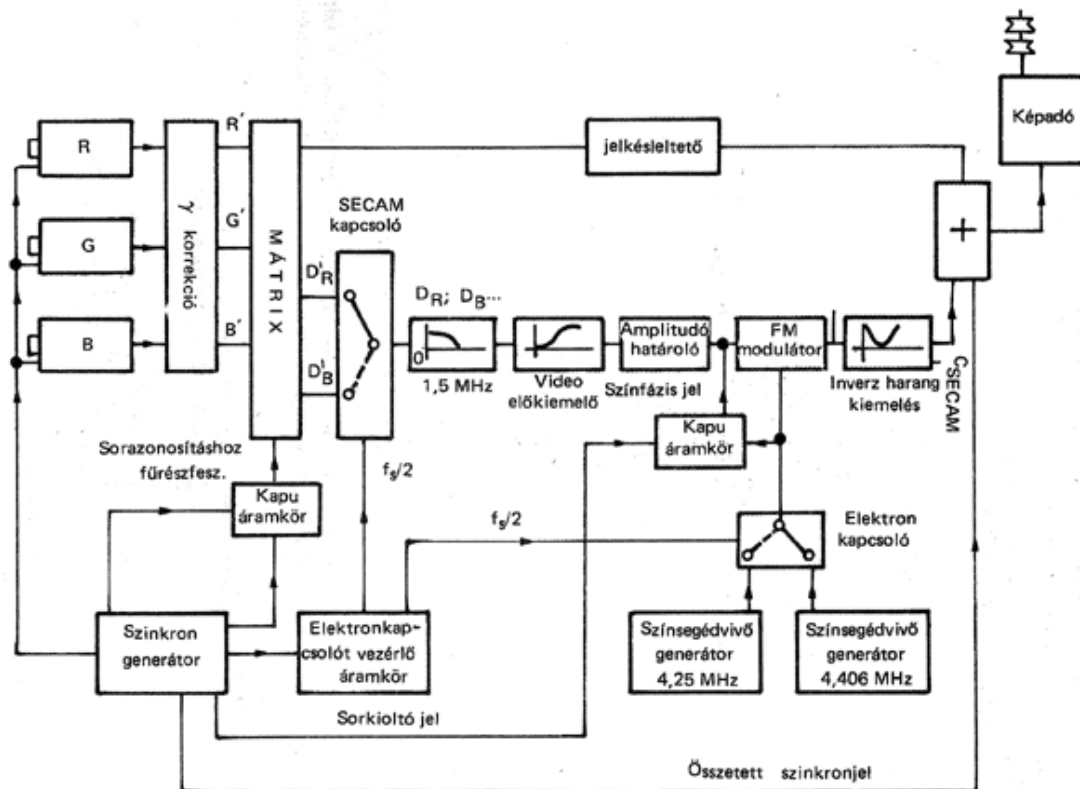
4.2.1 ábra A SECAM rendszer vektorábrája

A fázisszabályozást az összetett jelben elhelyezett színsegédvivő burstjelek végzik. 4.2.2 ábra

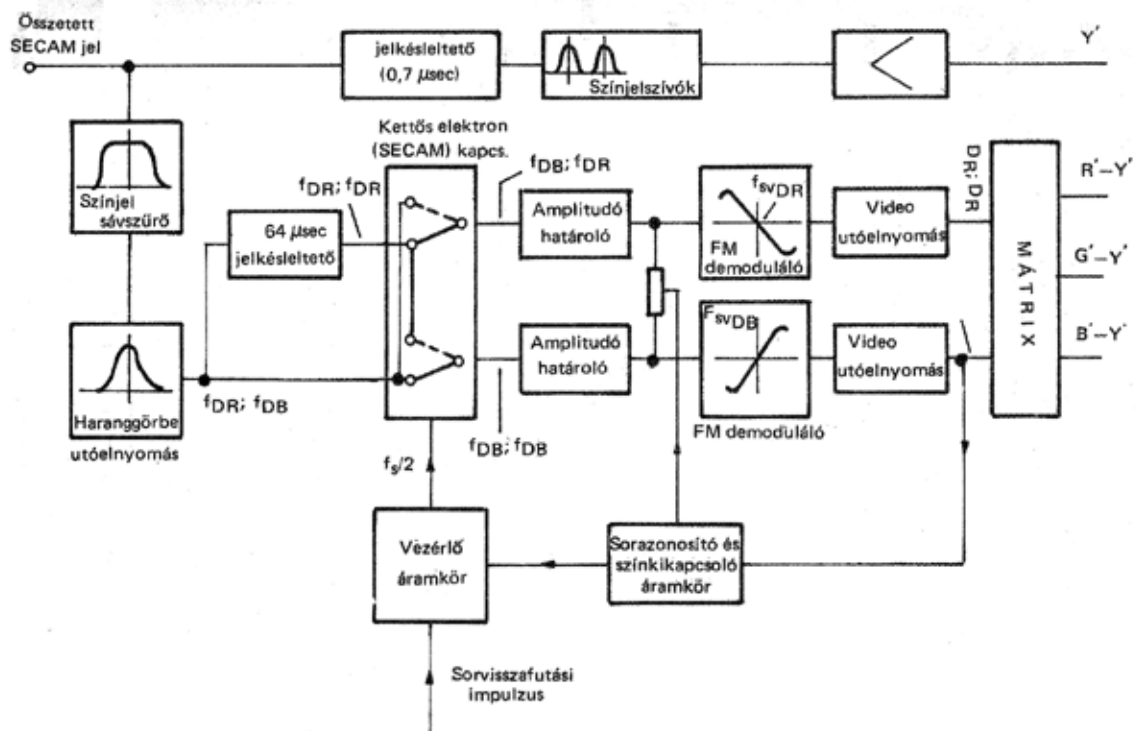
A sorszinkronjel ideje alatt a SECAM színsegédvivő burstjelet nem továbbítják. A színsegédvivő burstjelet nem továbbítják a képkiváltás ideje alatt sem, helyette a sorazonosító jeleket visszük át.



4.2.2 ábra Színsegédvivő burstjel SECAM rendszerénél



4.2.3 ábra: SECAM kódolóegység tömbvázlata



4.2.4 ábra SECAM dekódolóegység tömbvázlata

A színjelek átvitelét a SECAM rendszerben szekvenciálisan, FM moduláció felhasználásával valósítják meg.

A SECAM rendszer FM modulált színjelcsatornájából adódik egy lényeges hátrány. Itt a színsegédvívó akkor is jelen van, ha a színekülönbségjelek zérus értékűek, vagyis ha az átvendő kép fekete-fehér (nem színes). Ez kompatibilitási zavarokat okoz. Ezzel szemben a kvadratúra, modulált rendszereknél (NTSC, PAL) az elnyomott vívójú AM miatt a kompatibilitás teljes értékű.

A SECAM kódolóegység tömbvázlatát a 4.2.3. ábra mutatja.

A SECAM dekódoló működését a 4.2.4 ábra tömbvázlatán követhetjük.

A SECAM színes TV rendszer jeleinek fő jellemzőit az MSZ 166 78-82 tartalmazza.

4.3. A PAL rendszer

Az NTSC-vel végzett kísérletek azt jelezték, hogy olyan új színes TV rendszert kell kifejleszteni, amely kevésbé érzékeny az átviteli út torzításaira.

E feladatok megoldásának során született a PAL rendszer 1962-ben.

A PAL rendszernél - hasonlóan a többi kompatibilis színteleviszió rendszerhez, megtaláljuk a világosságjelet.

$$Y = 0,3R + 0,59 G + 0,11 B$$

A színinformáció átvitelére az egyszerű színekülönbségi jeleket illetve azok súlyozott alakját használják.

Bevezetve a súlyozott vörös színekülönbségjelre a V; a súlyozott kék színekülönbségjelre az U jelölést felírható;

$$V = 0,877 (R - Y)$$

$$U = 0,493 (B - Y)$$

A színinformáció továbbítására az NTSC-hez hasonlóan a PAL rendszer is egyetlen színsegédvívót használ:

$$f_{svPAL} = (n - m) f_s + f_k$$

ahol $n = 284$

$m = 0,25$

f_s - a sorfrekvencia - 15625 Hz

f_n - a képfrekvencia - 25 Hz

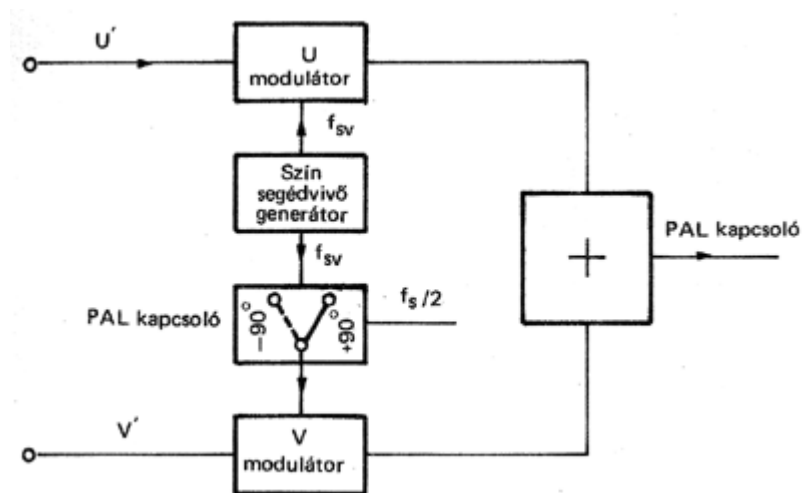
Az f_k faktor azért szükséges, mert enélkül a színsegédvivő frekvenciája nem lenne egész számú többszöröse a 25 Hz-es képfrekvenciának.

A színsegédvivő $f_{svPAL} = 4\,433\,618,75 \pm 1\text{ Hz}$.

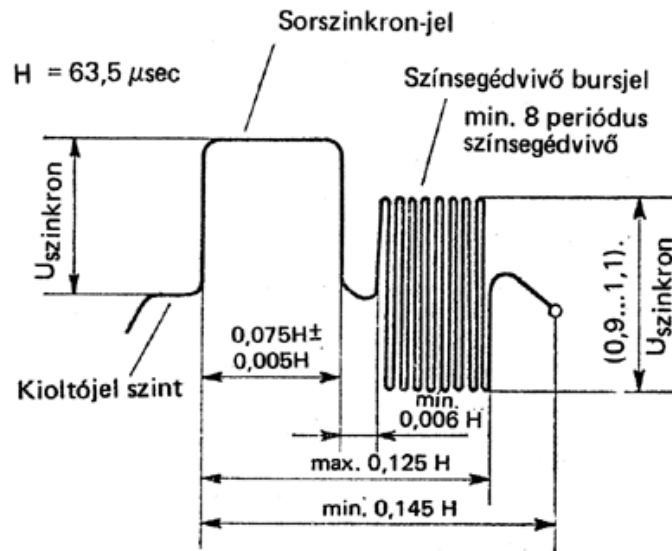
Az összetett PAL színjel képzését a 4.3.1. ábrán követhetjük.

A vevőkészülékeknél a helyi színsegédvivő oszcillátorának fázisszabályozását a PAL rendszernél is a burstjel induló fázisa határozza meg 4.3.2. ábra.

A PAL rendszernél azonban a jel indulófázisát soronként változtatják.



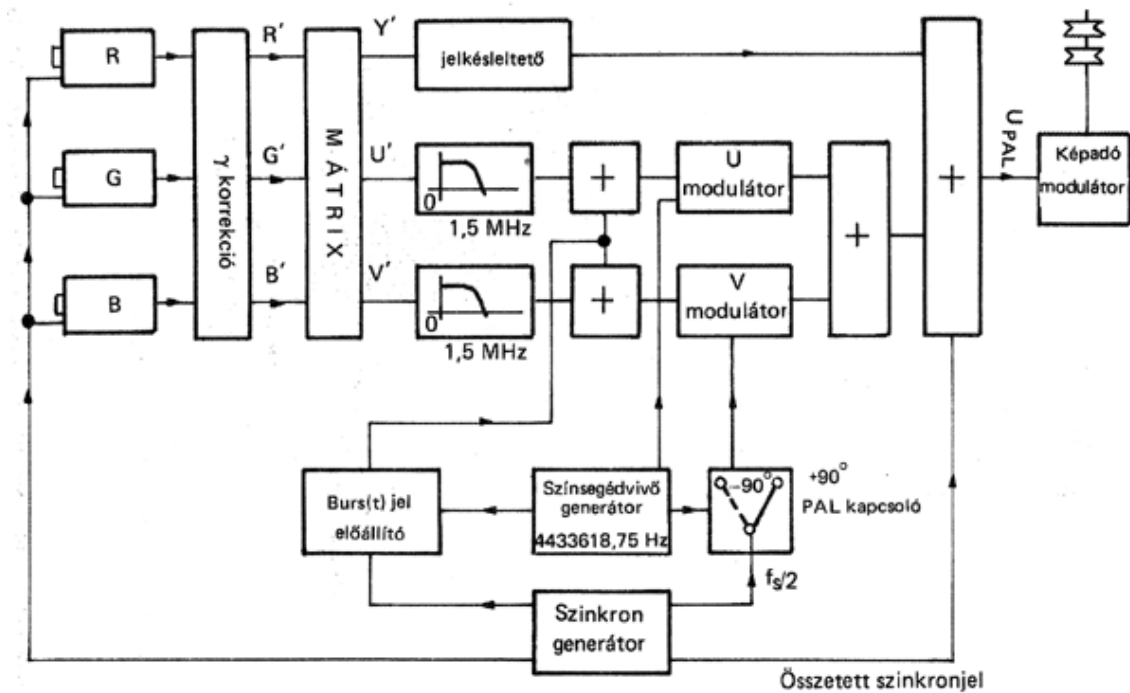
4.3.1 ábra Az összetett PAL színjel képzése



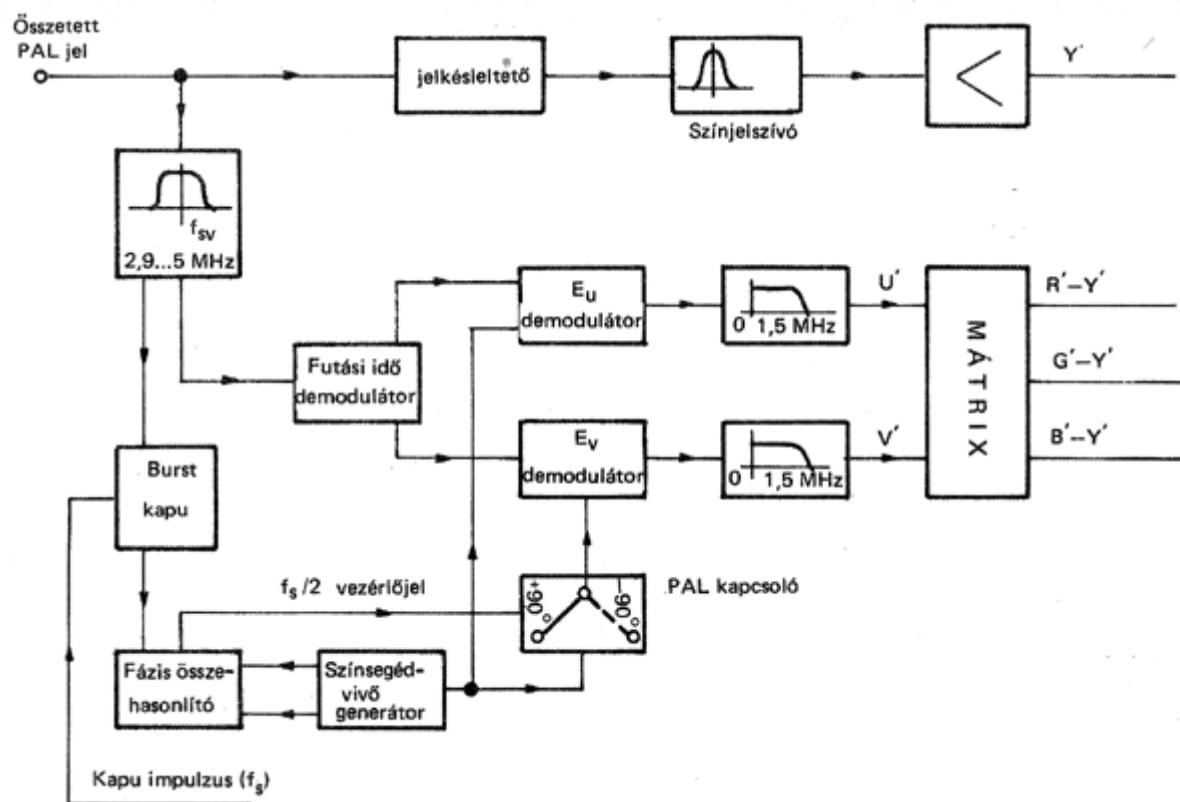
4.3.2. ábra Színsegédvívő burstjel PAL rendszernél

A PAL rendszernél a kódolt összetett színes videojelet a következő egyenlet írja le:

$$U(t)_{PAL} = Y + U \sin \omega_{SV} t \pm V \cos \omega_{SV} t$$



4.3.3 ábra PAL kódoló tömbvázlata



4.3.4. ábra PAL dekódoló tömbvázlata

5. Felhasznált irodalom

Dr. Wersényi György: TV technika jegyzet

Dr. Ferenczy Pál: Videó és hangrendszerek (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986)

Barna Tamás: Videotechnika a gyakorlatban (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988)

Szûcs Pál: Video kézikönyv (OMIKK 1985)

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