

HAZAY ISTVÁN—DR. HEGYI GÁBOR  
MTA Híradástechnikai Munkaközösség

## A színcsatorna sávzélességének vizsgálata a SECAM dekódoló áramkör által visszaadott kép minősége szempontjából

ETO 621.397.132.013.42 SECAM

A Magyar Tudományos Akadémia Híradástechnikai Munkaközösségének terveiben szerepel a SECAM rendszerű színes televíziójel dekódolása optimális megoldásának vizsgálata. A témában végzett és tervezett elméleti és gyakorlati munkák célja végső soron az, hogy megállapítsuk a SECAM rendszerű színes televízió vevőkészülék dekóder áramkörének egyes részegységeivel szemben támasztható és támasztandó reális követelményeket, valamint azt, hogy a vevőkészülékkel előállított színes kép minősége szempontjából optimalizálhatók-e ezeknek a részáramköröknek a paraméterei. A vázolt feladat teljes megoldása meghaladja a Munkaközösség lehetőségeit, ezért a komplex vizsgálat helyett egyes részáramkörök vizsgálatát és az azokból az áramkörökre vonatkozó következtetések levonását tűztük ki célul. Az egyik ilyen, a képminőségre döntő hatással levő áramkör a színcsatorna, amelynek legfontosabb paraméterét, a sávzélességét vetettük részletes vizsgálat alá.

Minden színes televíziórendszer, így a vizsgálat tárgyát képező SECAM—III b (opt) rendszer is, a fekete-fehér televízióátvitel lehetőségei és az emberi szem színlátási tulajdonságai alapján jött létre, a színinformációt eleve bizonyos korlátozásokkal viszi át. Ideális dekódernek tekinthetjük azt az áramkört, amely a színjeleknek a kódolt színes jelből való előállításakor nem rontja tovább az adott színes televíziórendszer által elérhető átviteli minőséget. Nyilvánvaló, hogy egy professzionális célra készített dekódernek maximálisan meg kell közelítenie az ideális dekóder minőségét, még akkor is, ha ez a részáramkörök számának és bonyolultságának, végső soron a berendezés árának növekedésével jár együtt. Nem ilyen egyértelmű azonban a helyzet a tömeggyártású vevőkészülékek esetében. Éppen a színes televízió-

rendszerek átviteli korlátainak ismeretében merülhet fel a kérdés, hogy vajon célszerű-e a lehetséges maximális átviteli minőség elérésére törekedni, vagy pedig tehető-e kisebb minőségi engedelmények a megvalósítás egyszerűsítése, a készülékek árának csökkentése érdekében. A kérdés eldöntéséhez mindenképp meg kell határozandó, hogy a képminőséget befolyásoló egyes paraméterek milyen mértékű romlása engedhető meg ahhoz, hogy a kép szubjektív minősége ne, vagy csak alig romoljék, azután meg kell határozni az egyes részáramkörök elektromos paraméterei és a minőségi paraméterek közötti összefüggéseket, majd azok alapján megvizsgálandó, hogy melyik áramkörök változtatása, egyszerűsítése célszerű és gazdaságos. Ezek a vizsgálatok részben elméleti úton is elvégezhetők, de mind a kiindulásnál, a minimális minőségi paraméterek megállapításához, mind az áramköri változtatások hatásának ellenőrzéséhez szükség van szubjektív minőségvizsgálatok végzésére. A feladat teljes értékű megoldását nagyban megnehezíti, hogy a szubjektív vizsgálatok végrehajtásához olyan dekódert kellene készíteni, amelyben a részáramkörök paraméterei meghatározott fokozatokban, egymástól függetlenül és együtt is változtathatók. Első lépésként, a színcsatorna sávzélességével kapcsolatos vizsgálatokhoz, olyan dekódert készítettünk, amelyben a színcsatorna sávzélessége a színjelerősítőben levő sávszűrő átkapcsolásával kétféle értékre állítható be: a  $-3$  dB-es pontokhoz tartozó sávzélesség szélessávú állásban  $\pm 1,5$  MHz, keskenysávú állásban pedig  $\pm 0,5$  MHz a SECAM haranggörbe középonti frekvenciájához viszonyítva.

A sávzélesség hatásának vizsgálatához a paraméter viszonylag egyszerű, jól kézben tartható változtatása mellett az adott indítékot, hogy a különböző gyártmányú (magyar, szovjet, francia) SECAM-rendszerű színes televízió vevőkészülékek és dekóderrek mérése és minőségvizsgálata során feltűnt, hogy

a színcsatorna sávszélessége, bár típusonként többé-kevésbé eltérő, de általában nem haladja meg a  $\pm 0,5-0,7$  MHz értéket. Ez azért meglepő, mert a SECAM-rendszer specifikációja szerint adóoldalon (a kóderben) 1,5 MHz-es alapsávi sávszélességet kell biztosítani [1]. A színinformáció frekvenciamodulációval történik, a rendszerben előforduló maximális csúcslököt  $\pm 500$  kHz, a frekvenciaspektrum kis torzítású átviteléhez tehát — figyelembe véve a segédvívöknek a sávközéptől való frekvenciaeltolását is — közelítőleg  $\pm 2$  MHz-es színcsatorna-sávszélességre lenne szükség. A rendszer eredeti francia leírása nem tartalmaz előírást az adóoldali és a vevőoldali nagyfrekvenciás sávszélességre (nagyfrekvencián a következőkben mindig a színsegédvívő-tartományt értjük), méréseink szerint a kóderekben kb.  $\pm 1,5$  MHz a színcsatorna sávszélessége. Logikusnak tűnik, hogy a dekóderben is közel ekkora sávszélességet érzünk el, hiszen az átvitel eredő minőségére a két végberendezés azonos hatással van. Ennek ellenére csupán a DT 40 típusú professzionális dekóder színcsatornáját találtuk  $\pm 1,5$  MHz sávszélességűnek, a közszükségletű célú vevőkészülékek színcsatorna-sávszélessége ennél lényegesen kisebb volt. Ennek a ténynek az alapján kezdtük meg annak a vizsgálatát, hogy a képminőség szempontjából mekkora sávszélesség előérésére célszerű törekedni.

#### A sávszélesség hatása a kimenőjelek felfutási meredekségére

A színcsatorna sávszélességének közvetlen hatása van a demodulálás után nyert alapsávi színkülönbségi jelek felfutási meredekségére. Minden különösebb vizsgálat nélkül megállapítható, hogy a kép minőségének, részletdúságának növelése érdekében minél szélesebb csatornát kell megvalósítani, figyelembe véve azt is, hogy a kóderénél szélesebb színcsatornát viszont vevőoldalon sem érdemes készíteni. Megjegyzendő, hogy a SECAM-rendszerrel elérhető színjelfelfutási meredekség függvénye az alapsávi jelugrás nagyságának is, mivel nagy amplitúdójú ugrások esetén a video előkiemelés miatt fellépő túllövéseket a határoló áramkör levágja, így vevőoldalon az eredetinel csak lényegesen rosszabb felfutási idejű ugrásjel állítható elő. Kis amplitúdók esetén a határolás hatása nem jelentkezik. 25%-os színjeleket CT 40 kóderből és DT 40 dekóderből álló láncon végzett méréseink szerint (sávszélesség külön-külön  $\pm 1,5$  MHz) a dekóder kimenetén a színkülönbségi jelek felfutási ideje 350–400 ns, ami nagyobb az elméleti értéknel, de a 6 MHz sávszélességű világosságjellel együtt kiváló minőségű színes képet ad.

A sávszélességgel összefüggő felfutási meredekség subjektív hatásának vizsgálatát a Munkaközösségben készített, már említett, változtatható színcsatorna-sávszélességű dekóderrel végeztük. Kis amplitúdójú színjelugrásokra a dekóder kimenő színkülönbségi jeleinek felfutási ideje szélessávu ( $\pm 1,5$  MHz) állásban kb. 400 ns, keskenysávu ( $\pm 0,5$  MHz) állásban ez 800–900 ns-ra romlik. Nagy (75–100%-os) ugrások esetén a felfutási időt már a kóderoldali színhatárolás határozza meg, ekkor a kétféle sávszélességre gyakorlatilag azonos, a kis amplitúdójú

ugrásra keskenysávu dekódolással elért értékkel megegyező felfutási idő mérhető. A szubjektív képminőség-vizsgálatok ezért csak a kis amplitúdójú ugrások esetére adtak értékelhető eredményt, ekkor viszont lényeges minőségi különbség volt megállapítható a szélessávu dekódolás javára.

Tekintettel arra, hogy a nagy telítettségű színek előfordulási valószínűsége viszonylag kicsi, a színes kép átlagos minőségét döntően a kis és közepes telítettségű színek átvitele határozza meg. Ennek alapján megállapíthatjuk, hogy a dekóder színcsatornájának sávszélességét a kis amplitúdójú ugrások lehető jó átvitelére kell méretezni.

A színjelek felfutási idejének szempontjából elméleti megfontolások és gyakorlati mérések alapján tehát egyaránt szélessávu dekóder használata indokolt. További vizsgálataink ezért arra irányultak, hogy a sávszélesség és az egyéb, a képminőséget befolyásoló tényezők közötti összefüggések alapján keressük az optimális sávszélességet. Ilyen tényezők elsősorban a dekóder kimenetén megjelenő zaj nagysága és eloszlása, valamint a világosságjelből származó zavaró áthallások mértéke.

#### A sávszélesség hatása az előállított színes kép zajosságára

A sávszélességnek az alapsávi zajszintre és -eloszlásra való hatását először elméleti úton vizsgáltuk. A számításokat a következő kiindulási feltételezésekre alapoztuk:

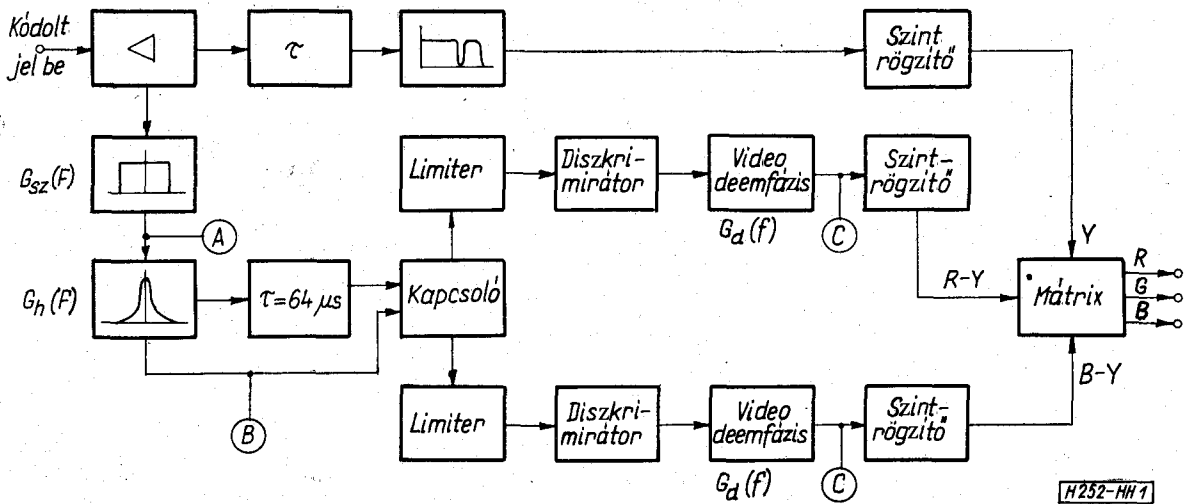
1. A dekóderbe a kódolt SECAM-jel amplitúdómodulációs rendszerű műsorszórás útján kerül, az AM demodulátor után tehát a zaj eloszlása egyenletes, a számításba fehérzajként vehető figyelembe. Tekintetbe véve, hogy a televíziójel az adókhöz az esetek túlnyomó többségében frekvenciamodulált mikrohullámú összeköttetésen keresztül jut el, ez a feltételezés a valóságban annyiban nem igaz, hogy az összeköttetés zaja miatt a videojel nem egyenletes eloszlású zajt is tartalmaz. A mikrohullámú összeköttetésre megengedett zajszint azonban olyan kicsi, hogy az egyéb, egyenletes eloszlású zajokhoz képest elhanyagolható.

2. A dekóder színcsatornájának sávszélességét ideális karakterisztikájú sávszűrő határozza meg. A sávszűrő amplitúdó-frekvenciamenete a feltételezett sávban állandó, a sáv határán a levágás ideálisan meredek.

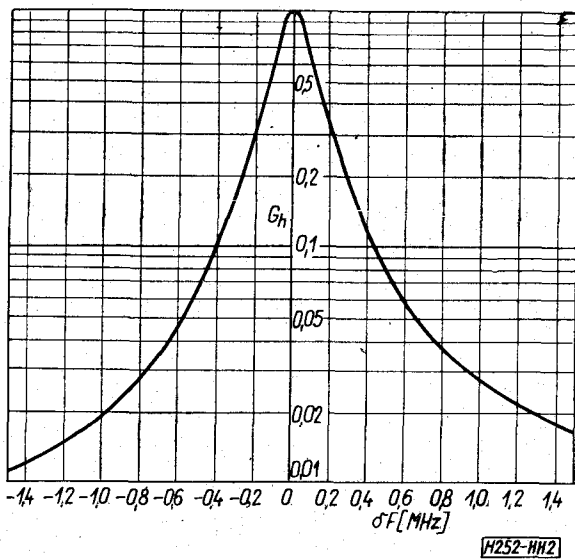
3. A dekóder haranggörbe-erősítője és video deamfázis áramköre a matematikai függvénynek pontosan megfelelő karakterisztikájú.

4. A dekóder elvileg nem frekvenciafüggő részegységei (késleltető művonal, kapcsoló, limiter) a teljes átviteli sávban ideális, állandó karakterisztikával rendelkeznek, a diszkriminátorok beállítása pontos, a demodulálási karakterisztika ideális.

Az ezekkel a feltételezettel rendelkező dekódernek egyszerűsített tömbvázlata az 1. ábrán látható. A dekóder bemenetén egyenletes zajeloszlás a  $G_{sz}(F)$  frekvenciakarakterisztikájú sávszűrő után (A pont) az áteresztősávban egyenletes marad, a sávon kívül zajösszetevők nincsenek. A vizsgálat tárgya



1. ábra. SECAM dekóder egyszerűsített tömbvázlata



2. ábra. A haranggörbe-erősítő erősítésének változása

lényegében éppen az, hogyan változik az alapsávi zajeloszlás, ha a sávszűrő sávzélességét változtatjuk. A karakterisztika a következőképpen írható le:

$$G_{sz}(F) = 1, \quad \text{ha} \quad F_0 - \frac{B}{2} \leq F \leq F_0 + \frac{B}{2},$$

$$G_{sz}(F) = 0, \quad \text{ha} \quad F < F_0 - \frac{B}{2} \quad \text{vagy} \quad F > F_0 + \frac{B}{2},$$

ahol  $F_0$  a színcatorna közepes frekvenciáját, a haranggörbe középponti frekvenciáját jelenti, értéke  $F_0 = 4,286$  MHz,  $B$  a színcatorna teljes sávzélessége.  $F$ -fel mindig a nagyfrekvenciás sávba eső frekvenciákat jelöljük.

A színcatorna sávzélességét meghatározó szűrő után a színjelei a haranggörbe-erősítőbe kerül, amelynek karakterisztikája [1]:

$$G_h(F) = \frac{1 + 1,6 \left( \frac{F}{F_0} - \frac{F_0}{F} \right)^2}{1 + 256 \left( \frac{F}{F_0} - \frac{F_0}{F} \right)^2}.$$

A számításokhoz a haranggörbe-erősítő karakterisztikáját célszerű a sávközpéltől való elhangolás függvényében felírni:

$$G_h(\delta F) = \frac{1 + 1,6 \left( \frac{F_0 + \delta F}{F_0} - \frac{F_0}{F_0 + \delta F} \right)^2}{1 + 256 \left( \frac{F_0 + \delta F}{F_0} - \frac{F_0}{F_0 + \delta F} \right)^2},$$

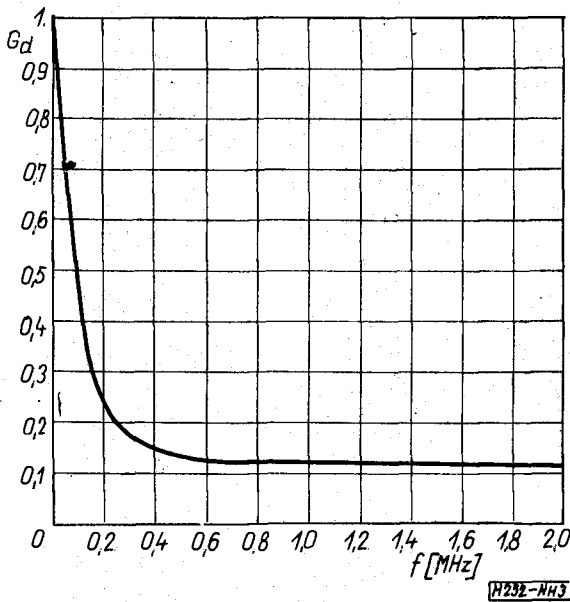
ahol  $\delta F = F - F_0$ .

A képlettel leírt görbe menete a 2. ábrán látható. A haranggörbe-erősítő után (B pont) a zaj spektrális eloszlását a  $G_{sz}(\delta F)$  és  $G_h(\delta F)$  függvények szorzatából előállított függvény fogja meghatározni. A  $G_{sz}(\delta F)$  függvény a sávszűrő karakterisztikáját írja le a sávközpéltől való elhangolás függvényében.

A SECAM-rendszer a vörös és a kék színkülönbségi jeleket két színsegédvívó frekvenciamodulációjával viszi át, ezért a frekvenciadiszkriminátorok kimenetén az alapsávi zajeloszlás háromszögzaj jellegű lesz, azaz az alapsávi zajamplitúdók nagysága a frekvenciával arányosan nőni fog, ha a demodulátorokra a frekvenciamodulált jellel fehérzaj érkezik. Ekkor az egyes alapsávi frekvenciákhoz tartozó spektrális zajteljesítmény-sűrűségek tehát a frekvencia négyzetével lesznek arányosak. A demodulátorokat követő video deemfázis áramkörök a négyzetes eloszlást módosítani fogják, mégpedig a SECAM-rendszer előírása szerint a következő karakterisztika szerint [1]:

$$G_d(f) = \frac{1 + \left( \frac{f}{3f_1} \right)^2}{1 + \left( \frac{f}{f_1} \right)^2}, \quad \text{ahol} \quad f_1 = 85 \text{ kHz}.$$

A deemfázis karakterisztika a 3. ábrán látható. A video utóelnyomó áramkörön keresztül a színkülönbségi jelek a mátrix áramkörbe kerülnek, amely a világosságjelből és a két színkülönbségi jelből előállítja az  $R$ ,  $G$  és  $B$  alapszínjeleket, amelyek a színes képcső elektronágyúit vezérlik. (Színkülönbségi vezérlés esetén a mátrix feladatát maga a képcső látja el.) A képernyőn megjelenő kép zajösszetevőit a

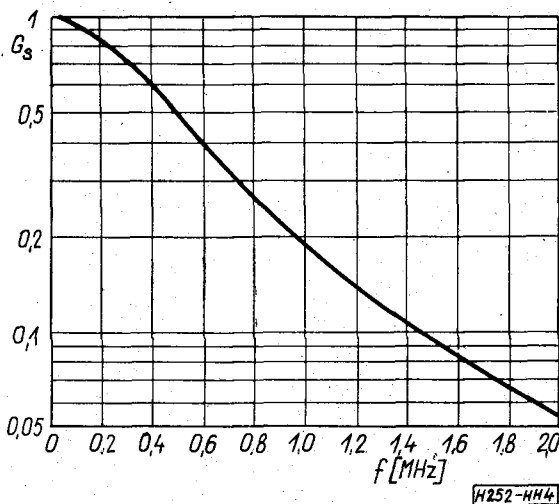


3. ábra. SECAM video deemfázis áramkör karakterisztikája

szem az összetevők frekvenciájától függően különböző mértékben veszi észre. Ennek a szubjektív hatásnak a figyelembevétele súlyozó szűrők segítségével történik. Fekete-fehér kép zajméréséhez a CCIR dolgozott ki súlyozó szűrőt [2]. Szovjet vizsgálatok szerint ez a szűrő alkalmas színes televíziókép szubjektív zajosságának méréséhez is [3]. Ennek alapján számításainkban mi is a CCIR súlyozó szűrőjének karakterisztikáját vettük figyelembe (4. ábra):

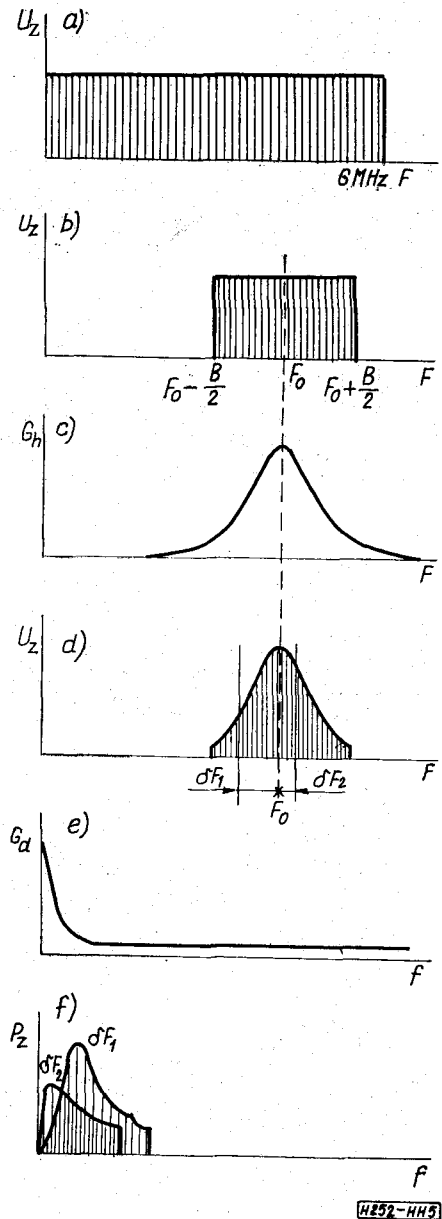
$$G_s(f) = \frac{1}{1 + (2\pi\tau f)^2}, \text{ ahol } \tau = 0,33 \mu\text{s}.$$

Az alapsávi zajeloszlás kialakulásának és a számítás menetének szemléltetése végett az 5. ábrán összefoglaltuk a dekóder különböző pontjain levő spektrális zajeloszlást és az egyes részáramkörök karakterisztikáját. A feladat tehát az, hogy a nagyfrekvenciás sáv szélesség függvényében meghatározzuk az alapsávi zajteljesítmény eloszlását, majd abból a súlyozási karakterisztika alapján a két szubjektív zajosságát meghatározó súlyozott zajteljesítményt.

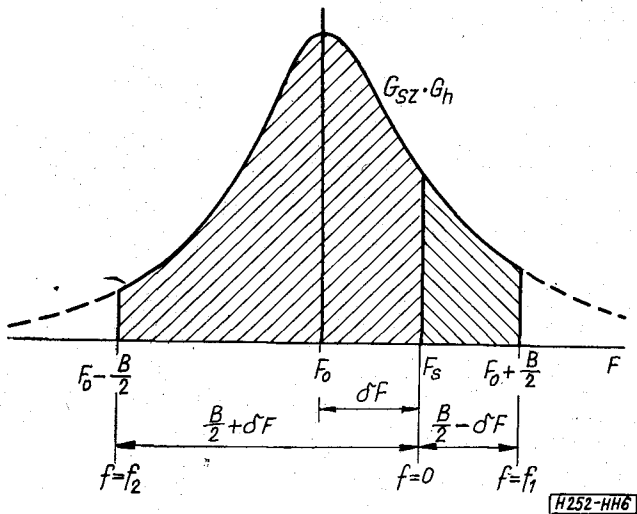


4. ábra. CCIR súlyozó áramkör csillapítása a frekvencia függvényében

A SECAM-rendszerben a színinformáció frekvenciamodulációs átvitele miatt a kép színsegédvívó frekvenciája színenként változik, az alapsáv zérus frekvenciája a színsatorna-karakterisztika más-más pontjára esik; minden frekvenciaeltolásra különböző a két nagyfrekvenciás oldalsáv zajeloszlása. A számítást tehát minden segédvívófrekvenciára (a sávközeptől való eltolásra) és minden vizsgált sáv szélességre el kell végezni. A zajteljesítmények összegezése az alapsávban történik a négyzetes eloszlás, a deemfázis-karakterisztika és a súlyozási törvény figyelembevételével. A nagyfrekvenciás zajeloszlást az adott eltoláshoz tartozó két oldalsávra külön-külön



5. ábra. A zaj spektrális eloszlása a dekóder egyes pontjaiban  
 a) A zaj spektrális eloszlása a dekóder bemenetén  
 b) A zaj spektrális eloszlása a színsatorna-szűrő után (A pont)  
 c) A haranggömb-erősítő karakterisztikája  
 d) A zaj spektrális eloszlása a haranggömb-erősítő után, a demodulátorok előtt (B pont)  
 e) A video deemfázis áramkörök karakterisztikája  
 f) Az alapsávi zajteljesítmény spektrális eloszlása a deemfázis áramkörök után (C pont)



6. ábra. A számításához szükséges adatok meghatározása

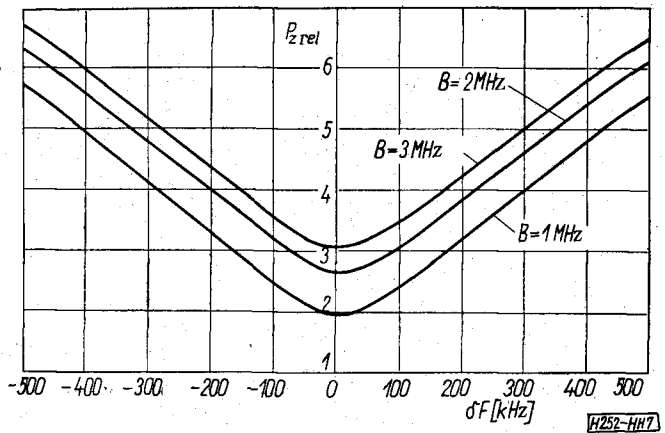
kell számításba venni, azaz az integrálást mindkét oldalsávra végre kell hajtani. A nagyfrekvenciás sávzsélességet a két integrálás határaiban kell figyelembe venni. A 6. ábrán szemléltetett esetben a vizsgált színsegédvívó frekvenciája  $F_s$ , a hozzá tartozó eltolás tehát  $\delta F = F_s - F_0$ . A nagyfrekvenciás sávzsélesség  $B$ , a színsegédvívóhoz tartozó felső oldalsáv frekvenciától  $F_0 + \frac{B}{2}$  frekvenciáig, az alsó oldalsáv pedig  $F_0 - \frac{B}{2}$  frekvenciáig terjed. Az alapsávi össze-

gezést tehát a két oldalsávra  $f_1 = F_0 + \frac{B}{2} - F_s = \frac{B}{2} - \delta F$ ,

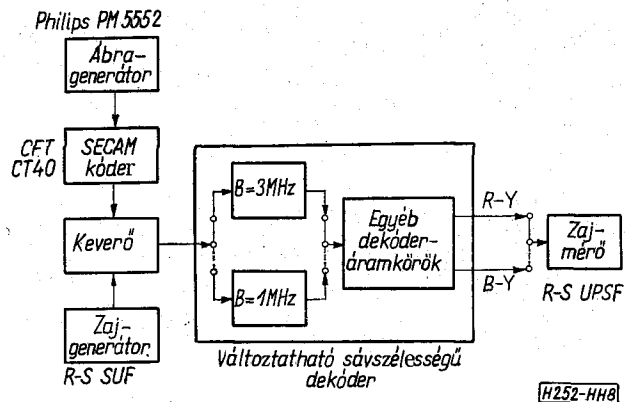
illetve  $f_2 = F_s - \left(F_0 - \frac{B}{2}\right) = \frac{B}{2} + \delta F$  frekvenciáig kell végrehajtani. Ennek alapján felírható az összefüggés, amelyből  $B$  sávzsélesség és  $F_s$  színsegédvívó-frekvencia, azaz  $\delta F = F_s - F_0$  eltolás esetén megkapható az alapsávi súlyozott zajteljesítmény:

$$P_z = k \left[ \int_0^{\frac{B}{2} - \delta F} G_h(F_s + f) \cdot G_d \cdot G_s \cdot f^2 \cdot df + \int_0^{\frac{B}{2} + \delta F} G_h(F_s - f) \cdot G_d \cdot G_s \cdot f^2 \cdot df \right].$$

A nagyszámú integrálás pontos elvégzése számítógép felhasználása esetén nem jelent nehézséget. Figyelembe véve a számításához felvett ideális feltételek és a gyakorlati megvalósítás közötti nem elhanyagolható eltéréseket, nem tartottuk szükségesnek a feladat pontos megoldását, helyette az egyszerűbben végrehajtható grafikus integrálást választottuk. A számításához a nagyfrekvenciás és az alapsávot 100 kHz széles frekvenciasávokra osztottuk és úgy tekintettük, hogy ezekben az elemi sávokban állandó a zajsűrűség. A színsegédvívók frekvenciája a haranggörbe középponti frekvenciájának  $\pm 500$  kHz-es környezetén belül változhat, azért az eltolást, ugyancsak 100 kHz-es lépésekben, ezen a tartományon be-



7. ábra. A zajteljesítmény változása a frekvencia-eltolás függvényében, különböző színcatorna-sávzsélességek esetén



8. ábra. Video jel—zaj viszony mérése

lül vettük figyelembe. A nagyfrekvenciás zajeloszlást minden eltolásra háromféle sávzsélesség ( $B = 1, 2$  és  $3$  MHz) feltételezésével határoztuk meg. A különböző eltolásokhoz és sávzsélességekhez tartozó nagyfrekvenciás zajeloszlásból kiszámítottuk az alapsávi relatív súlyozott zajteljesítményt. Az eredményt a 7. ábrán mutatjuk be. Az ábrán a haranggörbe középponti frekvenciájától számított frekvenciaeltolás függvényében látható az alapsávi súlyozott zajteljesítmény viszonylagos értéke, ha a színcatorna sávzsélessége  $B = 1, 2$  és  $3$  MHz. A görbék közelítőleg párhuzamosak, a  $\delta F = 0$  frekvenciaeltóláshoz tartozó értékek egymáshoz viszonyított értéke:

$$P_{z1} : P_{z2} : P_{z3} = 1 : 1,36 : 1,56.$$

A frekvenciaeltolás növekedésével a zajteljesítmény növekszik, de a különböző sávzsélességekhez tartozó értékek aránya csökken.  $\delta F = 500$  kHz eltolás esetén például

$$P_{z1} : P_{z2} : P_{z3} = 1 : 1,11 : 1,17.$$

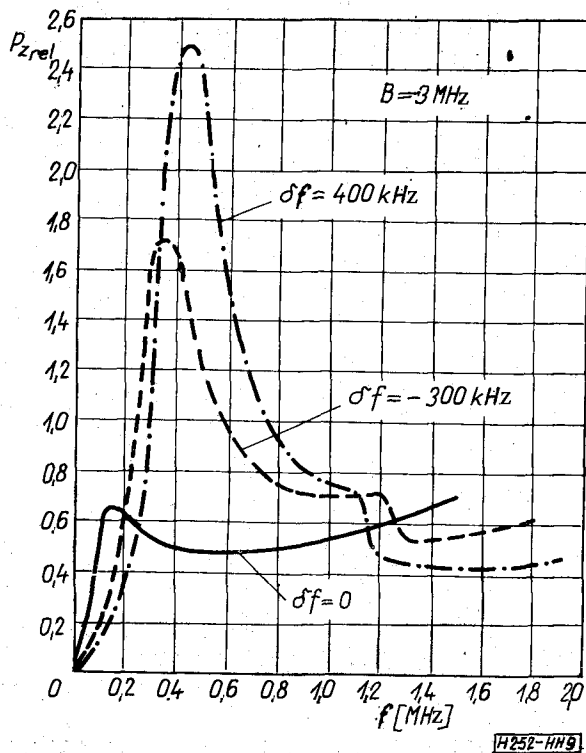
Az eredmény szerint tehát a színcatorna sávzsélességének  $B = 1$  MHz-ről  $B = 3$  MHz-re történő növekedése esetén az alapsávi zajteljesítmény legfeljebb 1,56-szorosra, azaz 1,9 dB-lel nő. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy zajcsökkentési szándékkal semmiképpen nem indokolható a dekódér színcatorna-sávzsélességének csökkentése, mert a nagymér-

tékü sávszűkítéssel elérhető zajszintcsökkenés is olyan kicsi, hogy a képen észrevehető minőségjavulást nem okoz, okoz viszont minőségromlást a jelek felfutási idejének romlása miatt.

A számítási úton kapott eredményt a változtatható sávzélességű dekóder segítségével mérésrel is ellenőriztük. A 8. ábrán szereplő mérési elrendezésben a kódolt jelhez akkora fehérzajt kevertünk, hogy a dekóder kimenő szinkülönbségi jelein jól mérhető zajteljesítmény legyen (kb. 30 dB jel-zaj viszony, tehát a rendszer küszöbszintjétől elég távol). A világosság-jelből való esetleges áthallások elkerülése érdekében a kódolt jelből kiiktattuk a világosságjelet. A mérést a színsáv valamennyi színére, azaz különböző frekvenciaeltolásokra (frekvenciaeltolásokra) elvégeztük úgy találtuk, hogy a széles ( $B=3$  MHz) és a keskeny ( $B=1$  MHz) színsatorna esetén mérhető legnagyobb zajteljesítmény-különbség 2,3 dB, ami elég jól egyezik a közelítő számítás eredményével, különösen, ha tekintetbe vesszük, hogy a dekóder sávszűrőjének karakterisztikája lényegesen eltér a számításban feltételezett ideális karakterisztikától.

A számítás eredményeiből más szempontú feldolgozással újabb eredmények is levezethetők. Meghatározható például, hogy adott színsatorna-sávzélesség és meghatározott szín, azaz frekvenciaeltolás esetén milyen lesz a videcsávi zajteljesítmény eloszlása. A 9. ábrán három eltolásra tüntettük fel a zajeloszlást. Legegyenletesebb az eloszlás, ha a segédvívó éppen a haranggörbe közepére esik. Az eltolás növekedésével az eltolással közelítőleg megegyező alapsávi frekvencia környezetében levő eloszlási maximum értéke is nő.

A számítások célja a színsatorna sávzélessége és a dekódolt jel zajossága közötti összefüggés feltárása



9. ábra. Az alapsávi zajteljesítmény eloszlása különböző frekvenciaeltolásokra

volt, az alapsávi zajteljesítmény eloszlása és az egyes színek zajosságának láthatósága tulajdonképpen nem képezte a vizsgálat tárgyát. A számítási munka közben eredményei alapján azonban úgy véltük, hogy a számítást érdemes ebben az irányban is tovább folytatni. Részeredményeink ugyanis némileg eltértek a Compagnie Française de Télévision által közölt számítások megfelelő eredményeitől [1], célszerűnek látszott tehát a zajok láthatóságáról közölt eredményük pontosítása is. A közbelső eredmények közötti eltérés oka az, hogy a CFT számításában csak 0, 100, 200 és 350 kHz-es frekvenciaeltolást vettek figyelembe; feltételezték, hogy a haranggörbe-karakterisztika a középponti frekvenciára szimmetrikus; a színek zajosságának vizsgálatokor és a láthatóság meghatározásakor csak a 350 kHz frekvenciájú zajösszetevőt, mint jellemző értéket vették figyelembe. Az általunk elvégzett számítások eredményei lehetővé tették, hogy minden színre meghatározzuk az alapsávi zajeloszlást és a súlyozott zajteljesítményt, valamint a zaj relatív láthatóságát. Ezt a számítást, mivel tulajdonképpen nem tartozik a sávzélességgel kapcsolatos vizsgálatokhoz, csak röviden, a végeredmény érthetősége érdekében ismertetjük.

A SECAM-rendszerben minden színhez két színesegédvívó-frekvencia, azaz két frekvenciaeltolás tartozik. Az előbbieken ismertetett számítási eljárással a színsáv minden színére meghatároztuk a deemfázis áramkör kimenetén levő alapsávi zajeloszlást. Erre három példát már bemutattunk a 9. ábrán. (Megjegyezzük, hogy ezt a számítást  $B=3$  MHz-es színsatorna-sávzélességre végeztük el.) A súlyozási törvény alapján minden színre kiszámítottuk továbbá a hozzájuk tartozó  $U_{SR}$  és  $U_{SB}$  jelek súlyozott zajteljesítményét, illetve a zaj amplitúdóját. A zaj láthatóságának vizsgálatokor figyelembe kell venni, hogy a SECAM-rendszerben a színsatorna kimenetén nem a szinkülönbségi jeleket, hanem a

$$U_{SR} = -1,9(U'_R - U'_Y),$$

illetve

$$U_{SB} = 1,5(U'_B - U'_Y)$$

jeleket kapjuk. Feltételezve továbbá, hogy a két demodulátor teljesen azonos, tekintetbe kell venni még, hogy a jelamplitúdók a maximális frekvenciaelöltek arányában is különbözők. A vörös csatornában ezért  $\frac{1}{1,9} = -0,53$ , a kék csatornában pedig

— a löketarányt is figyelembe véve  $-\frac{1}{1,5} \cdot \frac{280}{230} = 0,81$

tényezővel csökkenteni kell a kiszámított zajamplitúdót, ahhoz, hogy a szinkülönbségi jelekhez tartozó zajamplitúdókat kapjuk.

A dekóderrel előállított alapszínjelek az adóoldali gammakorrekció miatt a színes kamera  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  alapszínjeleinek  $\frac{1}{\gamma}$ -ik hatványai. A vevőkészülék színes képcsövének vezérlésekor a képernyő felületi fényessége a vezérlőjelek  $\gamma$ -ik hatványával lesz arányos:

$$Y = k \left[ 0,3 \left( U_R \frac{1}{\gamma} \right)^\gamma + 0,59 \left( U_G \frac{1}{\gamma} \right)^\gamma + 0,11 \left( U_B \frac{1}{\gamma} \right)^\gamma \right] = k(0,3 \cdot U_R + 0,59 \cdot U_G + 0,11 \cdot U_B),$$

ahol  $k$  arányossági tényező, amely a képcső felületi fényessége és az elektromos vezérlőfeszültség közötti összefüggést fejezi ki.

Ha a vezérlő alapszínjelek zajokat is tartalmaznak, a képernyő felületi fényessége eltér az előző egyenlettel meghatározott helyes értéktől. A vörös és kék színkülönbségi jelekkel érkező zaj a mátrix-áramkörön keresztül megjelenik a zöld színkülönbségi jelben is, nagysága a színkülönbségi jelek közötti összefüggés segítségével számítható ki (a gamma-korrigált jeleket felső vessző indexszel jelölve):

$$U'_G - U'_Y = -0,51(U'_R - U'_Y) - 0,186(U'_B - U'_Y).$$

A számítás menete a következő. Legyen a vörös csatorna kimenetén a zaj amplitúdója  $U_{zR}$ . Ekkor a vörös vezérlőjel az előbbiek szerint  $U'_R - 0,53 \cdot U_{zR}$  nagyságú, a mátrix által előállított zöld vezérlőjel pedig  $U'_G + 0,53 \cdot 0,51 \cdot U_{zR} = U'_G + 0,27 \cdot U_{zR}$  nagyságú lesz. A vörös csatorna zaja a kék vezérlőjelet nem módosítja. A képernyő felületi fényessége tehát a vörös csatorna zajának figyelembevételével:

$$Y_{zR} = k[0,3(U'_R - 0,53 \cdot U_{zR})^\gamma + 0,59(U'_G + 0,27 \cdot U_{zR})^\gamma + 0,11(U'_B)^\gamma] = Y + \Delta Y_{zR}.$$

Tételezzük fel, hogy  $\gamma \approx 2$ , akkor a vörös zaj miatt bekövetkező felületi fényesség-növekedésre a műveleteket elvégezve a következő összefüggést kapjuk:

$$\Delta Y_{zR} = k[-0,318 \cdot U_{zR}(U'_R - U'_G) + 0,127 \cdot U_{zR}^2].$$

A kék csatorna kimenetén a zajamplitúdó  $U_{zB}$ . Ezzel a kék vezérlőjel  $U'_B + 0,81 \cdot U_{zB}$ , a mátrixból kapott zöld vezérlőjel pedig  $U'_G - 0,81 \cdot 0,186 \cdot U_{zB} = U'_G - 0,15 \cdot U_{zB}$  nagyságú lesz. Kék csatornabeli zaj esetén a képernyő felületi fényessége tehát:

$$Y_{zB} = k[0,3(U'_R)^\gamma + 0,59(U'_G - 0,15 \cdot U_{zB})^\gamma + 0,11(U'_B + 0,81 \cdot U_{zB})^\gamma] = Y + \Delta Y_{zB}.$$

Itt is feltételezve, hogy  $\gamma \approx 2$ , elvégezve a műveleteket és a teljes felületi fényességből levonva a zajmentes esetben kapott felületi fényességet, megkapjuk a kék csatornából származó zaj miatt bekövetkező felületi fényesség-növekedést:

$$\Delta Y_{zB} = k[0,178 \cdot U_{zB}(U'_B - U'_G) + 0,0854 \cdot U_{zB}^2].$$

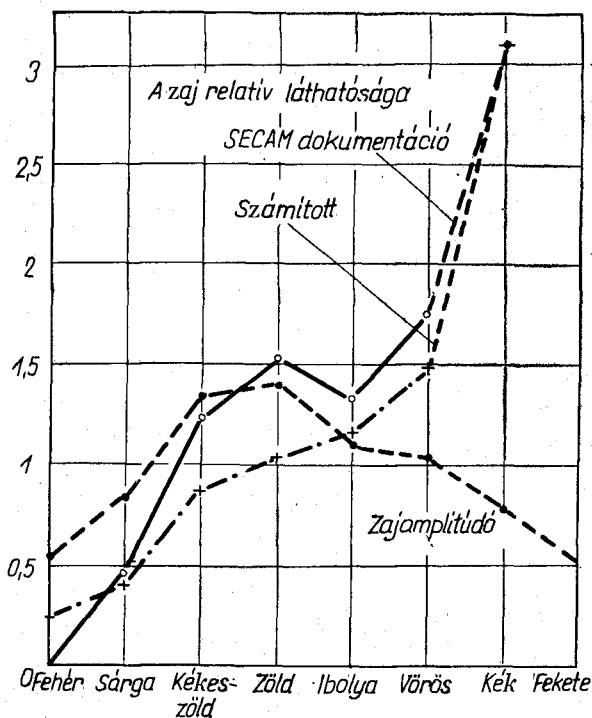
A két zaj a színek egymást követő átvitele miatt korrelálatlan, ezért a teljes felületi fényesség-növekedést négyzetes összegezéssel határozhatjuk meg:

$$\Delta Y_z = \sqrt{\Delta Y_{zR}^2 + \Delta Y_{zB}^2}.$$

A számítás folyamán a vörös és a kék csatorna zaja alapján minden színre meghatároztuk a fellépő felületi fényesség-növekedést, majd abból a szín zajmentes felületi fényességéhez való viszonyítással a zaj relatív láthatóságát:

$$L = \frac{\Delta Y_z}{Y}.$$

A számítással kapott eredményeket a 10. ábrában foglaltuk össze. Annak érdekében, hogy az eredmények összehasonlíthatók legyenek a CFT által közölt eredményekkel, a kék szín zajának relatív láthatóságát azonosnak vettük. Az ábrából látható, hogy



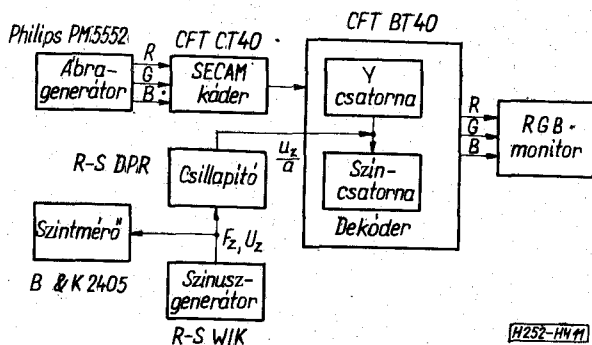
10. ábra. A zaj amplitúdója és láthatósága a színsávakra színeire

eredményeink szerint a zajok láthatósága valamennyi színre kisebb, mint a CFT számítása szerint. Kivétel a fehér szín, amelyre a CFT a zaj láthatóságát nem vette figyelembe, mivel ebben az esetben „a színzajnak semmi hatása nincsen a világosságra”. Ez a feltételezés elhanyagolás eredménye, a színzaj — bár valóban kis relatív láthatósággal — fehér szín esetében is megváltoztatja a felületi fényességet.

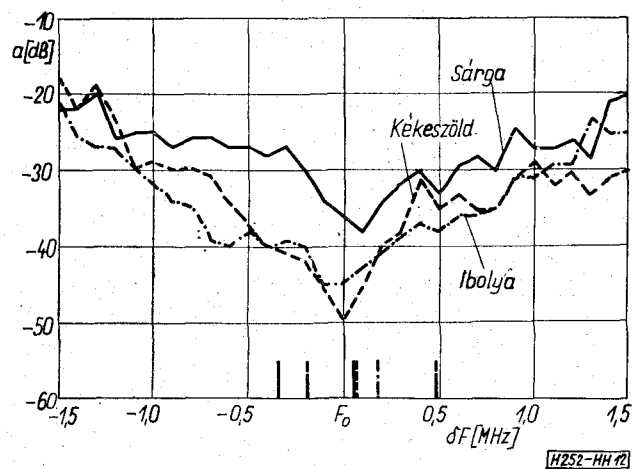
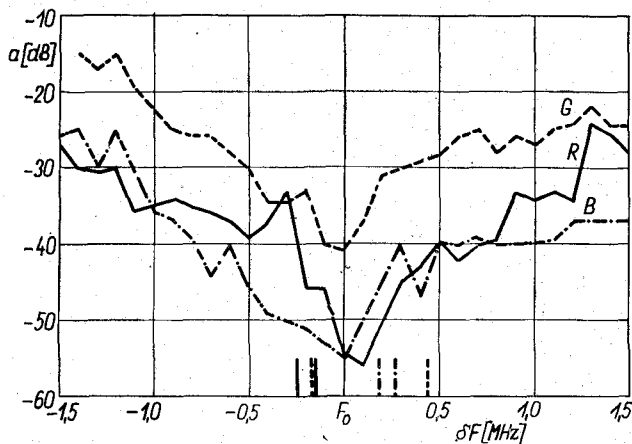
A sávzsélesség hatása a világosságjelből származó áthallások mértékére

A zajok láthatóságával kapcsolatos, az előbbiekben leírt számítás után folytattuk a sávzsélesség hatásának vizsgálatát. A cél most az volt, hogy összefüggést keressünk a dekóder színcsatorna-sávzsélessége és a világosságjelből származó áthallások zavaró hatása között. Ezek a vizsgálatok elvileg ugyanazzal a módszerrel végezhetők el, amelyet a zajok számításakor alkalmaztunk, de ennek feltétele, hogy ismerjük a világosságjel spektrális eloszlását leíró matematikai függvényt. Egyes, viszonylag egyszerű világosságjelre a spektrum eloszlása bizonyos elhanyagolásokkal aránylag egyszerűen meghatározható. Ezekre az esetekre tehát az előbbiekben leírt számítási módszer használható lenne. Mi a vizsgálatoknál abból indultunk ki, hogy az egyes speciális esetek számításából nem lehet általános érvényű következtetéseket levonni, és nem határozható meg az ún. „átlagos televíziókép”, amelynek spektrumát azután matematikai formában le lehetne írni. Ezért a vizsgálatokban célszerűbb mérésekre szorítkozni.

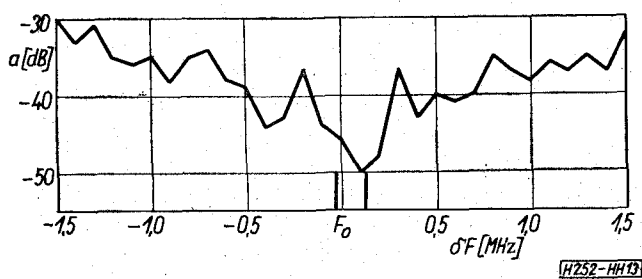
Az első mérésorozat, amelyet elvégeztünk, azon a tényen alapult, hogy a világosságjelnek a színcsa-



11. ábra. Szinuszos jelek zavaró hatásának mérése



12. ábra. Szinuszos zavaró jelek láthatósága különböző színek esetén



13. ábra. Szinuszos zavaró jelek láthatósága 50%-os szürke szín esetén

torna sávjába eső komponensei között gyakran előfordulnak viszonylag nagy amplitúdójúak is, amelyek meghatározott frekvenciájú szinuszos zavaró jelként vehetők figyelembe. A világo sságjel spektruma a jelben előforduló meredek ugrásokból, a sor- és képszinkronjelek periodicitásából származóan általában olyan spektrumvonalakból áll, amelyeknek amplitúdója a frekvencia növekedésével csökkenő tendenciájú. A színcsatorna sávjába ezért általában aránylag kis amplitúdójú összetevők esnek, még akkor is, ha a világo sságjel nagy amplitúdójú és meredek ugrásokat is tartalmaz. Egyes nagyfrekvenciás jelösszetevők azonban egyéb módon is keletkezhetnek, például multiburst jelet is tartalmazó színes monoszkópábrák, vagy még gyakoribb esetekben egyes hátterek, ruhaminták stb. képének vételekor. Ezeknek a világo sságjeleknek a spektruma a szokásos összetevőkön kívül egy vagy több viszonylag nagy amplitúdójú komponens is tartalmaz, amelyek a színcsatorna sávjába eshetnek és abban az átlagosnál nagyobb zavarokat okozhatnak. Ennek alapján kezdtük meg a szinuszos zavaró jelek hatásának vizsgálatát.

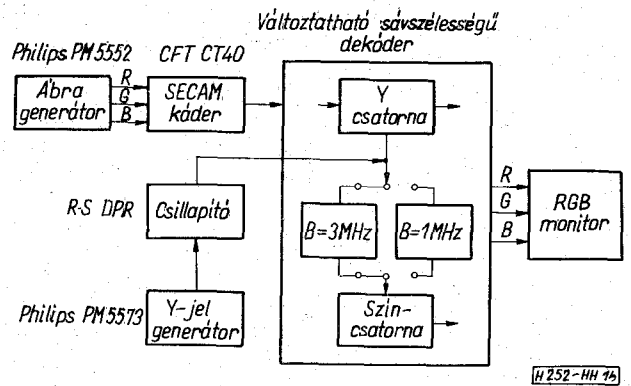
Az objektív vizsgálat elvileg a következőképpen történhetne. A dekóder színcsatornájába eső minden frekvencián meghatározott, állandó amplitúdójú szinuszos jelet juttatunk a színcsatorna bemenetére, ahol jelen van az adott színhez tartozó színjel is. A frekvenciával végighaladva a teljes sávon, minden frekvenciára meghatározzuk a zavar mértékét. Eredményként folyamatos görbét kapunk, amely a frekvencia függvényében megadja a zavaró hatás nagyságát. Ezt minden színre végrehajtva görbesereget kapunk, amelyből minden színre megkapható a rendszer érzékenysége a szinuszos zavaró jelek frekvenciája függvényében. Ez az elvileg objektív mérés valójában igen szubjektív lenne, hiszen a zavarás mértéke csak szubjektív módon érzékelhető és értékelhető. Így még igen nagyszámú vizsgálat esetén is csak közelítően, a szubjektív minőségvizsgálatokkal elérhető viszonylag durva lépcsőkben tudnánk felvenni a zavarérzékenységet. Vizsgálatainkban igyekeztünk ezt a szubjektív bizonytalansági tényezőt kiküszöbölni. Az érzékenységi görbéket a következő módon vettük fel. A 11. ábra szerinti elrendezésben a dekóder bemenetére különböző, 100%-os amplitúdójú színeknek megfelelő kódolt jelet adtunk. A dekóder színcsatornájának bemenetére változtatható csillapításon keresztül zavaró szinuszos jelet adtunk és a zavaró hatást a dekóder kimenő alapsávi jeleivel vezérelt RGB-monitoron vizsgáltuk. A zavaró jel csillapítását mindig addig növeltük, amíg a képernyőn megjelenő zavar éppen eltűnt. Ez a helyzet — tapasztalataink szerint — igen jól, nagy biztonsággal érzékelhető, a vizsgálatban részt vevő személyek némi gyakorlás után 1 dB-es eltérésen belül azonos csillapításnál észlelték a zavar megszűnését. A zavaró jeleket szolgáltató generátor folyamatos hangolású, a mérést kb. 100 kHz-enkénti elhangolásokkal végeztük, a névleges elhangolás környezetében mindig megkeresve a legzavaróbb rajzolatot okozó frekvenciát. A vizsgálatot a három alapszínre és a páronkénti kombinációjukkal előállítható színekre hajtottuk végre. Az eredményeket a 12. ábrán



mutatjuk be. A görbék a különböző színekre tehát azt adják meg, hogy a sávközéptől való elhangolás függvényében milyen csillapítást kellett a zavaró jel útjába iktatni ahhoz, hogy a zavar éppen a láthatóság határán legyen. A generátor kimenőjelének szintje állandóan  $U_z = 50 \text{ mV}_{\text{eff}}$  volt. Az ábrán a színekhez tartozó görbékkel azonos jelöléssel bejelöltük a színekhez tartozó két segédvívó frekvenciáját is. A 13. ábrán az 50%-os szürke színhez tartozó kódolt jellel elvégzett mérésorozat eredményét tüntettük fel.

Kérdés ezek után, hogy milyen következtetéseket lehet levonni az elmondott vizsgálat eredményeiből. Mindenekelőtt megállapítható, hogy a zavarérzékenység nagyjából a haranggörbe-erősítő karakterisztikájának megfelelően változik, annak ellenére, hogy a zavarérzékenység frekvenciafüggését nem csupán a haranggörbe karakterisztika befolyásolja. (FM detektor kimenetén állandó vívó/zavarjel amplitúdóarány esetén a zavaró jel nagysága a vívó és a zavarjel frekvenciakülönbségével arányosan nő, ugyanakkor viszont növekvő frekvenciakülönbség esetén a képernyőn megjelenő zavaró rajzolat finomabbá válik és észrevehetősége csökken.) Az egyes színekre a zavarérzékenység függ továbbá a szín világosságától is, valamint a színhez tartozó segédvívók frekvenciájától. A görbék lényegében tendenciát reprezentálnak, konkrét frekvenciához tartozó zavarérzékenység leolvasására nem alkalmasak, mivel felvételük során viszonylag kevés pontban mértünk és mindig a legzavaróbb rajzolatra hangoltunk. Számszerű értéként megállapíthatjuk, hogy a legzavaróbb tartományban, a haranggörbe középponti frekvenciájának környezetében a zavarok észrevehetőségének határa  $-40 \text{ dB}$  és  $-55 \text{ dB}$  csillapítások közé esik, ami kb.  $0,1-0,5 \text{ mV}$ -os zavaró jelszintnek felel meg. Érdemes megemlíteni, hogy a zavaró jel betáplálási pontjában a fekete-fehér jelhez tartozó színsegédvívó-amplitúdó kb.  $65 \text{ mV}_{\text{cs-cs}}$ , a szinkroncsúcsból fehérig terjedő világosságjel amplitúdója pedig  $300 \text{ mV}_{\text{cs-cs}}$  volt. 50%-os szürke szín esetében a zavartatás küszöbszintje kb.  $0,15 \text{ mV}$ , a színsegédvívó és a zavaró jel amplitúdóaránya tehát mintegy 155-szörös, azaz kb.  $44 \text{ dB}$ . A zavaró hatás létrejöttéhez tehát az szükséges, hogy a  $300 \text{ mV}_{\text{cs-cs}}$  amplitúdójú világosságjel spektrumában a haranggörbe középponti frekvenciájának környezetében legyen olyan spektrumvonal, amelynek amplitúdója meghaladja a  $0,15 \text{ mV}$ -os szintet. Általános esetben természetesen igen sok ilyen spektrumvonal, vagyis szinuszos zavaró jel keletkezik, speciális esetekben pedig ennél sokkal nagyobb amplitúdójú zavarok esnek a színcsatorna sávjába. Színes monoszópábra multiburst jele például több tized volt amplitúdóval tartalmaz a színcsatorna sávjába eső szinuszos jeleket, amelyek a képen igen erős zavarokat, elszíneződéseket okoznak.

A színcsatorna sávszélességének csökkentése a szinuszos zavaró jelek elleni védelem szempontjából előnyösnek látszik, hiszen minél jobban szűkítjük a színcsatorna sávszélességét, annál kisebb a valószínűsége annak, hogy a világosságjel nagy amplitúdójú összetevői éppen e sávba esnek. Átlagos, nagy amplitúdójú egyedi összetevőket nem tartalmazó világoss-



14. ábra. Világosságjelből származó áthallások sávszélesség-függésének mérése

ságjel-spektrum feltételezésekor is kedvezőbbnek tűnik a keskeny sáv, főleg a színcsatorna kisebb frekvenciás tartományának levágása miatt, ahol a világosságjel spektruma viszonylag nagyobb amplitúdójú összetevőket tartalmaz. A haranggörbe közepétől való elhangolással azonban folyamatosan csökken a színcsatorna zavarérzékenysége, és a kisebb frekvenciák felé haladva a csökkenés mértéke nagyobb, mint amilyen mértékben nő az átlagos világosságjel-spektrum amplitúdója. Az ellentmondó szempontok miatt célszerűnek látszott a sávszélesség és a képminőséget rontó áthallások közötti összefüggést továbbí szubjektív vizsgálatokkal is keresni.

A világosságjelből való áthallások szubjektív vizsgálata azért okoz problémát, mert az áthallások hatása helyileg ott jelentkezik a képernyőn, ahol az áthallást okozó világosságjel-változások vannak, ezért a világosságjel a képen lefedi az áthallás okozta zavarokat. A valóságban természetesen mindig ez a helyzet, ezért az áthallások az esetek túlnyomó többségében nem okoznak észrevehető minőségromlást. Ahhoz, hogy az áthallások hatása jól megfigyelhető legyen, a vizsgálatokban meg kellett hamisítanunk a valóságos helyzetet. A vizsgálatokat a változtatható sávszélességű dekóderrel végeztük a 14. ábra szerinti elrendezésben. A dekóder bemenetére egy színű színes felületeknek megfelelő, 100%-os amplitúdójú kódolt jeleket adtunk. A képernyő tehát teljes felületében egyszínű volt, az ehhez a jelhez tartozó világosságjel csak a szinkrontartományokban és a sorok elején és végén tartalmaz ugrást, az általa okozott áthallás a képen nem észlelhető. A dekóder színcsatornájába, a sávszélességet meghatározó szűrő előtt, a világosságjel csatornájából érkező színjelhez még egy világosságjelet kevertünk (szinkronjel + képjel), amelynek spektruma a színcsatorna sávjában nagy amplitúdójú összetevőket tartalmaz. A jel útjába változtatható csillapítást iktattunk.

Vizsgálójelként  $15 \text{ kHz}$ -es négyszögjelet (felfutási idő  $100 \text{ ns}$ ),  $T$  és  $2T$  időtartamú  $\sin^2$ -impulzust, valamint multiburst jelet használtunk. A szubjektív vizsgálat pontosságának érdekében itt is a zavar láthatósági határa volt az összehasonlítás kritériuma. Különböző színű felületekre  $B=3 \text{ MHz}$  sávszélességű színcsatorna mellett az adott vizsgálójel szintjét úgy állítottuk be, hogy a zavar éppen észrevehető legyen, majd ugyanezt az állapotot hoztuk létre a csillapítás

változtatásával  $B=1$  MHz-es színcsatornára is. A láthatóság határa — hasonlóan a szinuszos zavarás esetéhez — erősen változott a színek szerint, és ugyancsak nagy különbségeket tapasztaltunk a sáv-szélesség-változás hatásában. A sáv-szélesség hatását legjobban a kékeszöld színű felületen észleltük:  $T$ -impulzust és 15 kHz-es négyszöget tartalmazó zavaró jel esetén a  $B=3$  MHz-hez tartozó láthatósági küszöböt 3 dB-lel nagyobb csillapításnál kaptuk, mint a  $B=1$  MHz-es színcsatornára. 50%-os szürke színű felületen viszont a sáv-szélesség változtatásával a zavar láthatóságának határa gyakorlatilag nem változott. Hasonlóképpen nem tudtunk kimutatni érzékenységváltozást a legtöbb színre 1, 2, 3, 4, 5 és 6 MHz-es szinuszcsoomagokból álló multiburst jellel való zavaráskor.

A sokféle vizsgálat eredményéből meglehetősen nehéz volt egyértelmű összefüggést megállapítani a színcsatorna sáv-szélessége és az áthallás zavaró hatása között. Mivel egyes színekre és zavaró jelekre határozottan kimutatható, hogy a sáv-szélesség növelésével nő az áthallás mértéke, tulajdonképpen bizonyított a keskeny sáv előnye. Ha viszont figyelembe vesszük, hogy az áthallás mértékének változása 1–2 dB-es tartományon belül van, valamint azt, hogy a valóságos esetekben, amikor az áthallást lefedi a világosságjel változása, ez a különbség szubjektíven nem érzékelhető mértékű, már nem indokolt a keskeny sáv alkalmazása. Véleményünk szerint az áthallásvizsgálat eredménye ugyanaz, mint a zajokra elvégzett számítás és mérésé.

#### Következtetések

A sáv-szélességgel kapcsolatos vizsgálatok eredményét és a belőlük levont következtetést a következőképpen foglalhatjuk össze:

A színcsatorna sáv-szélessége befolyással van számos olyan paraméterre, amelyek meghatározzák, illetve módosítják a dekódolt zines kép minőségét. Meghatározó paraméternek tekinthetjük a színjelek felfutási idejét, aminek szempontjából feltétlenül előnyös minél szélesebb színcsatornát megvalósítani.

A színcsatorna sáv-szélességének növelésével együtt jár viszont a jel—zaj viszony romlása és a világosság-jelből származó áthallások növekedése. Mind a zaj, mind az áthallások rontják a kép minőségét. A vizsgálat eredménye szerint azonban a növekedés mértéke nem jelentős, semmiképpen nem indokolja a sáv-szélesség csökkentését. A vizsgált hatásokat figyelembe véve tehát úgy véljük, hogy célszerű, sőt szükséges minél szélesebb színcsatornát készíteni. Felső határnak a kóderoldalon megvalósított  $B=3$  MHz sáv-szélességet tekinthetjük.

A kellően szélessávú színcsatorna megvalósítása természetesen felvet néhány műszaki és gazdasági problémát. A közvetlen színcsatornában a széles sáv megvalósítása véleményünk szerint nem jelent áramkörü problémát. Bonyolultabb a helyzet a késleltetett csatornában, ahol a szélesebb sávú átvitel a késleltető művonalak többségével már nehezebben érhető el. A gyári specifikációk és saját tapasztalataink szerint a leginkább használt késleltető művonalakkal  $B=1,8$ – $2,3$  MHz-es sáv-szélesség elérhető. Részletes gazdasági elemzés nélkül úgy tűnik, hogy optimális sáv-szélességnek azt tekinthetjük, amit az adott, illetve legolcsóbban beszerezhető művonallal meg lehet valósítani. Véleményünk szerint ez lényegesen nagyobb, mint a vevőkészülékekben szokásosan megvalósított sáv-szélesség. Körülbelül 2 MHz-es teljes sáv-szélesség közfogyasztású készülékekben is elérhető lenne. Az ehhez szükséges erősítéstöbblet biztosításához a közvetlen és a késleltetett csatornában 1–1 fokozat elegendő. Ennek költsége valószínűleg elhanyagolható a készülék összköltségéhez viszonyítva, illetve feltétlenül indokolható a képminőség javulásával.

#### I R O D A L O M

- [1] Le système SECAM de télévision en couleur. Compagnie Française de Télévision, Paris.
- [2] Avis 421—2: Spécifications pour une transmission de télévision sur une grande distance (système I excepté). CCIR, XII<sup>e</sup> Assemblée Plénière, New Delhi, 1970, Volume V, Partie 2.
- [3] Pevzner, B. M.: Szisztemü cvetnogo televidenyija. Energija, Leningrad, 1969.