

Jel—zaj viszony javítás a SECAM-rendszerben

ETO 621. 391. 883. 2; 621. 397. 132. 127

SECAM rendszerénél a színinformáció továbbítása frekvenciamodulációval történik. Ez a tény lehetőséget ad arra, hogy az FM rendszereknél szokásosan alkalmazott jel—zaj viszony javító módszereket megfelelően adaptálva itt is használják. Az alkalmazott módszerek zajcsökkentő hatása közismert csak sajnálatos módon a zajcsökkenés számszerű mértéke a témával foglalkozó szakirodalomban vagy nem szerepel, vagy sok esetben rossz módszerrel kiszámított, ily módon hibás, értékeket tüntet fel. Ezt a hiányosságot szeretnénk pótolni jelen cikkben kiszámított számszerű eredményekkel.

1. Az alapsávi előkiemelő és utóelnyomó áramkör hatása

A SECAM rendszerű jelátvitel tömbvázlata, szem előtt tartva, hogy kizárólagosan csak a jel/zaj javító hatást akarjuk figyelembe venni, az 1. ábrán látható. A jel—zaj viszony javulását a 2. ábrán látható esethez viszonyítva értelmezzük.

Az 1. és 2. ábrán látható jelölések értelmezése:

$V(t)$: Sávhatárolt alapsávi szintkülönbségi jel.

$\tilde{V}(t)$: Az előkiemelő áramkör alkalmazása mellett kapható demodulált szintkülönbségi jel.

$\tilde{\tilde{V}}(t)$: Előkiemelő és utóelnyomó áramkörök együttes alkalmazása, vagy ezek alkalmazása nélküli demodulált szintkülönbségi jel.

$H_e(j\omega)$: az előkiemelő áramkör átviteli karakterisztikája.

$H_u(j\omega)$: az utóelnyomó áramkör átviteli karakterisztikája,

$H_{cs}(j\omega)$: az átviteli csatorna átviteli karakterisztikája.

$v(t)$: Nulla várható értékű sztacionárius fehér zaj.

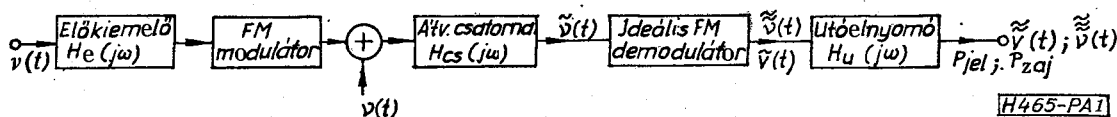
$\tilde{v}(t)$: Az átviteli csatorna kimenetén megjelenő sávhatárolt fehér zaj.

$\tilde{\tilde{v}}(t)$: Az ideális FM demodulátor kimenetén megjelenő zaj.

$\tilde{\tilde{\tilde{v}}}(t)$: Az utóelnyomó áramkör kimenő zaja.

P_{zaj} : Zajteljesítmény az utóelnyomó áramkör kimenetén.

\tilde{P}_{zaj} : Zajteljesítmény az ideális FM demodulátor kimenetén.



H465-PA1

1. ábra. SECAM rendszerű jelátvitel egyszerűsített tömbvázlata, ha csak alapsávi előkiemelést és utóelnyomást tételezünk fel

Beérkezett: 1976. V. 22.

P_{jel} : Jelteljesítmény az utóelnyomó áramkör kimenetén.

\tilde{P}_{jel} : Jelteljesítmény az ideális FM demodulátor kimenetén.

Az utóelnyomó és előkiemelő áramkör hasznos jelre vonatkozó hatása kompenzálja egymást, mivel a két átviteli karakterisztika között a következő összefüggés áll fenn:

$$H_u(j\omega) = \frac{1}{H_e(j\omega)}$$

Emiatt könnyen belátható, hogy mindkét esetben a kimeneteken megjelenő jelteljesítmények is megegyeznek, azaz

$$P_{jel} = \tilde{P}_{jel}$$

Ebből következően a jel—zaj viszony javulás mértéke a két esetben mérhető jel—zaj viszony hányadosa helyett a két esetben mérhető zajteljesítmény hányadosára egyszerűsödik, azaz

$$Q_d = \frac{P_{jel}}{P_{zaj}} = \frac{\tilde{P}_{zaj}}{\tilde{P}_{jel}}$$

ahol Q_d a jel—zaj viszony javulási tényező.

A \tilde{P}_{zaj} kiszámításához a következő módon juthatunk el.

A $v(t)$ sztacionárius fehér zaj spektrális előállítással egy mérték szerinti integrállal írható fel

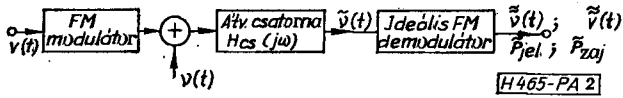
$$v(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} Z(d\omega),$$

ahol $Z(d\omega)$ a véletlen mérték.

Az átviteli csatornának csak sávhatároló hatása van modellünkben. Ily módon az átviteli csatorna kimenetén megjelenő sávkorlátozott fehér zaj a következő módon írható fel:

$$\tilde{v}(t) = \int_{-\Omega_1}^{-\Omega_2} e^{j\omega t} Z(d\omega) + \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} e^{i\omega t} Z(d\omega)$$

ahol Ω_1, Ω_2 a sávhatárt jelöli.



2. ábra. SECAM rendszerű jelátvitel legegyszerűbb tömbvázlata

A véletlen mérték abszolút értéke négyzetének várható értéke az adott sztochasztikus folyamat (a fehér zaj) spektrális eloszlásfüggvényét adja, tehát

$$S_{\tilde{v}}(\omega) = E\{|Z(-\infty, \omega)|^2\}$$

ahol $S_{\tilde{v}}(\omega)$ a spektrális eloszlás, E a várható érték-képzés operátora.

$S_{\tilde{v}}(\omega)$ deriváltja (ha ez létezik) a spektrális sűrűségfüggvényt eredményezi, azaz

$$s_{\tilde{v}}(\omega) = \frac{d}{d\omega} S_{\tilde{v}}(\omega)$$

Esetünkben sávkorlátozott zajról lévén szó a spektrális sűrűség az alábbi alakban írható fel:

$$s_{\tilde{v}}(\omega) = s_0 \operatorname{rect} \frac{\omega + \frac{-\Omega_1 - \Omega_2}{2}}{\Omega_2 - \Omega_1} + s_0 \operatorname{rect} \frac{\omega - \frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2}}{\Omega_2 - \Omega_1}$$

ahol s_0 konstans.

Ideális FM demodulálás hatására a spektrálsűrűség a következő lesz

$$s_{\tilde{v}}(\omega) = k_1 \omega^2 [s_{\tilde{v}}(\omega + \Omega) + s_{\tilde{v}}(\omega - \Omega)].$$

Ebből már \tilde{P}_{zaj} kiszámítható az alábbi integrálással

$$\tilde{P}_{zaj} = \int_{-\infty}^{\infty} s_{\tilde{v}}(\omega) d\omega = \int_{(\Omega_2 - \Omega)}^{\Omega_2 - \Omega} s_{\tilde{v}}(\omega) d\omega,$$

$$\text{ahol } \Omega = \frac{\Omega_2 + \Omega_1}{2}.$$

Hasonló gondolatmenettel P_{zaj} is kiszámítható. Az utóelnyomó áramkör hatása a spektrális előállításnál a következőképpen vehető figyelembe:

$$\tilde{v}(t) = \int_{-(\Omega_2 - \Omega)}^{\Omega_2 - \Omega} e^{j\omega t} H_u(j\omega) Z_{\tilde{v}}(d\omega)$$

A lineáris transzformációt okozó utóelnyomó áramkör kimenetén tehát a spektrális sűrűségfüggvény a következő lesz:

$$s_{\tilde{v}}(\omega) = \frac{d}{d\omega} \{E[|H_u(j\omega)|^2 \cdot |Z_{\tilde{v}}(-\Omega_2 - \Omega, \Omega_2 - \Omega)|^2]\}.$$

Ennek alapján viszont felírhatjuk, hogy

$$s_{\tilde{v}}(\omega) = |H_u(j\omega)|^2 s_{\tilde{v}}(\omega) = g(\omega) s_{\tilde{v}}(\omega),$$

ahol $g(\omega) = |H_u(j\omega)|^2$ az un. nyereségfüggvény.

A P_{zaj} tehát kiszámítható a következő integrállal

$$P_{zaj} = \int_{-(\Omega_2 - \Omega)}^{\Omega_2 - \Omega} s_{\tilde{v}}(\omega) d\omega = \int_{-(\Omega_2 - \Omega)}^{\Omega_2 - \Omega} s_{\tilde{v}}(\omega) g(\omega) d\omega.$$

A jel—zaj viszony javulási tényező ezzel kiszámítható.

$$\rho_d = \frac{\int_{\Omega_2 - \Omega}^{\Omega_2 - \Omega} s_{\tilde{v}}(\omega) d\omega}{\int_{-(\Omega_2 - \Omega)}^{\Omega_2 - \Omega} s_{\tilde{v}}(\omega) g(\omega) d\omega}.$$

A konkrét számítás elvégzéséhez írjuk fel a $g(\omega)$ nyereségfüggvényt és helyettesítsük be ρ_d kifejezésébe.

$$g(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{1 + \frac{\omega^2}{9\omega_1^2}}{1 + \frac{\omega^2}{\omega_1^2}},$$

ahol $\omega_1 = 2\pi \cdot 85 \cdot 10^3$ r/sec

$$\rho_d = \frac{\int k_1 s_0 \omega^2 d\omega}{\int k_1 s_0 \omega^2 \frac{9\omega + \omega^2}{9\omega + 9\omega^2} d\omega}.$$

Az integrálási határokat konkrét esetében a demodulált szinkulónbségi jel sáv szélessége határozza meg. Ezt a tényt figyelembe véve és néhány egyszerűsítést elvégezve az alábbi végeredményt kapjuk:

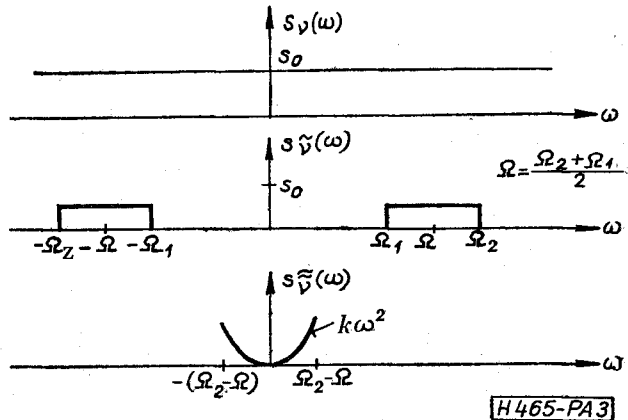
$$\rho_d = \frac{\int_0^{f_M} f^2 df}{\int_0^{f_M} \frac{9f_1^2 + f^2}{9f_1^2 + 9f^2} df} = \frac{9}{1 + 24\left(\frac{f_1}{f_M}\right)^2 - 24\left(\frac{f_1}{f_M}\right)^2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{f_M}{f_1}},$$

ahol f_M a szinkulónbségi jel maximális frekvenciája.

A jel—zaj viszony javulás számszerű értékét, viszonyszámban és dB-ben, az 1. táblázat tartalmazza.

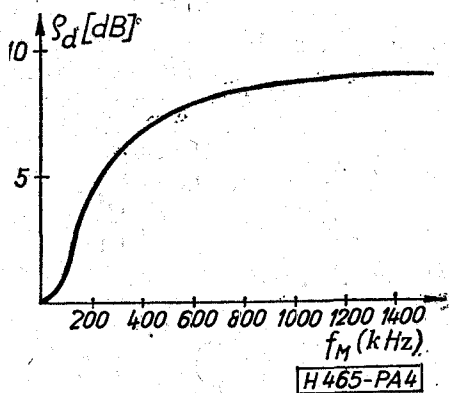
A jel/zaj javulás elvi maximuma megkapható, ha elvégezzük a $\lim_{f_M \rightarrow \infty} \rho_d$ határátmenetet.

$$\rho_{d, \max} = \lim_{f_M \rightarrow \infty} \rho_d = 9.$$



3. ábra. Az 1. ábrával modellezett jelátvitelnél fellépő zajok spektrális eloszlása

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f_M [kHz] | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 706 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
| q_d | 1,61 | 2,83 | 4,07 | 5,08 | 5,91 | 6,5 | 6,94 | 7,32 | 7,61 | 7,83 | 8 | 8,13 | 8,25 | 8,32 | 8,4 |
| q_d [dB] | 2,05 | 4,5 | 6,1 | 7,05 | 7,7 | 8,1 | 8,4 | 8,65 | 8,8 | 8,95 | 9 | 9,1 | 9,15 | 9,2 | 9,25 |



4. ábra. Az utóelnyomó áramkör jel-zaj viszony javító hatása

2. Haranggörbe erősítő és inverzharanggörbe erősítő hatása

Vizsgálatunkat az 5. ábrán és a 2. ábrán látható modellek összehasonlítása alapján végezzük. Az 1. pontban leírtakhoz hasonlóan itt is igaz, hogy a hasznos jelre vonatkozóan a haranggörbe és az inverz haranggörbe erősítők egymás hatását kompenzálják, mivel a két átviteli karakterisztika között az alábbi összefüggés áll fenn:

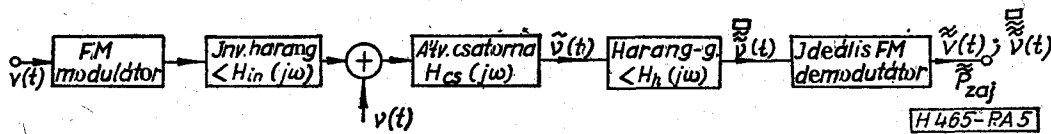
$$H_h(j\omega) = \frac{1}{H_{ih}(j\omega)}$$

Továbbá az előbbi esethez hasonlóan könnyen belátható, hogy a jel-zaj viszony javulást most is kiszámíthatjuk az 5. és 2. ábrán látható modellek alapján értelmezett zajteljesítmények hányadosaként.

$$q_h = \frac{\tilde{P}_{zaj}}{\tilde{P}_{zaj}}$$

ahol q_h a jel-zaj viszony javulási tényező. A q_h kiszámításához szükséges zajteljesítmények az alábbi számítások alapján kaphatók meg. \tilde{P}_{zaj} számítási formulát már az 1-es pontban megkaptuk:

$$\tilde{P}_{zaj} = \int_{-\infty}^{\infty} s_z^*(\omega) d\omega = \int_{-(\Omega_1 - \Omega)}^{\Omega_1 - \Omega} s_z^*(\omega) d\omega = 2 \int k_1 s_0 \omega^2 d\omega$$



5. ábra. SECAM rendszerű jelátvitel egyszerűsített tömbvázlata, ha csak nagyfrekvenciás előkiemelést és utóelnyomást tételezünk fel

A \tilde{P}_{zaj} kiszámításához először határozzuk meg a haranggörbe erősítő kimenetén megjelenő zaj spektrálsűrűségét:

$$s_z^*(\omega) = |H_{cs}(j\omega)|^2 \cdot |H_h(j\omega)|^2 s_s(\omega)$$

Az átviteli csatornának csak az ideális sávhatároló hatását véve figyelembe:

$$|H_{cs}(j\omega)|^2 = \text{rect} \frac{\omega + \frac{-\Omega_1 - \Omega_2}{2}}{\Omega_2 - \Omega_1} + \text{rect} \frac{\omega - \frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2}}{\Omega_2 - \Omega_1}$$

A haranggörbe erősítő átviteli karakterisztikája az OIRT szabvány szerint az alábbi:

$$H_h(j\eta) = \frac{1 + j\eta Q_2}{1 + j\eta Q_1}$$

ahol $\eta = \frac{f}{f_c} - \frac{f_c}{f}$, $f_c = 4286 \text{ kHz}$, $Q_1 = 16$, $Q_2 = \sqrt{1,6}$.

Elvégezve az $\eta = \frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega}$ transzformációt

$$H_h(j\omega) = \frac{1 + j \left(\frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega} \right) Q_2}{1 + j \left(\frac{\omega}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega} \right) Q_1}$$

Képezve az átviteli karakterisztikából a haranggörbe erősítő nyereségfüggvényét kapjuk, hogy

$$g_h(\omega) = |H_h(\omega)|^2 = \frac{(\omega_c \omega)^2 + Q_2^2 (\omega^2 - \omega_c^2)^2}{(\omega_c \omega)^2 + Q_1^2 (\omega^2 - \omega_c^2)^2}$$

Míndezek után tehát a haranggörbe erősítő kimenő zajának spektrálsűrűsége a következő lesz:

$$s_z^*(\omega) = s_s(\omega) g_h(\omega) \left[\text{rect} \frac{\omega + \frac{-\Omega_1 - \Omega_2}{2}}{\Omega_2 - \Omega_1} + \text{rect} \frac{\omega - \frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2}}{\Omega_2 - \Omega_1} \right]$$

Az ideális demodulátor kimenetén megjelenő zaj spektrális sűrűségfüggvénye pedig a következő lesz:

$$s_z^*(\omega) = k_1 \omega^2 [s_z^*(\omega + \Omega) + s_z^*(\omega - \Omega)]$$

Ebből viszont \tilde{P}_{zaj} , amely az FM demodulátor kimenetén jelenik meg, az alábbi módon kapható:

$$\tilde{P}_{zaj} = \int_{-(\Omega_2-\Omega)}^{\Omega_2-\Omega} s_{\tilde{z}}(\omega) d\omega = 2 \int_{-(\Omega_2-\Omega)}^{\Omega_2-\Omega} k_1 \omega^2 s_0 g_h(\omega + \Omega) d\omega.$$

Ily módon tehát a jel—zaj viszony javulási tényezőt az alábbi hányados kiszámításából kapjuk:

$$\rho_h = \frac{\tilde{P}_{zaj}}{P_{zaj}} = \frac{\int \omega^2 d\omega}{\int \omega^2 g_h(\omega + \Omega) d\omega},$$

ahol $\Omega = \omega_c$.

Figyelembe véve, hogy az integrálási határokat a színelkülönbségi jelek sávzélességének megfelelően kell megválasztani, valamint elvégezve a haranggörbe erősítő nyereségfüggvényének transzformálását és néhány egyszerűsítést, az alábbi eredményt kapjuk:

$$\rho_h = \frac{\int_0^{f_M} f^2 df}{\int_0^{f_M} \frac{f_c^2 (f+f_c)^2 + Q_2^2 (f+f_c)^2 - f_c^2}{f_c^2 (f+f_c)^2 + Q_1^2 (f+f_c)^2 - f_c^2} df}$$

A g_h nevezőjében levő integrálást numerikusan elvégezve, a 2. táblázatba foglalt eredményeket kapjuk.

3. Az alapsávi és nagyfrekvenciás előkiemelés és utóelőnyomás együttes hatásának vizsgálata

Vizsgálatunkat a 8. ábrán és a 2. ábrán látható modellek összehasonlítása alapján végezzük. A jel—zaj viszony javulási tényező az eddigiekhez hasonlóan értelmezve a következő lesz:

$$\rho_{hd} = \frac{\tilde{P}_{zaj}}{P_{zaj}}$$

A 2. ábra alapján az FM demodulátor kimenetén levő zajteljesítmény megkapható a

$$\tilde{P}_{zaj} = \int_{-(\Omega_2-\Omega)}^{\Omega_2-\Omega} s_{\tilde{z}}(\omega) d\omega$$

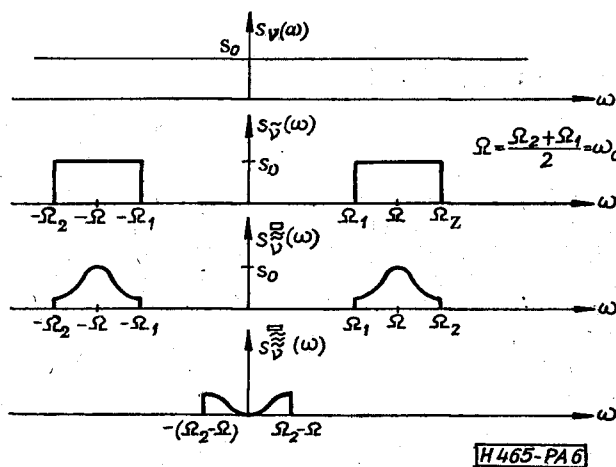
kifejezés kiszámításával.

A 8. ábra alapján értelmezett zajteljesítmény pedig megkapható az alábbi kifejezés kiszámításával

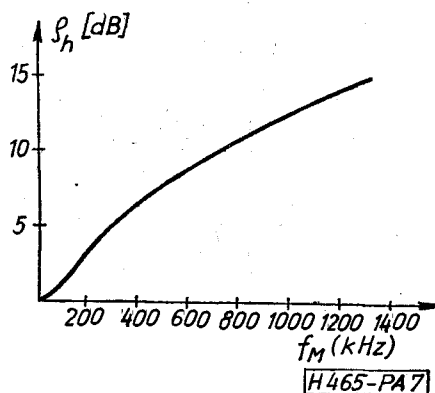
$$\begin{aligned} \tilde{P}_{zaj} &= \int_{-(\Omega_2-\Omega)}^{\Omega_2-\Omega} s_{\tilde{z}}(\omega) d\omega = \\ &= 2 \int_{-(\Omega_2-\Omega)}^{\Omega_2-\Omega} k_1 \omega^2 s_0 g_h(\omega - \Omega) q(\omega) d\omega. \end{aligned}$$

(Az összefüggés helyessége az eddigiek és a 8. ábra alapján könnyen belátható.)

Elvégezve a szükséges behelyettesítéseket, apróbb egyszerűsítések után az alábbi — már kiértékelhető —



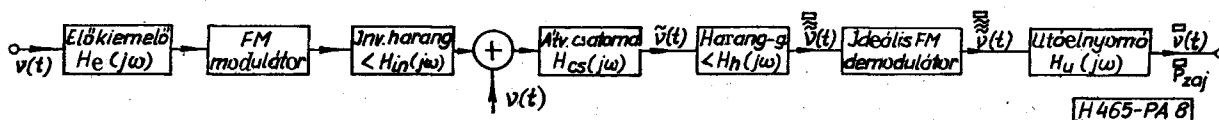
6. ábra. Az 5. ábrával modellezett jelátvitelnél fellépő zajok spektrális sűrűségei



7. ábra. A harang-görbe erősítő jel—zaj viszony javító hatása

2. táblázat

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| f_M [kHz] | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
| ρ_h [dB] | 1,17 | 3,24 | 5,15 | 6,76 | 8,16 | 9,3 | 10,3 | 11,2 | 11,95 | 12,6 | 13,2 | 13,8 | 14,3 | 14,7 | 15,1 |



8. ábra. SECAM rendszerű jelátvitel egyszerűsített tömbvázlata

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f_M [kHz] | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
| Q_{hd} [dB] | 3,16 | 7,3 | 10,5 | 13 | 14,9 | 16,5 | 17,8 | 18,9 | 19,9 | 20,7 | 21,5 | 22,1 | 22,8 | 23,3 | 23,8 |

végeredményt kapjuk

$$Q_{hd} = \frac{\int_0^{f_M} f^2 df}{\int_0^{f_M} f^2 \frac{f_c^2(f+f_c)^2 + Q_2^2[(f+f_c)^2 - f_c^2]}{f_c^2(f+f_c)^2 + Q_1^2[(f+f_c)^2 - f_c^2]} \cdot \frac{9f_1^2 + f^2}{9f_1^2 + 9f^2} df}$$

Az összefüggés alapján számított eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

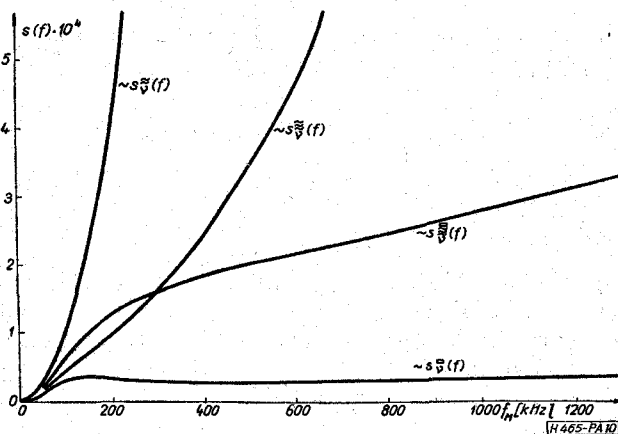
4. Néhány megjegyzés

A kapott eredmények értékelésénél figyelembe kell venni néhány, eddig még nem említett közelítést is.

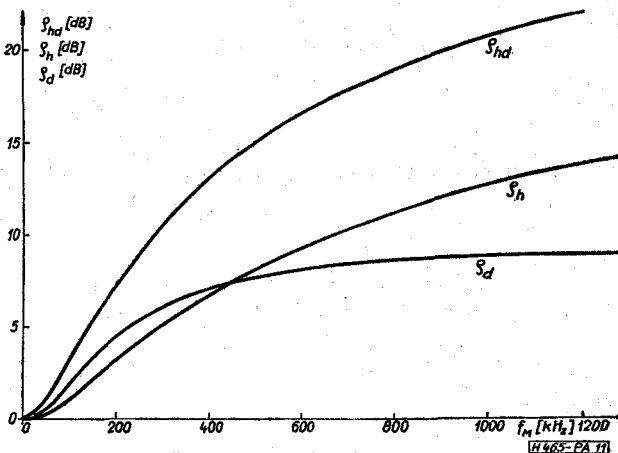
a) A haranggörbe erősítő valóságos nyereségfüggvénye az átviteli sávban némi aszimmetriát mutat az f_c frekvenciára nézve, míg a számításoknál szimmetrikus nyereségfüggvény lett feltételezve.

b) A vörös és kék színkülönbségi jelek színsegédvívóinek frekvenciái a valóságban eltérnek egymástól és az f_c frekvenciától is, míg a számításoknál ezek egymással és az f_c frekvenciával is azonosnak lettek feltételezve.

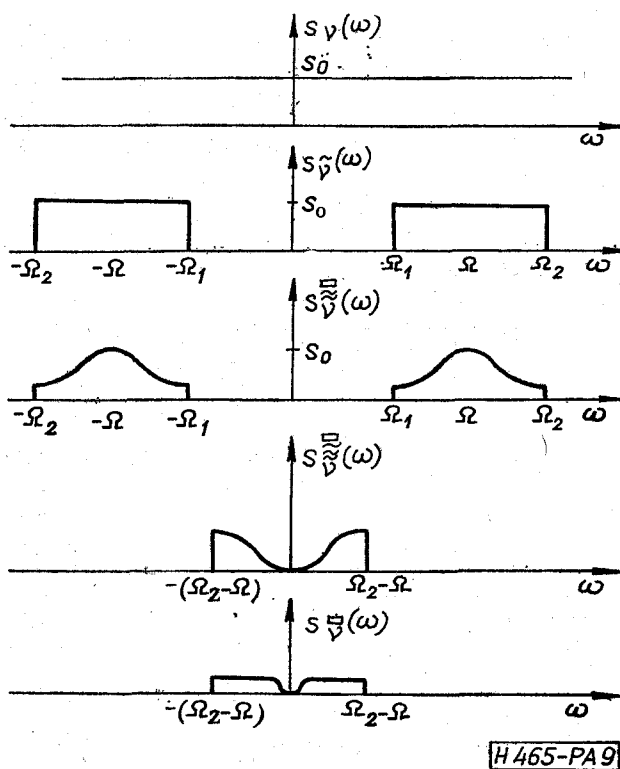
c) A jel-zaj viszony javulási tényező értéke a számított értékektől jelentősen különbözhet olyan esetekben, amikor a modulált színsegédvívó frekven-



10. ábra. A jel-zaj viszony javulás számításánál fellépő spektrális sűrűségek



11. ábra. A jel-zaj viszony javulási tényező változása az egyes modellek alapján



H 465-PA 9

9. ábra. A 8. ábrával modellezett jeláramkörnél fellépő zajok spektrális sűrűsége

ciája hosszú időn keresztül f_c -től jelentősen eltérő konstans értéket vesz fel. (Hosszú idő alatt több televíziós sor idejét kell érteni.) Ez olyan képek átvitelénél következhet be, amelyeken nagy kiterjedésű egyszínű felületek vannak.

Érdemes kiemelni, hogy az a) és b) pontokban említett közelítések a jel-zaj viszony javulási tényező értékét csak csekély mértékben befolyásolják.

I R O D A L O M

[1] S. O. Rice: Statistical Properties of a Sine Wave Plus Random Noise. Bell System Techn. J. Vol. 27, Secs. 7 and 8, pp. 138-151, January 1948.
 [2] M. Schwartz: Informacion transmission, modulation and noise, 1970.
 [3] A. Bartosziák: Szisztema cvetnogo televidenija SECAM 1968.
 [4] B. M. Pevzner: Szisztemü cvetnogo televidenija, 1969.
 [5] Hegyi G., Villányi O., Nemsics E., Hazai J.: Színes televízió, 1969.
 [6] HH. Cartianu: Frekvenciamoduláció, 1965.
 [7] I. I. Gihman, A. V. Szkorohod: Bevezetés a sztochasztikus folyamatok elméletébe, 1975.