



# Osnove telekomunikacija

Doc. dr Enis Kočan ([enisk@ucg.ac.me](mailto:enisk@ucg.ac.me))

*Saradnici:* Dr Uglješa Urošević ([ugljesa@ucg.ac.me](mailto:ugljesa@ucg.ac.me))

MSc Slavica Tomović ([slavicat@ucg.ac.me](mailto:slavicat@ucg.ac.me))

# SADRŽAJ KURSA

---

1. Uvod. Opšti model telekomunikacionog sistema. Vrste prenosa signala.
2. Medijumi za prenos. Pojam modulacije.
3. Multipleksiranje. Referentni model za povezivanje otvorenih sistema (OSI i TCP/IP)
4. Harmonijska analiza periodičnih signala
5. Analiza aperiodičnih signala i slučajnih signala
6. Prenos signala kroz linearne sisteme. Izobličenja pri prenosu signala
7. Amplitudske modulacije
8. Demodulacija AM signala. Realizacija multipleksa sa frekvencijskom raspodelom kanala
9. Ugaona modulacija. Spektar UM signala
10. FM modulatori. Demodulacija FM signala
11. Slučajni šum. Karakteristike uskopojasnog šuma
12. Uticaj šuma na prenos amplitudski moduliranih signala
- 13. Uticaj šuma na prenos ugaono moduliranih signala**

# Termin 13 - Sadržaj

---

- **Odnos S/N u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom**
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika PM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika FM signala
- Postupci poboljšanja odnosa S/N za FM prijemnik
- Odnos S/N pri prenosu multipleksnih signala

# Odnos S/N u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom

---

- Postoje dvije vrste ugaone modulacije:
  1. Frekvencijska i
  2. Fazna modulacija
- One pokazuju različite osobine u pogledu slučajnog šuma, koje se kvalitativno i kvantitativno mogu ocijeniti na osnovu izraza za srednju izlaznu snagu slučajnog šuma, odnosno na osnovu izraza za odnos signal/šum na izlazu iz odgovarajućih prijemnika.
- Pretpostavimo da na ulazu u prijemnik postoji slučajan šum čija je spektralna gustina srednje snage  $p_N$  konstantna i iznosi:

$$p_N = \overline{F}kT$$

- Uvođenjem faktora šuma u daljoj analizi možemo smatrati da je cio prijemnik „bešuman“.

✓ Digresija:

1) Posmatrajmo slučaj kada na ulaz prijemnika dolazi nosilac i **jedan** parazitni sinusoidalni test ton. Riječ je o problemu interferencije nosioca i parazita sinusoidalnog talasnog oblika.

Na ulazu prijemnika za ugaono modulisane signale, pored nemodulisanog nosioca:

$$u_0(t) = U_0 \cos \omega_0 t$$

se javlja i parazit, čiji je napon:

$$u_N(t) = U_N \cos(\omega_0 + \omega_N) \cdot t$$

Rezultantni ulazni napon u prijemnik biće:

$$\begin{aligned} u_u(t) &= u_0(t) + u_N(t) = U_0 \cos \omega_0 t + U_N \cos(\omega_0 + \omega_N) t = \\ &= (U_0 + U_N \cos \omega_N t) \cos \omega_0 t - U_N \sin \omega_N t \sin \omega_0 t \\ u_u(t) &= U_u(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_N(t)) \end{aligned}$$

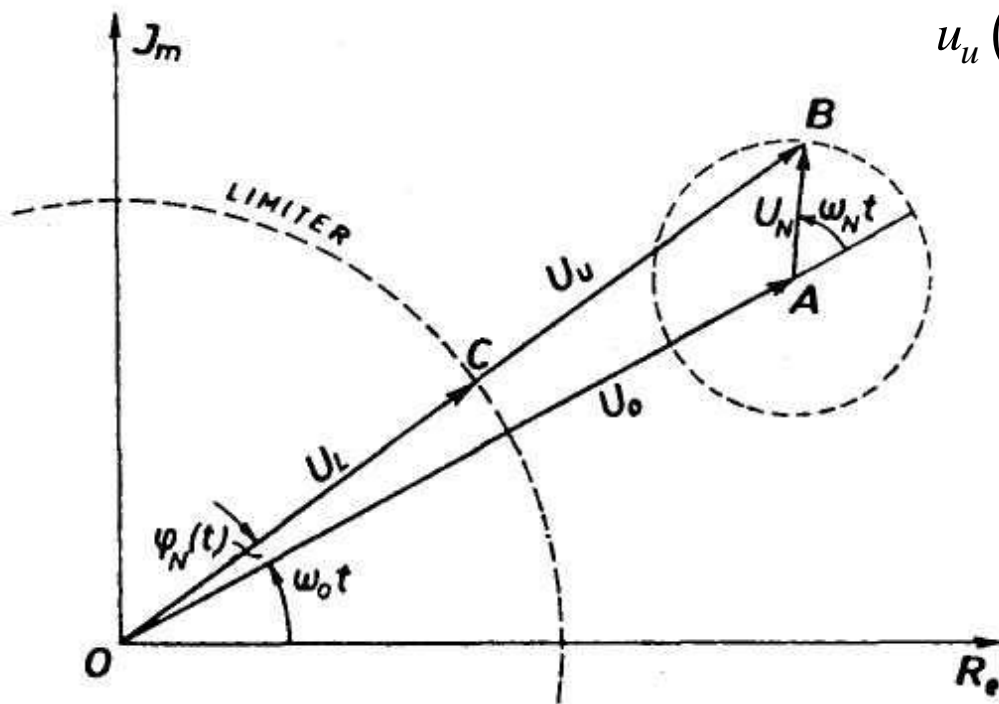
Anvelopa i faza ovog signala su:

$$U_u(t) = \sqrt{(U_0 + U_N \cos \omega_N t)^2 + (U_N \sin \omega_N t)^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_N = \frac{U_N \sin \omega_N t}{U_0 + U_N \cos \omega_N t}$$

Dobijeni rezultatni napon  $u_u(t)$  ima vremenski promjenljivu i amplitudu i fazu (istovremeno je i amplitudski i ugaono modulisan). Fazorski dijagram je:

$$u_u(t) = U_u(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_N(t))$$



Slika: Fazorski dijagram koji ilustruje interferenciju nosioca i parazita sinusoidalnog talasnog oblika

Ako pretpostavimo da je  $U_N \ll U_0$ , dobija se:

$$U_u(t) = \sqrt{U_0^2 + 2U_0U_N \cos \omega_N t + U_N^2} \approx \sqrt{U_0^2 + 2U_0U_N \cos \omega_N t}$$

$$U_u(t) \approx U_0 \left( 1 + \frac{U_N \cos \omega_N t}{U_0} \right)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_N \approx \varphi_N \approx \frac{U_N}{U_0} \sin \omega_N t$$

Konačno, napon na ulazu je:

$$u_u(t) \approx U_0 \left( 1 + \frac{U_N}{U_0} \cos \omega_N t \right) \cdot \cos \left( \omega_0 t + \frac{U_N}{U_0} \sin \omega_N t \right)$$

**Uz navedeni uslov parazitni test ton je svojim prisustvom modulirao nosilac:**

**1. Amplitudski** - sinusoidalnim tonom čija je učestanost jednaka razlici učestanosti parazita i nosioca, uz indeks modulacije  $m_0 = U_N/U_0$

**2. Ugaono** - sinusoidalnim tonom čija je učestanost jednaka razlici učestanosti parazita i nosioca, pri čemu je trenutna faza signala:

$$\Phi_i = \omega_0 t + \frac{U_N}{U_0} \sin \omega_N t$$

Maksimalna devijacija faze je:

$$\Delta\Phi_{0N} = \frac{U_N}{U_0}$$

Trenutna (kružna) učestanost i maksimalna devijacija (kružne) učestanosti signala su:

$$\omega_i = \frac{d}{dt} \left[ \omega_0 t + \frac{U_N}{U_0} \sin \omega_N t \right] = \omega_0 + \frac{U_N}{U_0} \omega_N \cos \omega_N t = \omega_0 + \delta\omega_i$$

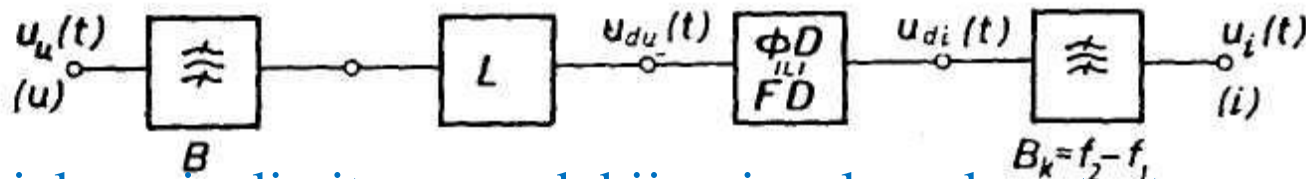
$$\Delta\omega_{0N} = \frac{U_N}{U_0} \omega_N$$

$$f_i = f_0 + \frac{U_N}{U_0} f_N \cos \omega_N t = f_0 + \delta f_i$$

$$\Delta f_{0N} = \frac{U_N}{U_0} f_N$$



Ovaj složeni napon dolazi na ulaz prijemnika UM signala sa slike.



1. Na izlazu iz limitera se dobija signal sa konstantnom amplitudom (čist ugaono modulisan signal):

$$u_{du}(t) = U_{du} \cos \left( \omega_0 t + \frac{U_N}{U_0} \sin \omega_N t \right)$$

a) Ako je riječ o **prijemniku fazno modulisanih signala**, fazni diskriminator na svom izlazu daje signal koji je direktno srazmjeran trenutnoj devijaciji faze, pa je na izlazu iz diskriminatora signal:

$$u_{di}(t) = D_\Phi \delta\Phi_i = D_\Phi \frac{U_N}{U_0} \sin \omega_N t = U_{N\Phi} \sin \omega_N t$$

b) Ako je riječ o **prijemniku frekvencijski modulisanih signala**, frekvencijski diskriminator na svom izlazu daje signal direktno srazmjeran trenutnoj devijaciji učestanosti, pa je izlazni signal:

$$u_{di}(t) = D_F \delta f_i = D_F \frac{U_N}{U_0} f_N \cos \omega_N t = U_{NF} \cos \omega_N t$$

U slučaju kad je prijemnik predviđen za *fazno modulisane signale*, parazit će se na njegovom izlazu pojaviti kao sinusoidalan ton konstantne amplitude i učestanosti.

Ako je u pitanju prijemnik za *frekvencijski modulisane signale*, na izlazu će se dobiti sinusoidalan ton učestanosti  $f_N$ , ali je njegoa amplituda direktno srazmjerna toj učestanosti:

$$U_{NF} = U_{NF}(f_N) = D_F \frac{U_N}{U_0} f_N$$

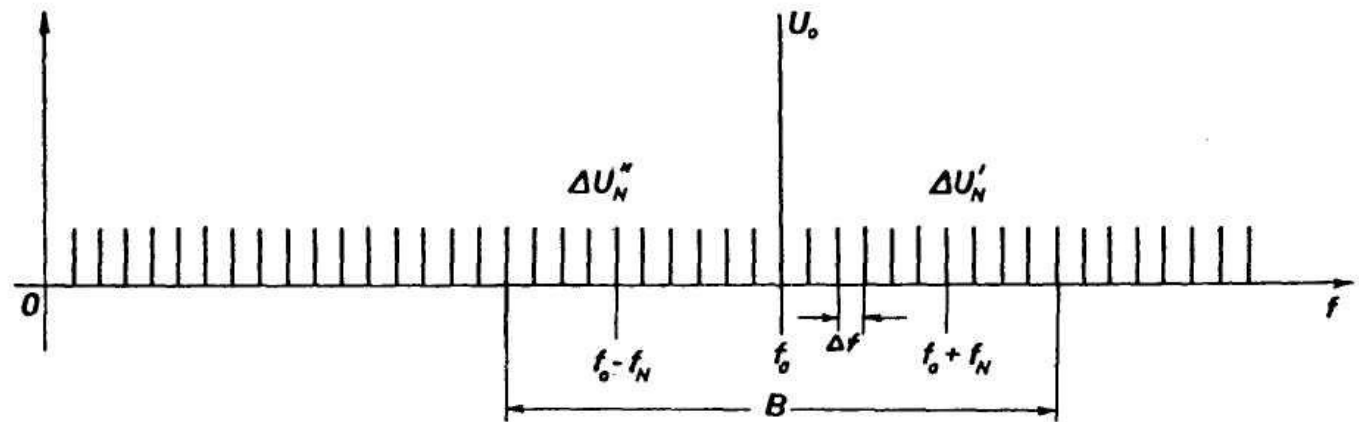
# Termin 13 - Sadržaj

---

- Odnos S/N u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom
- **Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala**
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika PM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika FM signala
- Postupci poboljšanja odnosa S/N za FM prijemnik
- Odnos S/N pri prenosu multipleksnih signala

# Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika fazno moduliranih signala

- Spektralna gustina srednje snage šuma ne zavisi od učestanosti i možemo da je aproksimiramo diskretnim spektrom koji je sastavljen od ekstremno velikog broja sinusoidalnih komponenata, čije su amplitude  $\Delta U_N$  male i međusobno jednake, učestanosti su ravnomjerno raspoređene u spektru, učestanosti dvije susjedne komponente razlikuju za  $\Delta f$  a faze su slučajne veličine.



Slika: Amplitudski spektar koji približno predstavlja spektar šuma na ulazu u prijemnik.

- Sa  $B$  je označena širina propusnog opsega filtra na ulazu u prijemnik, a sa  $U_0$  nosilac.

Posmatrajmo jednu od komponenata šuma čija je učestanost  $f_0 + f_N$ , amplitude  $\Delta U_N'$  i slučajne faze. Ona će izazvati ugaonu modulaciju nosioca. Maksimalna devijacija faze biće:

$$\Delta\Phi'_{0N} = \frac{\Delta U_N'}{U_0}$$

Na izlazu iz **faznog diskriminatora** dobiće se sinusoidalni napon učestanosti  $f_N$ , čija je amplituda:

$$\Delta U'_{N\Phi} = D_{\Phi} \frac{\Delta U_N'}{U_0}$$

Odgovarajuća srednja snaga će biti srazmjerna kvadratu amplitude, tj. snaga posmatrane komponente na izlazu faznog diskriminatora je:

$$\Delta P'_{N\Phi} = D_{\Phi P} \frac{\Delta P_N'}{P_0}$$

$\Delta P_N'$  predstavlja snagu posmatrane komponente na ulazu,  $P_0$  snagu nosioca, a  $D_{\Phi P}$  predstavlja novu konstantu srazmjere koja karakteriše efikasnost faznog diskriminatora.

U spektru šuma na ulazu **postoji i komponenta šuma čija je učestanost  $f_0-f_N$** , pa i ova komponenta na izlazu diskriminatora daje sinusoidalan napon učestanosti  $f_N$  čija je snaga:

$$\Delta P_{N\Phi}'' = D_{\Phi P} \frac{\Delta P_N''}{P_0}$$

Ove dvije komponente šuma imaju jednake amplitude, a slučajne faze, pa su im i snage jednake.

Ukupna snaga komponente šuma na izlazu, na učestanosti  $f_N$  je jednaka sumi **snaga** ove dvije komponente (sabiraju se po snazi, ne po amplitudi):

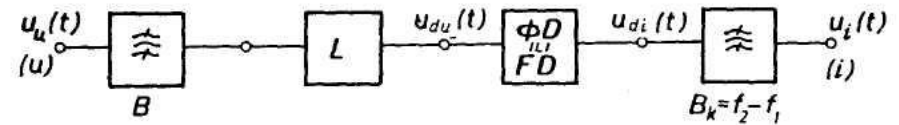
$$\Delta P_{N\Phi} = \Delta P_{N\Phi}' + \Delta P_{N\Phi}'' = 2D_{\Phi P} \frac{\Delta P_N'}{P_0}$$

Kako važi aproksimacija da je šum sastavljen od beskonačno mnogo sinusoidalnih komponenata infinitezimalnih amplituda, pri čemu se učestanosti dvije susjedne komponente u spektru razlikuju za elementarnu veličinu  $\Delta f$ , a čije su faze slučajne, onda izraz za snagu prelazi u diferencijalni oblik, pa je:

$$dP_{N\Phi} = 2D_{\Phi P} \frac{dP_N'}{P_0}$$

$dP_N'$  predstavlja raspoloživu srednju snagu slučajnog šuma na izlazu iz faznog diskriminatora u elementarnom opsegu učestanosti  $df$  u okolini učestanosti  $f_N$ , pa je:

$$dP_N' = p_N df$$



$$dP_{N\Phi} = 2D_{\Phi P} \frac{p_N}{P_0} df = D_{\Phi P} \frac{2\bar{F}kT}{P_0} df = p_{N\Phi} df$$

Spektralna gustina srednje snage šuma na izlazu je:

$$p_{N\Phi} = \frac{dP_{N\Phi}}{df} = 2D_{\Phi P} \frac{p_N}{P_0} = D_{\Phi P} \frac{2\bar{F}kT}{P_0}$$

Znači, raspodjela srednje snage šuma u spektru nije promijenila karakter i ostala je konstantna.

U prijemniku iza diskriminatora postoji filter koji propušta opseg učestanosti od  $f_1$  do  $f_2$ , pa će se na njegovom izlazu pojaviti samo one komponente šuma sa ulaza čije su učestanosti  $f_0 \pm f_N$  takve da njihova učestanost na izlazu iz diskriminatora pada u opseg filtra. Ukupna snaga slučajnog šuma na izlazu iz filtra, odnosno prijemnika, biće:

$$P_{N\Phi} = \int_{f_1}^{f_2} p_{N\Phi} df = D_{\Phi P} \frac{2\bar{F}kT}{P_0} \int_{f_1}^{f_2} df = D_{\Phi P} \frac{2\bar{F}kT}{P_0} B_k, \quad B_k = f_2 - f_1$$

# Termin 13 - Sadržaj

---

- Odnos S/N u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala
- **Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala**
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika PM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika FM signala
- Postupci poboljšanja odnosa S/N za FM prijemnik
- Odnos S/N pri prenosu multipleksnih signala



# Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala

---

---

- Razmatrajmo slučaj frekvencijski moduliranih signala. Smatrajući da na ulazu u prijemnik imamo slučajan šum čija je spektralna gustina srednje snage:

$$p_N = \overline{F}kT = \text{const.}$$

- Šum aproksimiramo sa beskonačno mnogo komponenti istih amplituda i slučajnih faza.
- Komponenta šuma na ulazu, čija je učestanost  $f_0 + f_N$  a amplituda  $\Delta U_N'$  izvršiće ugaonu modulaciju nosioca, tako da je maksimalna devijacija učestanosti:

$$\Delta f'_{0N} = \frac{\Delta U_N'}{U_0} f_N$$

- Na izlazu iz frekvencijskog diskriminatora dobiće se sinusoidalni napon učestanosti  $f_N$ , čija je amplituda:

$$\Delta U'_{NF} = D_F \frac{\Delta U_N'}{U_0} f_N = \Delta U'_{NF}(f_N)$$

**Snaga** posmatrane komponente srazmjerna je kvadratu njene amplitude:

$$\Delta P'_{NF} = \Delta P'_{NF}(f_N) = D_{FP} \frac{\Delta P'_N}{P_0} f_N^2$$

Slično je i sa komponentom šuma na  $f_0$ - $f_N$  čija je amplituda  $\Delta U_N''$ , pa se na izlazu diskriminatora dobiće se sinusoidalan napon učestanosti  $f_N$ , čija je amplituda:

$$\Delta U''_{NF} = D_F \frac{\Delta U''_N}{U_0} f_N = \Delta U''_{NF}(f_N)$$

a snaga:

$$\Delta P''_{NF} = \Delta P''_{NF}(f_N) = D_{FP} \frac{\Delta P''_N}{P_0} f_N^2$$

Pošto je  $\Delta U_N' = \Delta U_N''$ , to će i snage ovih komponenata na izlazu biti jednake, pa je srednja snaga rezultatne komponente, čija je učestanost  $f_N$  na izlazu:

$$\Delta P_{NF} = \Delta P'_{NF} + \Delta P''_{NF} = 2\Delta P'_{NF}(f_N) = 2D_{FP} \frac{\Delta P'_N}{P_0} f_N^2$$

Ako se sa diskretnog spektra šuma pređe na kontinualan (šum se predstavi sa beskonačno mnogo sinusoidalnih komponenti infinitezimalnih amplituda i slučajnih faza, pri čemu se učestanosti dvije susjedne komponente razlikuju za  $df$ ), diferencijalni oblik izraza za snagu je:

$$dP_{NF} = 2D_{FP} \frac{dP'_N}{P_0} f_N^2$$
$$dP'_N = p_N df = \bar{F}kTdf$$

$f_N$  predstavlja ***bilo koju učestanost*** iz opsega učestanosti od  $f_1$  do  $f_2$ , to se indeks  $N$  može izostaviti. Izraz za spektralnu gustinu snage šuma na izlazu iz prijemnika je oblika:

$$p_{NF} = \frac{dP_{NF}}{df} = D_{FP} \frac{2\bar{F}kT}{P_0} f^2 = p_{NF}(f)$$

Spektralna gustina srednje snage šuma na izlazu iz frekvencijskog diskriminatora ***nije konstantna*** već zavisi od učestanosti.

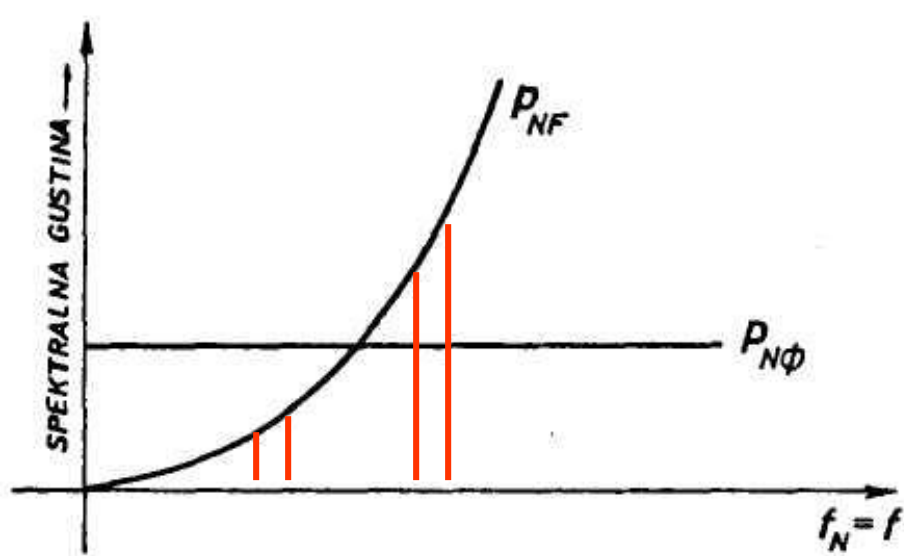
Iza diskriminatora postoji filter koji propušta komponente iz opsega  $B_k=f_2-f_1$ , pa se na izlazu iz filtra (prijemnika) pojavljuju samo one komponente šuma čije su učestanosti  $f_0+f_N$  takve da njihova učestanost na izlazu iz diskriminatora pada u opseg filtra. Ukupna snaga slučajnog šuma na izlazu iz filtra, odnosno prijemnika FM signala, biće:

$$P_{N\Phi} = \int_{f_1}^{f_2} p_{NF} df = D_{\Phi P} \frac{2\bar{F}kT}{P_0} \int_{f_1}^{f_2} f^2 df$$

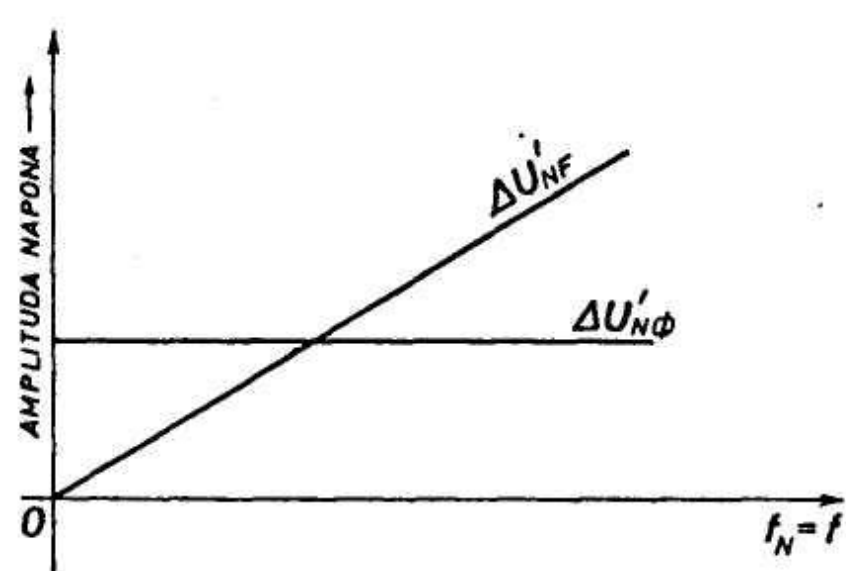
✓ Zaključak:

Poređenje između fazne i frekvencijske modulacije u pogledu uticaja šuma:

- Spektralna gustina srednje snage šuma na izlazu iz diskriminatora fazno moduliranih signala ostaje i dalje konstantna.
- Spektralna gustina srednje snage šuma na izlazu iz diskriminatora frekvencijski moduliranih signala nije konstantna, već zavisi od kvadrata učestanosti.



Slika: Spektralna gustina raspoložive srednje snage šuma na izlazu iz prijemnika PM i FM signala



Slika: Zavisnost amplitude napona komponente šuma na izlazu iz prijemnika PM i FM signala

- Ako signal ima spektar koji se nalazi u opsegu učestanosti  $B_k$ , u slučaju fazne modulacije, šum na izlazu će uvijek biti isti, bez obzira gdje se na skali učestanosti nalazi ovaj opseg. U sistemima sa frekvencijskom modulacijom, što je taj opseg više pomjeren ka višim učestanostima, šum na izlazu iz prijemnika biće veći.
- Ova činjenica ima poseban značaj u sistemima u kojima se multipleksni signal, obrazovan na bazi frekvencijske raspodjele kanala, prenosi sistemom fazne, odnosno frekvencijske modulacije.

# Termin 13 - Sadržaj

---

- Odnos  $S/N$  u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala
- **Odnos  $S/N$  na izlazu iz prijemnika PM signala**
- Odnos  $S/N$  na izlazu iz prijemnika FM signala
- Postupci poboljšanja odnosa  $S/N$  za FM prijemnik
- Odnos  $S/N$  pri prenosu multipleksnih signala

# Odnos S/N na izlazu iz prijemnika PM signala

---

- Pretpostavimo da je nosilac u predajniku fazno modulisan test tonom:

$$u_m(t) = U_m \cos \omega_m t$$

- Maksimalna devijacija faze je:

$$\Delta\Phi_{0S} = k_\varphi U_m$$

- Na izlazu iz faznog diskriminatora dobiće se sinusoidalni test ton čija je amplituda:

$$U_{S\Phi} = D_\Phi \Delta\Phi_{0S}$$

- Njegova srednja snaga biće:

$$P_{S\Phi} = D_{\Phi P} (\Delta\Phi_{0S})^2 = P_{Si}$$

- Pošto izlazni filter ne unosi nikakvo slabljenje, to će ova snaga biti ista i na izlazu iz prijemnika. Odnos signal/šum na izlazu prijemnika fazno modulisanih signala je:

$$\frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{P_{S\Phi}}{P_{N\Phi}} = \frac{(\Delta\Phi_{0S})^2 P_0}{2FkTB_k} = \left( \frac{S}{N} \right)_i, \quad B_k = f_2 - f_1$$

- Na izlazu iz prijemnika odnos signal/šum će biti utoliko veći ukoliko je maksimalna devijacija faze  $\Delta\Phi_{0S}$ , odnosno indeks modulacije veći.
- Međutim, treba imati na umu da se povećanjem indeksa modulacije širi spektar fazno modulisanog signala, pa i sistem prenosa mora da ima širi propusni opseg.



# Termin 13 - Sadržaj

---

- Odnos  $S/N$  u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala
- Odnos  $S/N$  na izlazu iz prijemnika PM signala
- **Odnos  $S/N$  na izlazu iz prijemnika FM signala**
- Postupci poboljšanja odnosa  $S/N$  za FM prijemnik
- Odnos  $S/N$  pri prenosu multipleksnih signala

# Odnos S/N na izlazu iz prijemnika FM signala

- Neka je nosilac u predajniku frekvencijski modulisan sinusoidalnim test tonom:

$$u_m(t) = U_m \cos \omega_m t$$

- Maksimalna devijacija učestanosti je:

$$\Delta f_{0S} = k_f U_m$$

- Na izlazu iz frekvencijskog diskriminatora dobiće se sinusoidalan test ton čija je amplituda:

$$U_{SF} = D_F \Delta f_{0S}$$

- Njegova srednja snaga biće:

$$P_{SF} = D_{FP} (\Delta f_{0S})^2 = P_{Si}$$

- Pošto izlazni filter ne unosi nikakvo slabljenje, to će ova snaga biti ista i na izlazu iz prijemnika. **Odnos signal/šum na izlazu prijemnika frekvencijski modulisanih signala je:**

$$\frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{P_{SF}}{P_{NF}} = \frac{(\Delta f_{0S})^2 P_0}{2FkT \int_{f_1}^{f_2} f^2 df} = \left( \frac{S}{N} \right)_i$$

- Povećanjem devijacije  $\Delta f_{0s}$  može da se poboljša odnos signal/šum. Međutim, povećanje devijacije znači veći propusni opseg B. Dakle, i u slučaju frekvencijske modulacije, odnos signal/šum može da se poveća na račun povećanja širine opsega transmisionog sistema.
- To povećanje ne može da ide do proizvoljno velikih granica, jer se proširenjem propusnog opsega sistema povećava i šum. Očigledno je da će u jednom trenutku snaga šuma dostići snagu nosioca i, nastavljajući dalje sa povećanjem devijacije, odnosno opsega, ona postaje čak i veća od  $P_0$ .

# Prag prijema kod FM signala

---

Srednja snaga šuma na ulazu u limiter je:

$$P_{NR} = \overline{F}kTB$$

Odnos signal/šum izražen preko snage nosioca i ukupne snage šuma koja ulazi u prijemnik je:

$$\frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{(\Delta f_{0S})^2 B}{2 \int_{f_1}^{f_2} f^2 df} \cdot \frac{P_0}{P_{NR}} \quad / \quad 10 \log$$

$$10 \log \frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = 10 \log \frac{(\Delta f_{0S})^2 B}{2 \int_{f_1}^{f_2} f^2 df} + 10 \log \frac{P_0}{P_{NR}}$$

$$a_{Ni} = \nu + a_{N0}, \quad \nu = 10 \log \frac{(\Delta f_{0S})^2 B}{2 \int_{f_1}^{f_2} f^2 df}$$

$a_{Ni}$  - odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika izražen u dB;

$a_{N0}$  - odnos snage nosioca i snage šuma koji ulazi u prijemnik, izražen u dB (odnos nosilac/šum);

$\nu$  - faktor poboljšanja odnosa signal/šum

$B$  – Širina spektra FM signala na ulazu u limiter, u skladu sa Carson-ovim obrascem

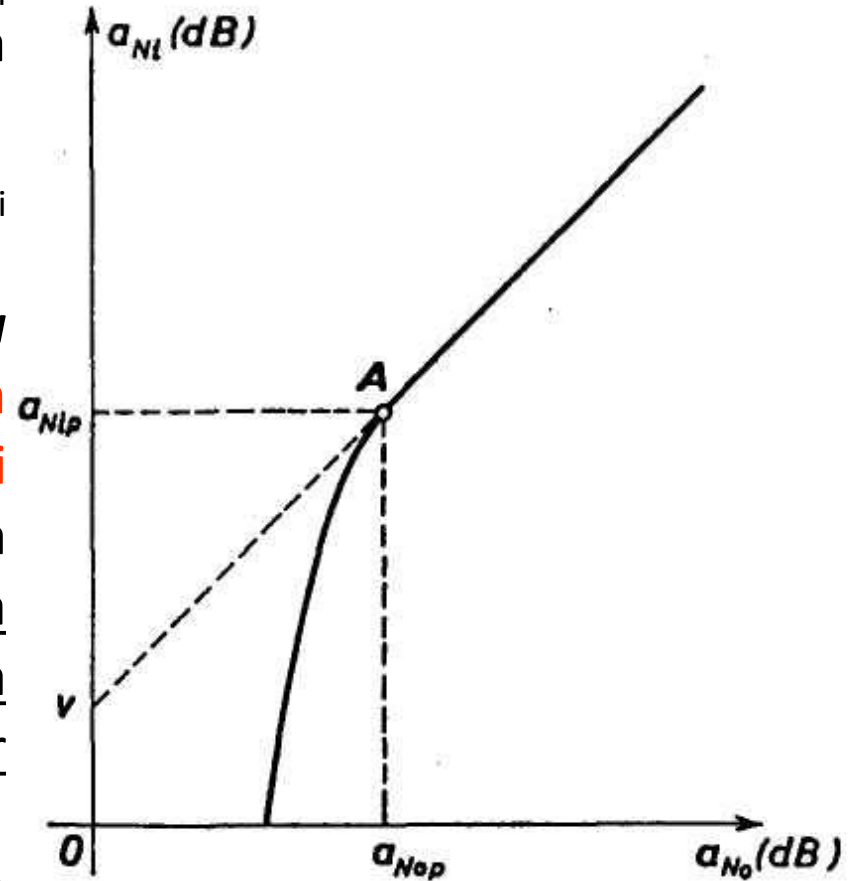
Teorijski, ova funkcija bi bila prava linija (isprekidana).

Puno izvučena linija pokazuje zavisnost  $a_{Ni}$  od  $a_{No}$  i ona se jednim dijelom poklapa sa dobijenim izrazom.

Za  $a_{No} < a_{NoP}$  odnos signal/šum na izlazu  $a_{Ni}$  počinje naglo da se kvari.

Vrijednost  $a_{NoP}$  definiše **prag prijema** prijemnika FM signala. **Prag prijema predstavlja minimalni odnos S/N pri kojima veza funkcioniše.** On se definiše na razne načine. Smatramo da je tačka A sa slike definisana tako da je u njoj vršna vrijednost napona šuma na ulazu u limiter jednaka amplitudi nosioca.

Pošto je riječ o vršnoj vrijednosti, mora da se kaže i u kom procentu vremena  $\varepsilon$  ta vrijednost može da bude prevaziđena. Obično se uzima da je  $\varepsilon=0,005\%$  posmatranog vremenskog intervala.



*Slika: Zavisnost odnosa S/N na izlazu iz FM prijemnika od odnosa nosilac/N na njegovom ulazu. Tačka A definiše prag prijema*

- Na ulaz limitera dolazi uskopojasni šum koji slijedi Rayleigh-evu raspodjelu amplituda anvelope šuma.
- Na osnovu ove poznate statistike, dolazi se do rezultata da je **snaga nosioca na ulazu u prijemnik, na pragu prijema** jednaka:

$$P_0 \approx 10P_{NR} = 10\overline{F}kTB = P_{0p}$$

### ✓ Zaključak:

- Kada srednja snaga nosioca postane jednaka desetstrukoj snazi šuma na ulazu u limiter, odnosno kada odnos nosilac/šum postane jednak 10 dB, odnos signal/šum  $a_{Ni}$  počće naglo da opada. Vrijednost snage nosioca  $P_0=P_{0p}$  naziva se **prag prijema**.
- Kada nosilac dostigne prag ili siđe ispod njega, šum na izlazu iz prijemnika naglo poraste i veza se **prekida**.

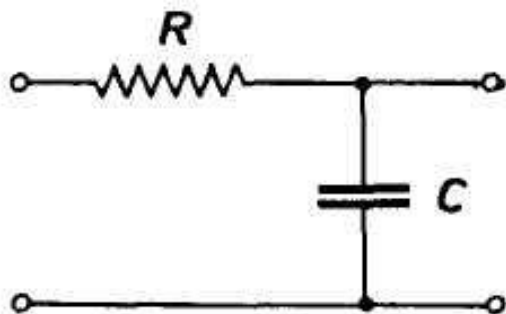
# Termin 13 - Sadržaj

---

- Odnos S/N u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika PM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika FM signala
- **Postupci poboljšanja odnosa S/N za FM prijemnik**
- Odnos S/N pri prenosu multipleksnih signala

# Postupci poboljšanje odnosa S/N za FM prijemnik

- Spektralna gustina srednje snage slučajnog šuma na izlazu iz FM prijemnika srazmjerna je  $f^2$ ,  $f_1 < f < f_2$ . Znači da, kako se ide ka višim učestanostima u spektru modulišućeg signala, šum postaje sve veći.
- U FM sistemima u cilju poboljšanja odnosa S/N koriste se sklopovi u predajniku i prijemnici koji se nazivju **preemfazis** i **deemfazis**. Oni se koriste kako bi se korigovala zavisnost spektralne gustine srednje snage šuma od učestanosti.
- Na prijemu, iza diskriminatora se postavlja specijalan sklop - **deemfazis**.
- Ovo kolo ima ulogu da spektralnu gustinu snage šuma učini nezavisnom od učestanosti, tj. konstantnom, ili približno konstantnom na opsegu od interesa



Slika: Kolo deemfazisa za muzički signal

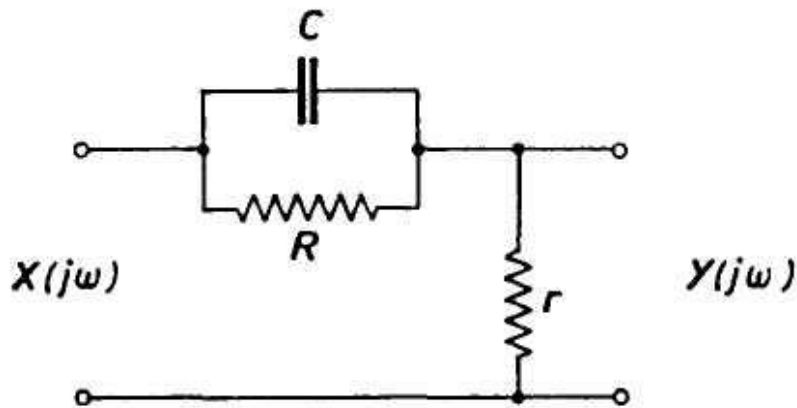
- To se postiže funkcijom prenosa koja **unosí veće slabljenje za komponente na višim učestanostima**.



- Kolo **preemfazisa** se postavlja **na ulaz u FM modulator**.
- Njegov zadatak je da anulira efekat deemfazisa na signal, tj. **kolo preemfazisa mora biti komplementarno kolu demfazisa**.

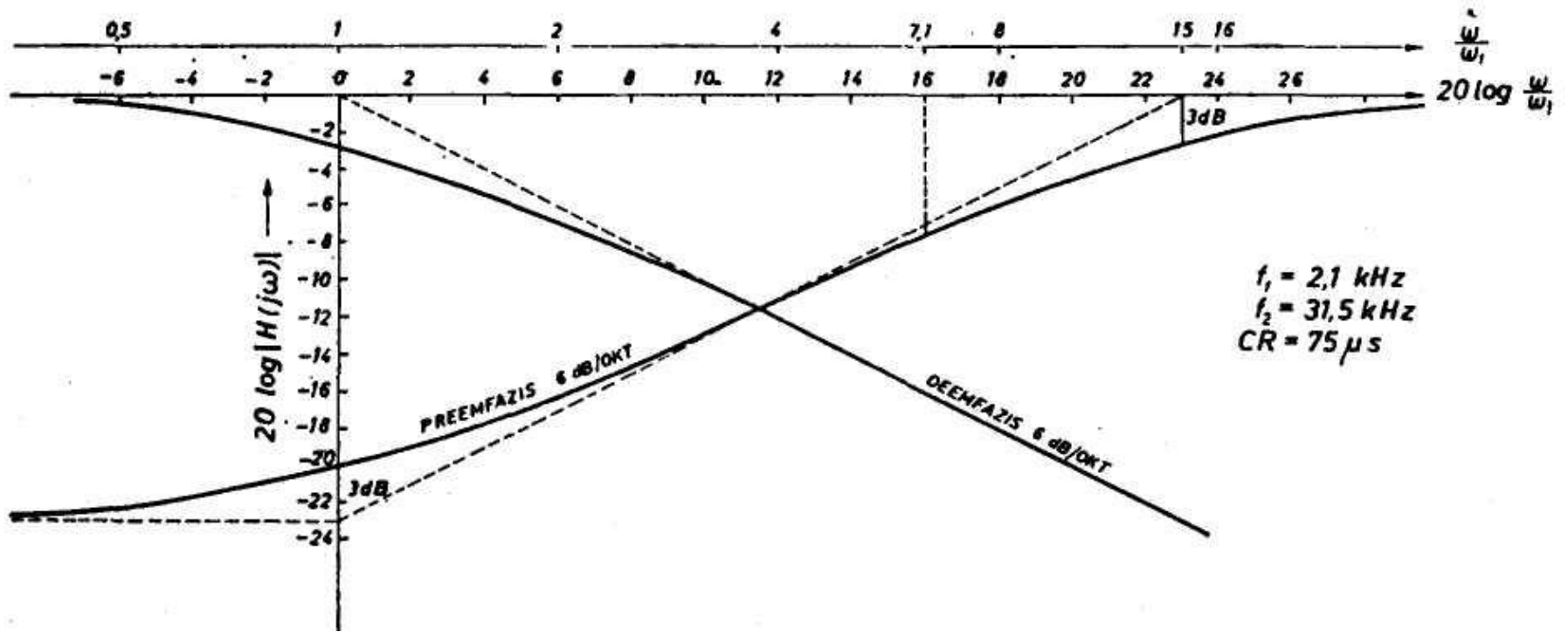
$$H_p(j\omega) \cdot H_d(j\omega) = 1$$

- Signal se kroz kolo preemfazisa modifikuje tako da se komponente na nižim učestanostima više slabe nego komponente na višim učestanostima.

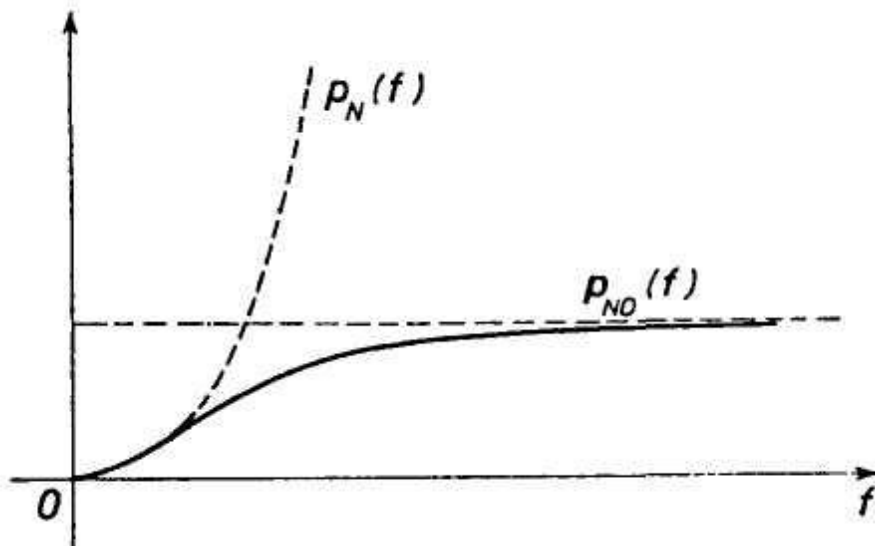


*Slika: Kolo preemfazisa koje odgovara kolu deemfazisa sa slike*

- Kada signal prođe kroz preemfazis i deemfazis, ima isti raspored spektralnih komponenti, tj. ostaje neizmijenjen.
- Šum prolazi samo kroz deemfazis, pa se spektralna gustina srednje snage šuma mijenja tako da komponente na višim učestanostima više slabe.



Slika: Karakteristika preemfazisa i deemfazisa sa slike



Slika: Spektralna gustina srednje snage šuma  $p_N(f)$  na ulazu u kolo deemfazisa i odgovarajuća spektralna gustina  $p_{NF}(f)$  na njegovom izlazu

- Poboljšanje unijeto kolom deemfazisa definiše se kao količnik ukupne snage šuma na izlazu iz prijemnika kad nema deemfazisa i snage šuma kada postoji deemfazis.

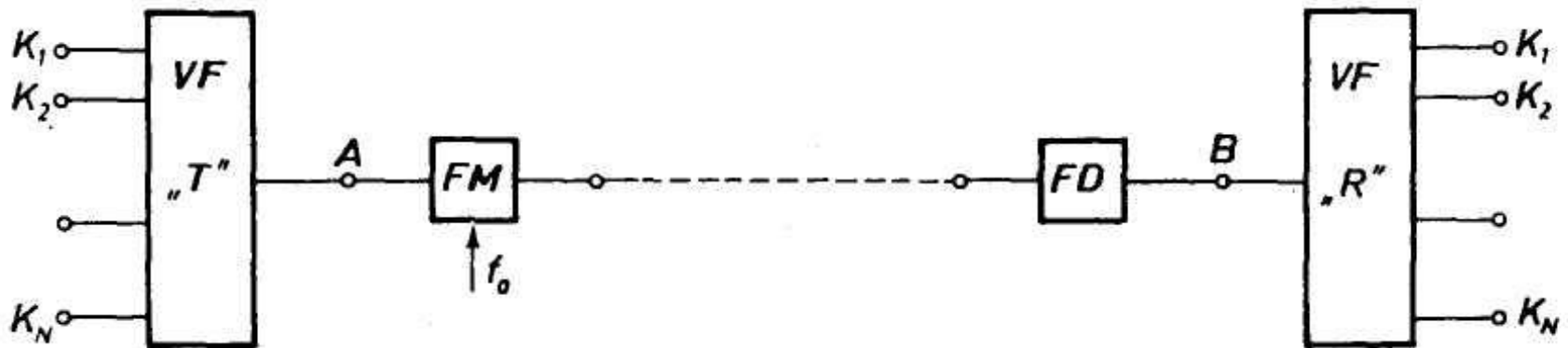
Pri prenosu muzičkog signala:  $f_{\max} = 15$  kHz,  $f_1 = 2,1$  kHz poboljšanje iznosi  $\theta = 20$ , tj. 13dB.

# Termin 13 - Sadržaj

---

- Odnos S/N u sistemima prenosa sa ugaonom modulacijom
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika PM signala
- Srednja snaga šuma na izlazu iz prijemnika FM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika PM signala
- Odnos S/N na izlazu iz prijemnika FM signala
- Postupci poboljšanja odnosa S/N za FM prijemnik
- **Odnos S/N pri prenosu multipleksnih signala**

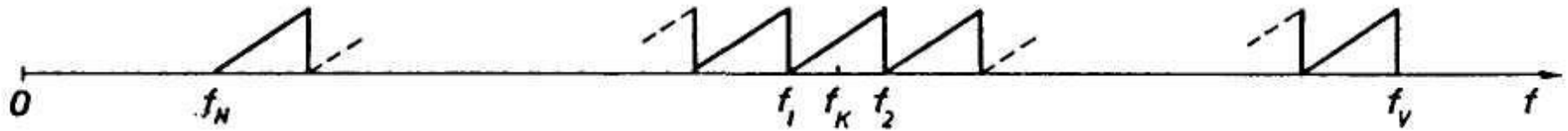
# ODNOS S/N PRI PRENOSU MULTIPLEKSNIH SIGNALA



- Multipleksni signal frekvencijski moduliše nosilac. Sa VF „T“ je označen predajnik u kome se obrazuje multipleksni signal.
- Neka je riječ o prenosu govora, onda se na svaki od  $N$  ulaza ( $K_1, \dots, K_N$ ) dovodi telefonski signal čiji se spektar nalazi u opsegu učestanosti od 300 Hz do 3400 Hz. Formira se multipleksni signal čiji spektar (tačka A) zauzima opseg učestanosti  $B=N \cdot 4$  kHz. Ovaj signal pobuđuje frekvencijski modulator.
- Na izlazu iz diskriminatora FD (tačka B) dobija se multipleksni signal. U prijemniku VF „R“ filtrima i sinhronom demodulacijom svaki od spektara se ponovo vraća u svoj prirodni položaj, pa se na izlazima  $K_1, \dots, K_N$  dobijaju odgovarajući telefonski signali.

Pošto se svaki od N signala prenosi kroz svoj kanal, nezavisan od ostalih, odnos signal/šum na izlazima  $K_1, \dots, K_N$  može da se računa za svaki od kanala posebno, kao da samo taj kanal postoji u sistemu.

Posmatrajmo jedan od kanala koji zauzima opseg učestanosti od  $f_1$  do  $f_2$ :



Slika: Šematski prikazani spektri signala u pojedinim kanalima multipleksa sa frekvencijskom raspodjelom kanala

$$A_{Ni} = \frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{(\Delta f_{0S})^2}{\int_{f_1}^{f_2} f^2 df} \cdot \frac{P_0}{2FkT}, \quad \int_{f_1}^{f_2} f^2 df \approx f_K^2 \int_{f_1}^{f_2} df = f_K^2 (f_2 - f_1) = f_K^2 B_K$$

$$A_{NiK} = \frac{(\Delta f_{0Seff})^2}{f_K^2} \cdot \frac{P_0}{FkTB_K}$$

- Odnos S/N na izlazu iz K-tog kanala potpuno definisan karakteristikama tog kanala, i ne zavisi od onoga šta je u drugim kanalima;
- Odnos S/N je manji što je položaj kanala  $f_K$  u osnovnom opsegu učestanosti viši.