



Osnove telekomunikacija

Doc. dr Enis Kočan (enisk@ucg.ac.me)

Saradnici: Dr Uglješa Urošević (ugljesa@ucg.ac.me)

MSc Slavica Tomović (slavicat@ucg.ac.me)

SADRŽAJ KURSA

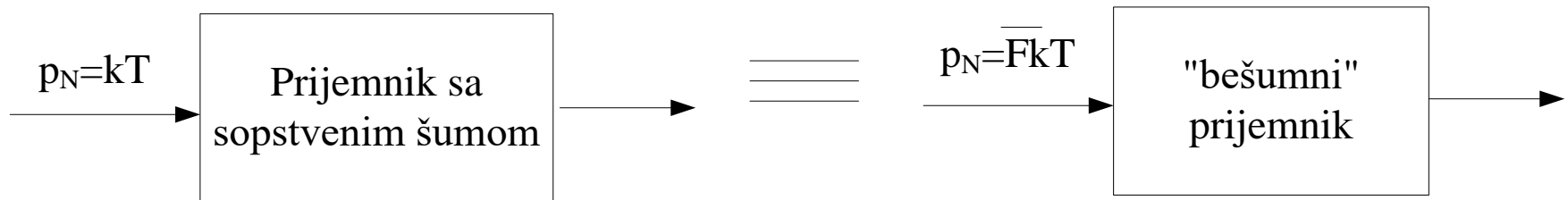
1. Uvod. Opšti model telekomunikacionog sistema. Vrste prenosa signala.
2. Medijumi za prenos. Pojam modulacije.
3. Multipleksiranje. Referentni model za povezivanje otvorenih sistema (OSI i TCP/IP)
4. Harmonijska analiza periodičnih signala
5. Analiza aperiodičnih signala i slučajnih signala
6. Prenos 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 12 - Sadržaj

- **Uticaj šuma na prenos analognih signala**
- Odnos S/N pri prenosu poruka KAM signalom
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-2BO signalom
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-1BO signalom
- Odnos S/N kod prijemnika sa detektorom anvelope

Uticaj šuma na prenos analognih signala

- Uticaj šuma koji se superponira signalu u analognim sistemima prenosa definiše se parametrom **odnos signal-šum** (S/N). On predstavlja odnos srednje snage signala i srednje snage šuma na izlazu prijemnika.
- Odgovarajućom strukturom prijemnika može se uticati na ovaj odnos, koji treba biti što je moguće veći.
- Pretpostavimo da prijemnik ima faktor šuma \bar{F} i da na ulazu prijemnika postoji aditivni bijeli Gausov šum. Šum prijemnika se može ekvivalentirati šumom na ulazu, tako da se prijemnik može smatrati "bešumnim".



$\bar{F} > 1$ Faktor šuma koji ekvivalentira ukupni šum sistema.

Sistemi modulacije i slučajan šum.

Odnos signal/šum

- Prisustvo šuma u telekomunikacionim sistemima je neizbježno, i uvijek degradira kvalitet ostvarene veze.
- Svaki sklop, u pogledu slučajnog šuma može da se okarakteriše bilo **efektivnom temperaturom šuma na ulazu**, bilo **faktorom šuma**. Na taj način, sklop postaje „bešuman“, ali se na njegovom ulazu nalazi **ekvivalentan izvor šuma**.
- Koliko se u nekom telekomunikacionom sklopu pojača signal, toliko se pojača i šum. Naredni sklop dodaje svoj šum šumu prethodnog sklopa, pa pojačati sada signal znači opet pojačati i šum, itd.
- Jasno je da za jedan telekomunikacioni sistem na njegovom izlazu, u principu nije važno znati koliki je intenzitet samog signala ili samog šuma. Bitan je njihov **odnos**, jer se on tokom prenosa od predajnika ka prijemniku degradira.

- Odnos signal/šum (S/N) predstavlja numerički kriterijum kojim se ocjenjuju performanse sistema u pogledu uticaja šuma na prenos signala.
- Uticaj šuma u raznim sistemima prenosa nije isti. Neki su više, a neki manje imuni na šum.
 - Potrebno je proučiti kako slučajan šum utiče na prenos signala pri različitim postupcima njihove obrade.
- Slučajan šum postoji na ulazu u predajnik i u samom predajniku, zatim na ulazu u prijemnik i u samom prijemniku. Nas interesuje da odredimo odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika $(S/N)_i$.
- Odnos $(S/N)_i$ zavisi od odnosa signal/šum na ulazu u prijemnik $(S/N)_u$, kao i od primijenjenog postupka modulacije i demodulacije.
- Definišimo šta podrazumijevamo pod signalom na izlazu iz prijemnika, a šta na njegovom ulazu:
 - signal na izlazu biće preneseni signal
 - signal na ulazu u prijemnik je modulirani signal, a kako u nekim slučajevima samo dio spektra signala sadrži prenošenu poruku, od slučaja do slučaja je potrebno precizirati šta se podrazumijeva pod signalom na ulazu u prijemnik.

- U odnosu S/N , pod šumom se podrazumijeva raspoloživa srednja snaga šuma P_n , odnosno kvadrat efektivne vrijednosti napona slučajnog šuma. Kad je u pitanju signal, on je takođe slučajna veličina, ali za razne vrste prenošenih poruka različite su i veličine koje ga najbolje opisuju. **Zato se pod signalom S u izrazu za odnos S/N na izlazu iz prijemnika uvijek podrazumijeva snaga test signala.** Ovako definisan odnos S/N , pomoću test signala, mora da se dovede u vezu sa prenosom realnih poruka, što se postiže statističkim ispitivanjima.
- Kada je riječ o mjerenju odnosa S/N , srednja snaga šuma na izlazu iz sistema se lako mjeri, ali pri mjerenju srednje snage signala izmjeriće se suma srednjih snaga signala i šuma (pošto se šum ne može izdvojiti). Pošto je šum obično znatno manji od signala, izmjerena snaga se može smatrati snagom signala.

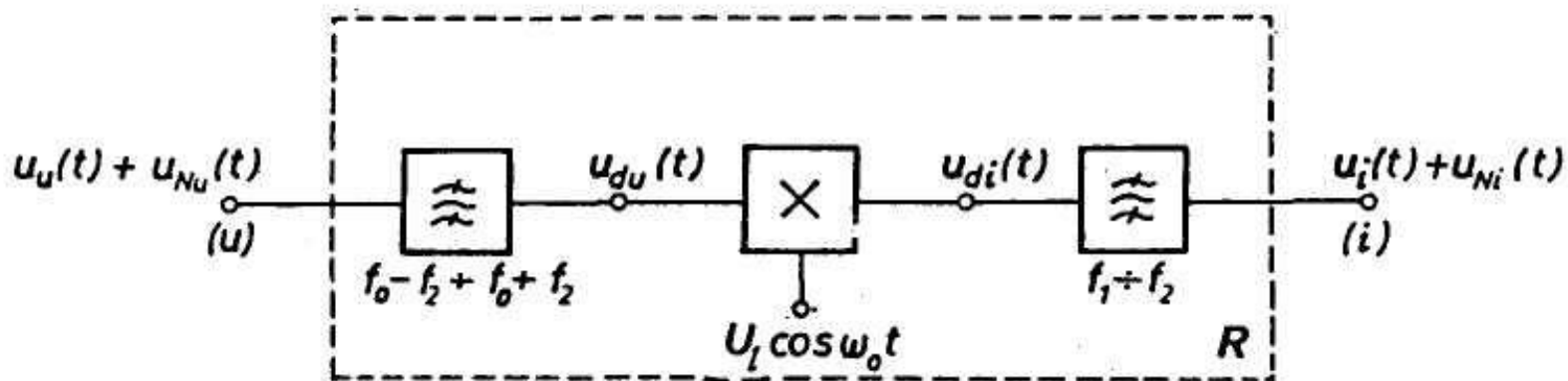
Termin 12 - Sadržaj

- Uticaj šuma na prenos analognih signala
- **Odnos S/N pri prenosu poruka KAM signalom**
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-2BO signalom
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-1BO signalom
- Odnos S/N kod prijemnika sa detektorom anvelope

Odnos S/N pri prenosu poruka KAM signalom

KAM signal sa sinhronom demodulacijom

- Blok šema prijemnika je na slici.

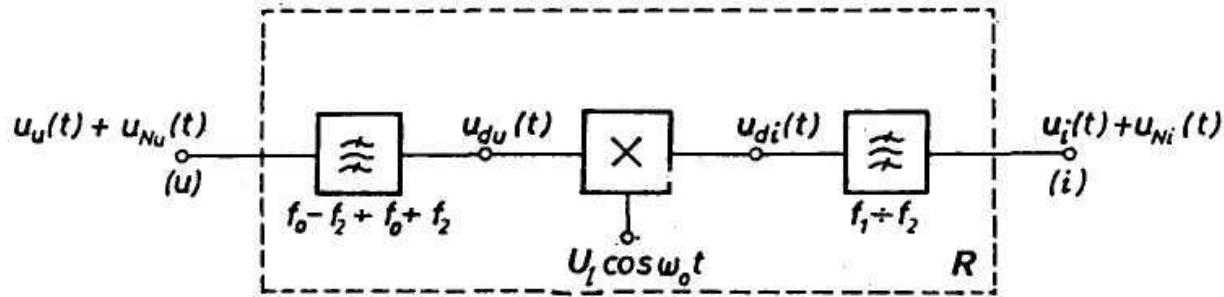


- Na ulazu u prijemnik postavljen je filter propusnik opsega učestanosti. Ako se spektar prenošenog signala nalazi u opsegu učestanosti od f_1 do f_2 , propusni opseg filtra je $f_0 - f_2$ do $f_0 + f_2$, f_0 je učestanost nosioca.

- Pored signala $u_u(t)$ na ulazu u prijemnik postoji i slučajan šum $n(t)$. On potiče od spoljnjeg izvora šuma i sopstvenog šuma prijemnika. Oba ova šuma mogu da se okarakterišu srednjim faktorom šuma \overline{F} . Spektralna gustina srednje snage ukupnog šuma na ulazu u prijemnik je:

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

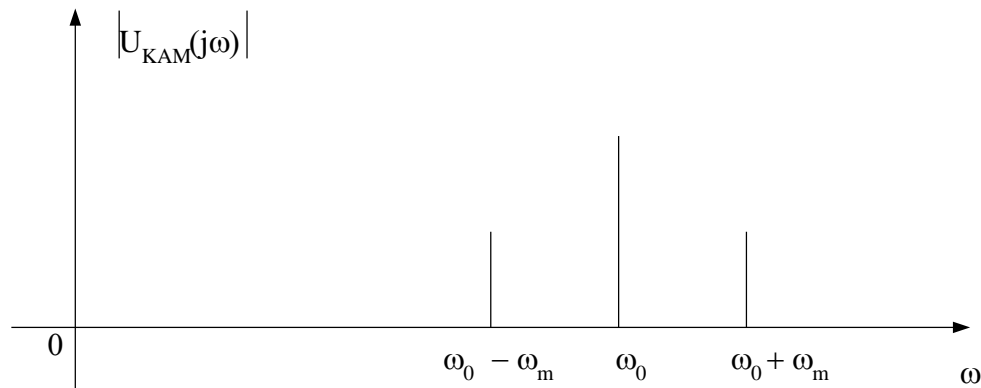
- Ukupan šum sveli smo na ulaz, pa cio sistem do izlaza iz prijemnika smatramo „bešumnim“.



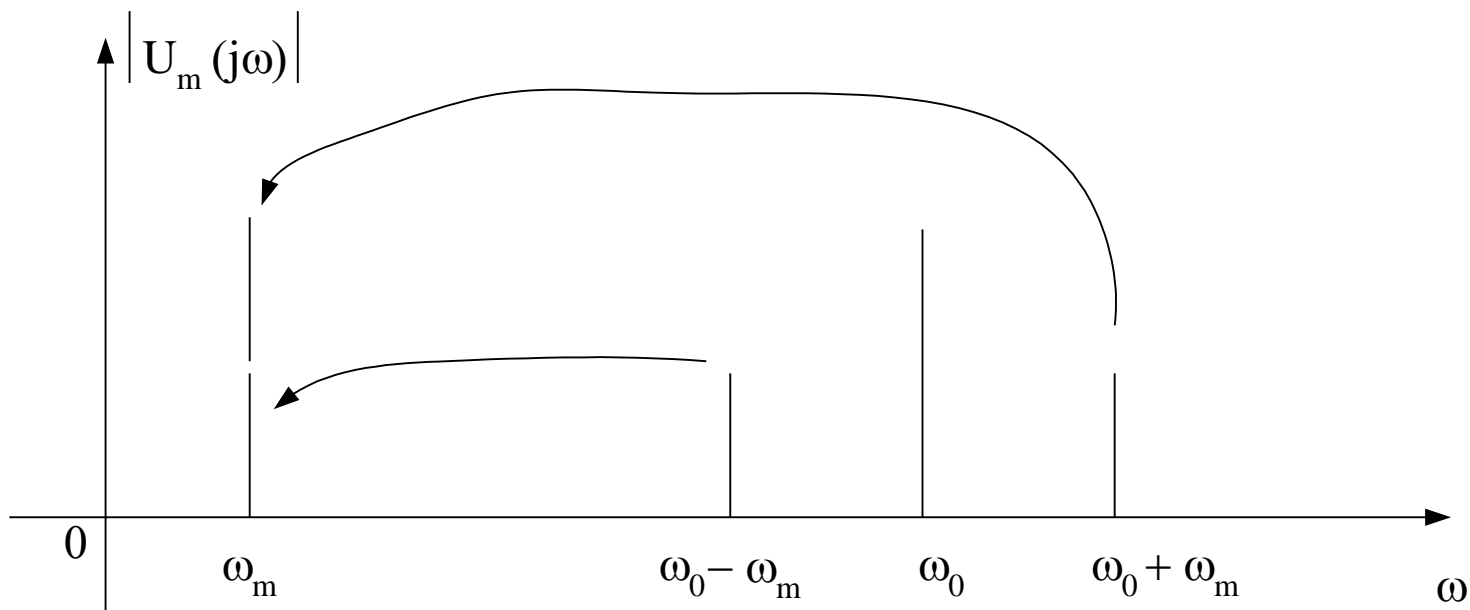
- Posmatrajmo najprije šta se dešava sa signalom, prilikom prolaska kroz prijemnik. Posmatrajmo KAM signal nastao modulacijom nosioca na učestanosti ω_0 sinusoidalnim tonom:

$$u_m(t) = U_m \cos \omega_m t, \quad \omega_1 \leq \omega_m \leq \omega_2$$

- Spektar tako dobijenog KAM signala je prikazan na slici:



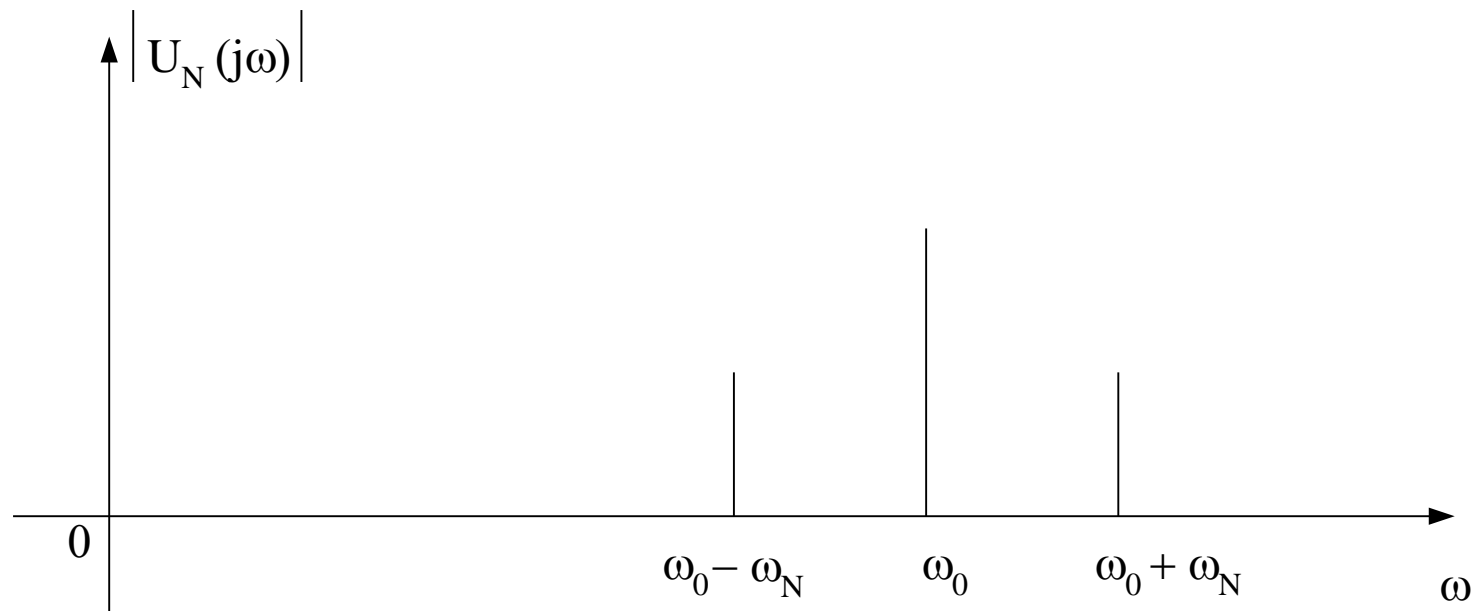
- U prijemniku se nalazi produktni modulator. On će spektar ulaznog signala translirati za učestanost nosica lijevo i desno. Izlazni filter će eliminirati spektar oko $2\omega_0$, tako da se na izlazu iz sistema i gornji i donji bočni opseg naći na učestanosti ω_m :



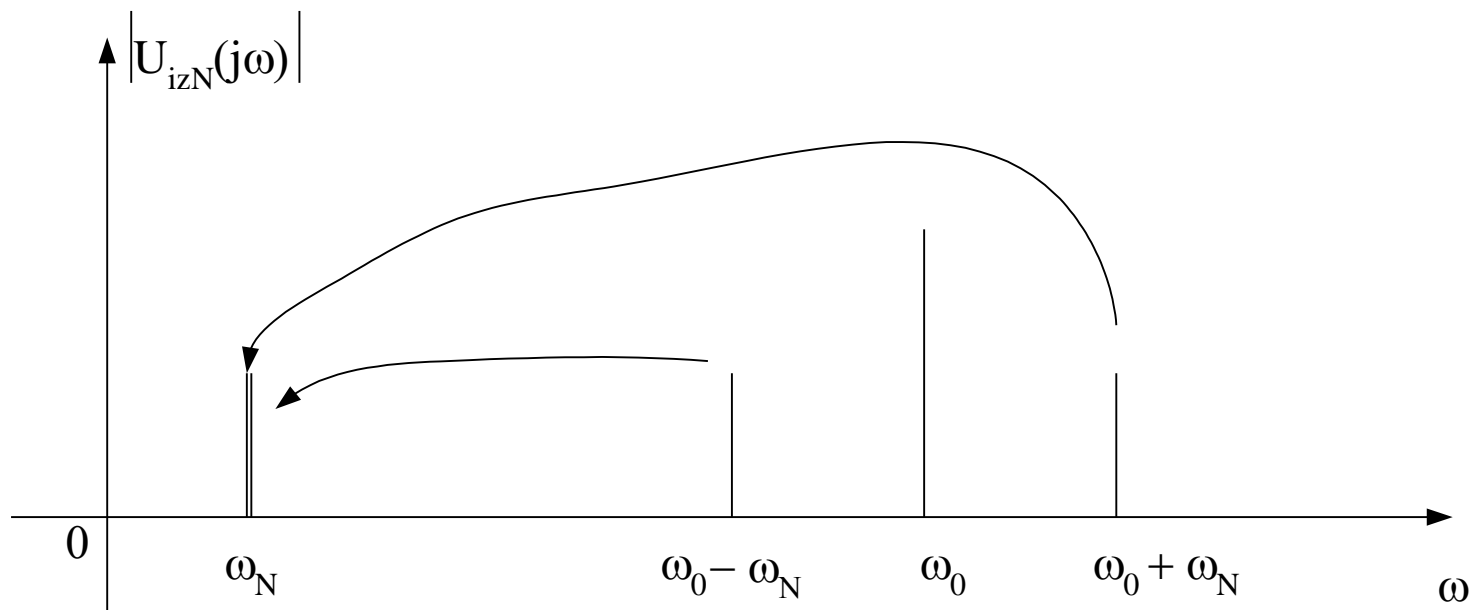
- Ove dvije komponente signala na izlazu iz sistema potiču od istog modulišućeg signala (komponente iz gornjeg i donjeg bočnog opsega KAM signala) pa su u fazi, a to znači da se u vremenskom domenu mogu sabrati. To znači da je amplituda signala na izlazu iz prijemnika dvostruko veća od amplitude jedne bočne komponente KAM signala, pa je:

$$P_{si} = 4D_p P_{Su1} = 2D_p P_m$$

- Šta se dešava sa šumom?
- Posmatrajmo dvije komponente šuma na ulazu u prijemnik na učestanosti $\omega_0 + \omega_N$ i $\omega_0 - \omega_N$. Ove dvije komponente su iste amplitude, ali slučajne (dakle različite) faze.



- Na izlazu iz prijemnog filtra ove dvije komponente šuma će se pojaviti na istoj učestanosti.



- Za razliku od signala ove dvije komponente su slučajnih i nekorelisanih faza, a to znači da se njihove **snage na izlazu mogu sabrati**. Snaga zbira dvije nekorelisane komponente je jednaka zbiru snaga pojedinih komponenti, pa je:

$$dP_{Ni} = 2D_p dP_{Nul} = 2D_p \cdot p_N df = 2D_p \overline{F} kT df$$

- Ukupan šum na izlazu iz prijemnika se dobija integraljenjem u granicama od f_1 do f_2 :

$$P_{Ni} = \int_{f_1}^{f_2} dP_{Ni} = 2D_p \int_{f_1}^{f_2} p_N df = 2D_p \overline{FkT}(f_2 - f_1) = 2D_p \overline{FkTB}$$

- Konačno je traženi odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = \frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{4D_p P_{su1}}{2D_p \overline{FkTB}} = \frac{P_m}{\overline{FkTB}}$$

- Traženi odnos na ulazu je:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_u = \frac{P_{Su}}{P_{Nu}} = \frac{P_m}{2\overline{FkTB}} = \frac{1}{2} \left(\frac{S}{N}\right)_i$$

- Kao što se vidi, za slučaj prenosa signalom KAM tipa, odnos S/N na izlazu iz prijemnika je 2 puta veći od odnosa S/N na ulazu u prijemnik.

Termin 12 - Sadržaj

- Uticaj šuma na prenos analognih signala
- Odnos S/N pri prenosu poruka KAM signalom
- **Odnos S/N pri prenosu poruka AM-2BO signalom**
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-1BO signalom
- Odnos S/N kod prijemnika sa detektorom anvelope

Odnos S/N pri prenosu poruke AM-2BO signalom

- Ovaj slučaj razlikuje se od prenosa signalom KAM tipa jedino po tome što u izrazu za signal tipa AM-2BO ne postoji nosilac.
- Izraz za napon na izlazu demodulatora biće isti kao i izraz za KAM signal, samo u njemu neće postojati prvi član, $U_0 \cos^2 \omega_0 t$, ali on nema nikakav uticaj na snagu korisnog signala.

$$P_{Su} = P_m = 2P_{m1}$$

$$P_{Si} = 4D_p P_{m1} = 2D_p P_{Su}$$

- Pošto su u pitanju isti filtri, analiza koja se odnosi na šum je ista, pa je i u slučaju AM-2BO modulacije odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika isti kao i za KAM signal, tj.:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{i_{AM-2BO}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{i_{KAM}} ; \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{u_{AM-2BO}} = \left(\frac{S}{N}\right)_{u_{KAM}}$$

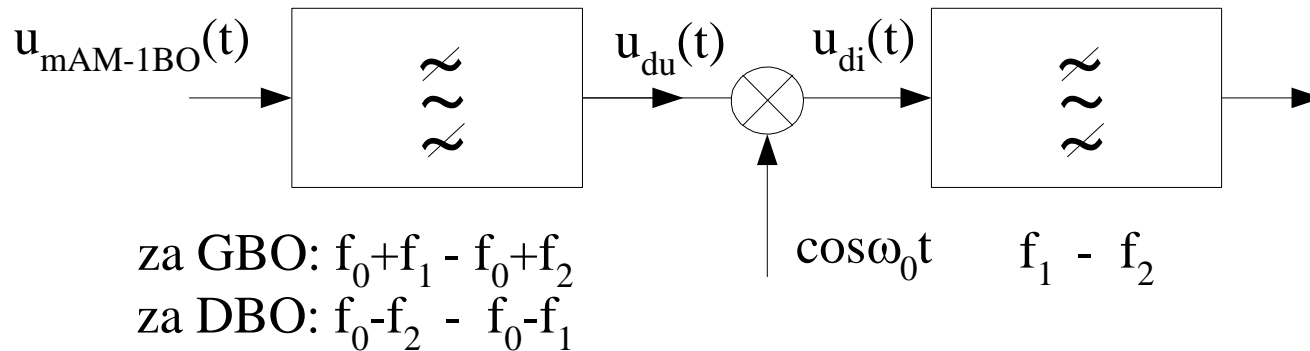
$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = 2\left(\frac{S}{N}\right)_u$$

Termin 12 - Sadržaj

- Uticaj šuma na prenos analognih signala
- Odnos S/N pri prenosu poruka KAM signalom
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-2BO signalom
- **Odnos S/N pri prenosu poruka AM-1BO signalom**
- Odnos S/N kod prijemnika sa detektorom anvelope

Odnos S/N pri prenosu poruke AM-1BO signalom

- Pri prenosu poruka AM signalom koji ima samo jedan bočni opseg, u prijemu se koristi sinhrona demodulacija. Blok-šema prijemnika je data na slici.



- Pretpostavimo da je modulišuci signal oblika sinusoidalnog test tona, i neka se prenosi viši bočni opseg, signal na ulazu u demodulator će biti oblika:

$$u_{du}(t) \propto \frac{1}{2} U_m \cos(\omega_0 + \omega_m)t$$

a na izlazu iz izlaznog filtra oblika:

$$u_i(t) \propto \frac{1}{2} \frac{1}{2} U_m U_l \cos \omega_m t$$

- Snaga signala na izlazu iz prijemnika P_{Si} i snaga signala na ulazu u prijemnik P_{Su} su takvi da važi:

$$P_{Si} = D_p P_{Su}$$

- Što se tiče šuma, ulazni filter propušta samo one komponente šuma koje se nalaze na ulazu u prijemnik u opsegu učestanosti od f_0+f_1 do f_0+f_2 . Prema tome, za šum će važiti relacija u diferencijalnom obliku:

$$dP_{Ni} = D_p dP_{Nu}$$

$$dP_{Nu} = p_N df = \bar{F}kTdf \Rightarrow dP_{Ni} = D_p \bar{F}kTdf$$

- Ako ovu relaciju integralimo u granicama od f_1 do f_2 , dobija se snaga šuma:

$$P_{Ni} = D_p \bar{F}kT(f_2 - f_1) = D_p \bar{F}kTB$$

- Konačno je traženi odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika dat izrazom:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_i = \frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{P_{Su}}{\bar{F}kTB}$$

- Kako je snaga šuma na ulazu u prijemnik koja se transformiše u snagu šuma na izlazu:

$$P_{Nu} = \int_{f_0+f_1}^{f_0+f_2} \overline{F}kTdf = \overline{F}kTB$$

to je:

$$\frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = \frac{P_{Su}}{P_{Nu}} \Rightarrow \left(\frac{S}{N} \right)_i = \left(\frac{S}{N} \right)_u$$

✓ Zaključak:

Pri prenosu poruka AM-1BO modulacionim postupkom, odnos signal/šum na izlazu iz prijemnika **jednak** je odnosu signal/šum na ulazu u prijemnik.

Termin 12 - Sadržaj

- Uticaj šuma na prenos analognih signala
- Odnos S/N pri prenosu poruka KAM signalom
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-2BO signalom
- Odnos S/N pri prenosu poruka AM-1BO signalom
- **Odnos S/N kod prijemnika sa detektorom anvelope**

Odnos S/N kod prijemnika sa detektorom anvelope

- Pretpostavimo da se prenos poruka vrši signalom KAM tipa, a da se u prijemniku prenošeni signal detektuje detektorom anvelope.
- Ako je nosilac u predajniku modulisan sinusoidalnim test tonom, onda će napon na ulazu u detektor biti:

$$u_{du}(t) = U_0(1 + m_0 \cos \omega_m t) \cos \omega_0 t + n(t)$$

- Posmatrajmo prvo uticaj samo jedne komponente šuma. Neka je njena amplituda ΔU_N na ulazu u detektor vrlo mala, tako da je $\Delta U_N \ll U_0$, njena učestanost $f_0 + f_N$ a faza slučajna i neka iznosi φ_N .
- U ovim uslovima, izraz za napon na ulazu u detektor je oblika:

$$u_{du}(t) = U_0(1 + m_0 \cos \omega_m t) \cos \omega_0 t + \Delta U_N [\cos(\omega_0 + \omega_N)t + \varphi_N]$$

Napon na izlazu iz detektora biće približno jednak anvelopi napona na ulazu u detektor. Izraz za napon na ulazu u detektor se može zapisati i u obliku:

$$u_{du}(t) = [U_0(1 + m_0 \cos \omega_m t) + \Delta U_N \cos(\omega_N t + \varphi_N)] \cos \omega_0 t - [\Delta U_N \sin(\omega_N t + \varphi_N)] \sin \omega_0 t$$

$$u_{du}(t) = U(t) \cos[\omega_0 t + \theta_N(t)]$$

$U(t)$ predstavlja anvelopu napona, koja je oblika:

$$U(t) = \sqrt{[U_0(1 + m_0 \cos \omega_m t) + \Delta U_N \cos(\omega_N t + \varphi_N)]^2 + [\Delta U_N \sin(\omega_N t + \varphi_N)]^2}$$

Detektor anvelope nije osjetljiv na promjene faze ulaznog napona, pa će napon na izlazu iz detektora biti proporcionalan anvelopi signala:

$$u_{di}(t) \cong U(t)$$

$$u_{di}(t) \cong \sqrt{U_0^2(1 + m_0 \cos \omega_m t)^2 + 2\Delta U_N U_0(1 + m_0 \cos \omega_m t) \cos(\omega_N t + \varphi_N) + \Delta U_N^2}$$

Kako je $\Delta U_N \ll U_0$ to se odgovarajućom aproksimacijom dobija izraz za anvelopu u obliku:

$$u_{di}(t) \cong U_0 (1 + m_0 \cos \omega_m t) \sqrt{1 + \frac{2\Delta U_N \cos(\omega_N t + \varphi_N)}{U_0 (1 + m_0 \cos \omega_m t)}}$$

Ili konačno (za malo x , $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}$):

$$u_{di}(t) \cong U_0 (1 + m_0 \cos \omega_m t) + \Delta U_N \cos(\omega_N t + \varphi_N)$$

- Na izlazu iz detektora anvelope dobija se napon koji je sastavljen iz dvije komponente:
 1. anvelopa KAM signala,
 2. komponenta koja potiče od šuma. Njena amplituda je približno jednaka amplitudi odgovarajuće komponente šuma na ulazu u detektor, a učestanost je jednaka razlici učestanosti komponente šuma na ulazu $f_0 + f_N$ i učestanosti nosioca f_0 .
- Međutim, na ulazu u detektor postoji i komponenta šuma čija je učestanost $f_0 - f_N$, pa će se i ona pojaviti na izlazu iz detektora, a njena učestanost će biti f_N . Faze ove dvije komponente šuma čije su učestanosti jednake su **slučajne veličine**.

- Ako modulišuci signal koji predstavlja poruku ima spektar koji se nalazi u opsegu širine B , od f_1 do f_2 , na ulazu u prijemnik se nalazi filter propusnik opsega učestanosti od f_0-f_2 do f_0+f_2 . Iza detektora anvelope se nalazi filter koji propušta opseg učestanosti od f_1 do f_2 .
- Posmatrajmo detektor anvelope i filter iza njega kao jedan sklop. Neka je njegova ulazna impedansa za učestanosti iz propusnog opsega R_{u1} i neka je filter zatvoren impedansom R . Tada će biti:

$$P_{Ndu} R_{u1} = P_{Ni} R$$

- Snaga signala na izlazu će biti:

$$P_{Si} = \frac{(m_0 U_0)^2}{2R} \cdot \frac{R_{u1}}{R_{u1}} = \frac{R_{u1}}{R} \frac{m_0^2 U_0^2}{2R_{u1}} = \frac{R_{u1}}{R} m_0^2 P_0$$

$$P_{Si} = \frac{R_{u1}}{R} 2P_m = \frac{R_{u1}}{R} 2P_{Sdu}$$

- Konačno se dobija da je traženi odnos S/N:

$$\frac{P_{Si}}{P_{Ni}} = 2 \frac{P_{Sdu}}{P_{Ndu}} = \frac{m_0^2 P_0}{2FkTB}$$

- I u slučaju detekcije anvelope, pod uslovom da je na ulazu u prijemnik šum znatno manji od signala, važi ista relacija koja se dobila i za slučaj sinhronne demodulacije KAM signala.