

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem

- ❑ Sistemi prenosa sa ASK
 - Koherentna demodulacija
 - Nekoherentna modulacija (detektor anvelope)
- ❑ QAM
- ❑ Sistemi prenosa sa FSK
 - Limiter diskriminator
 - Detektor presjeka sa nulom
 - Diferencijalni detektor
 - Koherentni demodulator
 - Nekoherentni demodulator (detektor anvelope)
 - Vjerovatnoća greške za FSK sisteme
- ❑ Sistemi prenosa sa PSK
 - BPSK i koherentna modulacija
 - QPSK i koherentna modulacija
 - DPSK
 - Vjerovatnoća greške za PSK sisteme
- ❑ Poređenje sistema za prenos digitalnih signala

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem

- ❑ Digitalni signali, isto kao i analogni, mogu da se prenose pomoću nosioca.
- ❑ Nosilac je uvijek deterministički sinusoidalni signal koji je određen sa svoja tri parametra: amplitudom, frekvencijom i fazom.
- ❑ Mijenjanjem jednog od ovih parametara srazmjerno digitalnom signalu koji treba prenijeti i zadržavanjem ostala dva parametra konstantnim, dobija se amplitudski (ASK), frekvencijski (FSK) ili fazno (PSK) modulisani signal.
- ❑ Uobičajena terminologija u modulaciji digitalnih signala se nešto razlikuje od one primijenjene za analogne signale, tako da se ovdje govorimo:
 - ASK (*Amplitude Shift Keying*)
 - FSK (*Frequency Shift Keying*)
 - PSK (*Phase Shift Keying*)

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

Sistemi prenosa sa ASK

- ❑ amplituda sinusoidalnog nosioca se mijenja srazmjerno digitalnom modulišućem signalu dobija se ASK signal.
- ❑ Slično prenosu analognih signala, poruka se može prenijeti ASK signalom tipa ASK-2BO, ASK-1BO, ASK-NBO i KAM.
- ❑ U svim ovim slučajevima, modulišući signal se iz nosioca detektuje postupkom koherentne demodulacije.
- ❑ Posebno, u slučaju kada se poruka prenosi KAM signalom, signal koji je opisuje može da se izdvoji i detektorom anvelope.

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

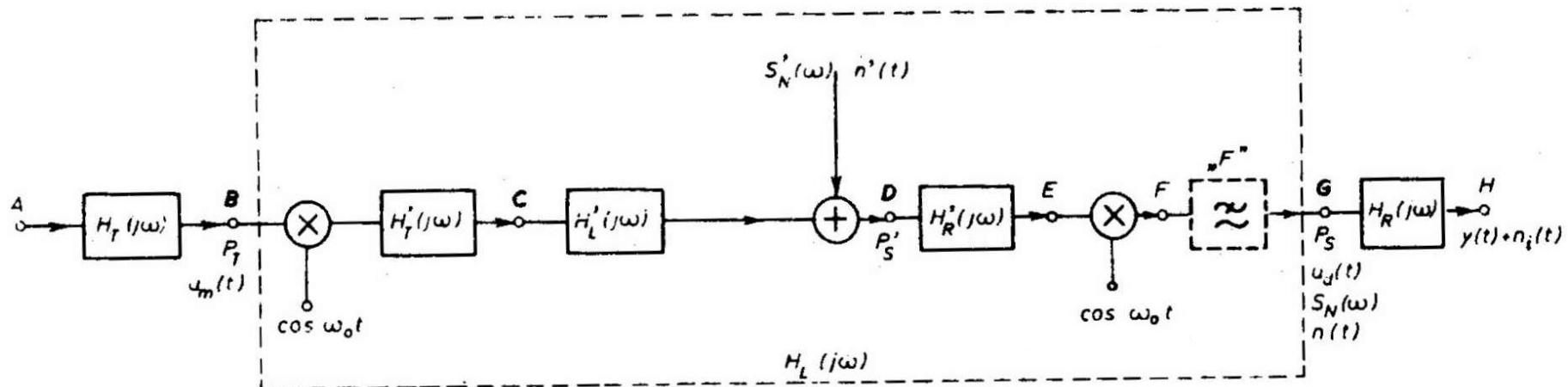
- ❑ Amplitudska modulacija i koherentna demodulacija u pogledu prenosa signala predstavljaju linearne postupke.
- ❑ Modulacija se sastoji u translaciji spektra signala koji opisuje poruku iz njegovog osnovnog opsega učestanosti u neki viši položaj na skali učestanosti,
- ❑ Demodulacijom se na mjestu prijema sadržaj spektra modulisanog signala ponovo vraća u svoj originalni položaj.
- ❑ Za vjernu reprodukciju signala potrebno je da širina transliranog spektra bude jednaka širini osnovnog opsega (ASK-1BO) ili njegovoj dvostrukoj širini (ASK-2BO).
- ❑ Oдавde je jasno da je za ovakve sisteme prenosa, imajući u vidu njihov linearan karakter, moguće napraviti ekvivalentan model u osnovnom opsegu učestanosti.
- ❑ Ako se to uradi, onda će svi rezultati izvedeni za prenos digitalnih signala u osnovnom opsegu učestanosti, primijenjeni na taj ekvivalentni niskofrekvencijski model, istovremeno predstavljati i rješenje u analizi prenosa digitalnih signala amplitudski modulisanim nosiocem i koherentnom demodulacijom.

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

- Na ulazu u sistem između tačaka *A* i *B* postavljen je predajni filter u osnovnom opsegu učestanosti ($H_T(j\omega)$).
- Na izlazu iz sistema između tačaka *G* i *H* nalazi se prijemni filter u osnovnom opsegu čija je funkcija prenosa $H_R(j\omega)$.
- Dio koji je uokviren isprekidanom linijom sačinjavaju: modulator, predajni filter propusnik opsega učestanosti čija je funkcija prenosa $H'_T(j\omega)$, sredina za prenos označena njenom funkcijom prenosa $H'_L(j\omega)$, ulazni filter propusnik opsega učestanosti čija je funkcija prenosa $H'_R(j\omega)$, koherentni demodulator i NF filter »F« koji odstranjuje komponente u okolini učestanosti $2\omega_0$ i koji može biti shvaćen kao dio demodulatora. Dio sistema za prenos od *B* do *C* odgovara VF predajniku, a dio od *D* do *G* predstavlja VF prijemnik.
- Kako se spektar signala u tački *B* nalazi u osnovnom opsegu učestanosti, a isto tako i u tački *G*, to se onda taj dio sistema od *B* do *G* može zamijeniti nekim sistemom prenosa u osnovnom opsegu učestanosti, pod uslovom da funkcija prenosa ovog sistema bude identična funkciji prenosa sistema sa slike između tačaka *B* i *G*.
- Neka je ta funkcija prenosa označena sa $H_L(j\omega)$.

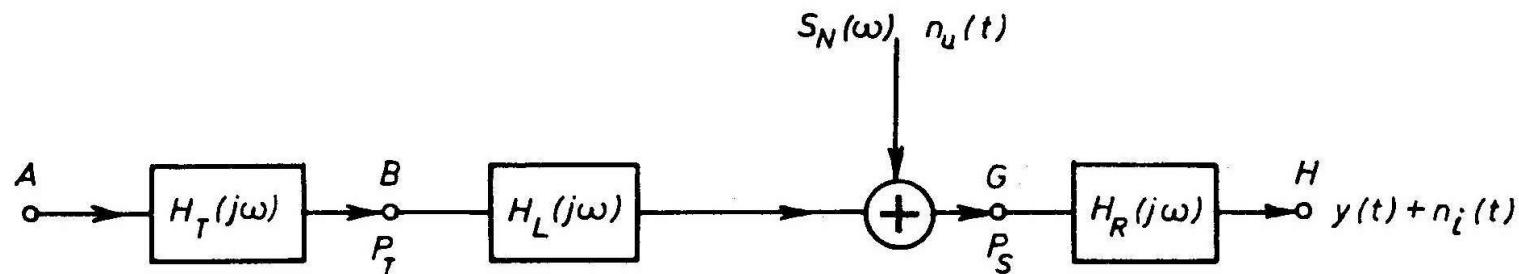


Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

- Prethodno važi za signal
- Da bi se napravio model sistema u osnovnom opsegu učestanosti ekvivalentan ASK sistemu sa slike, potrebno je uzeti u razmatranje i šum, jer na ulazu prijemnika, pored korisnog signala, postoji i aditivni šum okarakterisan spektralnom gustinom srednje snage $S'_N(\omega)$.
- Treba odrediti novi ekvivalentni izvor šuma koji postavljen u tačku G daje na ulazu u prijemni filter $H_R(j\omega)$ isti onoliki šum koliki u toj istoj tački G stvara izvor šuma sa VF ulaza prijemnika iz tačke D .
- Postupi li se i u pogledu signala i u pogledu šuma kao što je rečeno, dobija se model u osnovnom opsegu učestanosti koji je ekvivalentan razmatranom ASK sistemu:



- potrebno je pronaći funkciju prenosa $H_L(j\omega)$ i spektralnu gustinu snage šuma $S_N(\omega)$.

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

- Modulišući signal u tački B sistema za prenos ASK signala je $u_m(t)$, a njegova Fourierova transformacija je $U_m(j\omega)$.
- Nakon produktne modulacije spektar ASK signala sa dva bočna opsega na izlazu iz modulatora, u tački C iznosi:

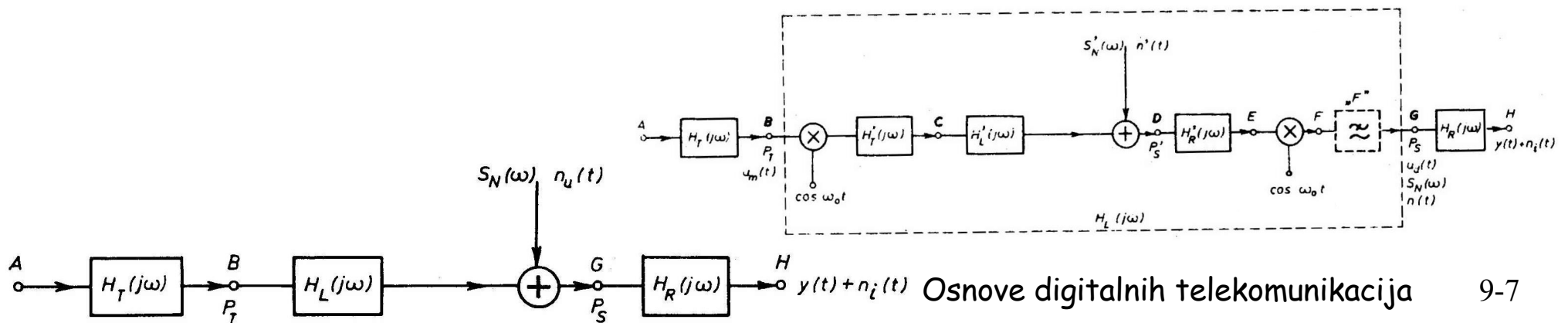
$$\frac{1}{2}U_m[j(\omega - \omega_0)] + \frac{1}{2}U_m[j(\omega + \omega_0)]$$

- Na ulazu demodulatora u tački E, izraz za spektar prenošenog signala tipa ASK -2BO je:

$$H'_{TLR}(j\omega) \left\{ \frac{1}{2}U_m[j(\omega - \omega_0)] + \frac{1}{2}U_m[j(\omega + \omega_0)] \right\}$$

- gdje je

$$H'_{TLR}(j\omega) = H'_T(j\omega) \cdot H'_L(j\omega) \cdot H'_R(j\omega)$$



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

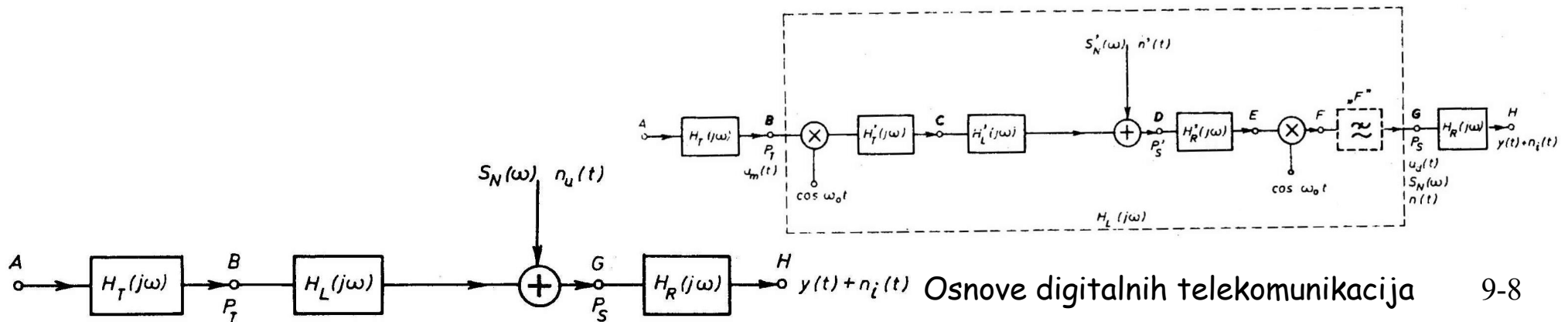
Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

- Spektar signala na izlazu iz koherentnog demodulatora, u tački F iznosi:

$$\frac{1}{4} H'_{TLR} [j(\omega - \omega_0)] \{U_m [j(\omega - 2\omega_0)] + U_m (j\omega)\} + \frac{1}{4} H'_{TLR} [j(\omega + \omega_0)] \{U_m (j\omega) + U_m [j(\omega + 2\omega_0)]\}$$

- Filtar »F« na slici je postavljen da bi zajedno sa množačem ispred njega predstavljao demodulator na čijem izlazu nema parazitnih produkata u okolini učestanosti $2\omega_0$. On propušta komponente iz opsega $-\omega_m \leq \omega \leq \omega_m$. Osim toga, modulišuci signal $u_m(t)$ mora da ima spektar ograničen učestanošću ω_m , što je uslovljeno samim postupkom modulacije. Ako se ova dva uslova unesu u gornji izraz, dobija se da je spektar signala $u_d(t)$ prenesenog ASK sistemom sa slike u tački G dat sa:

$$U_d(j\omega) = \frac{1}{4} H'_{TLR} [j(\omega - \omega_0)] U_m(j\omega) + \frac{1}{4} H'_{TLR} [j(\omega + \omega_0)] U_m(j\omega)$$



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

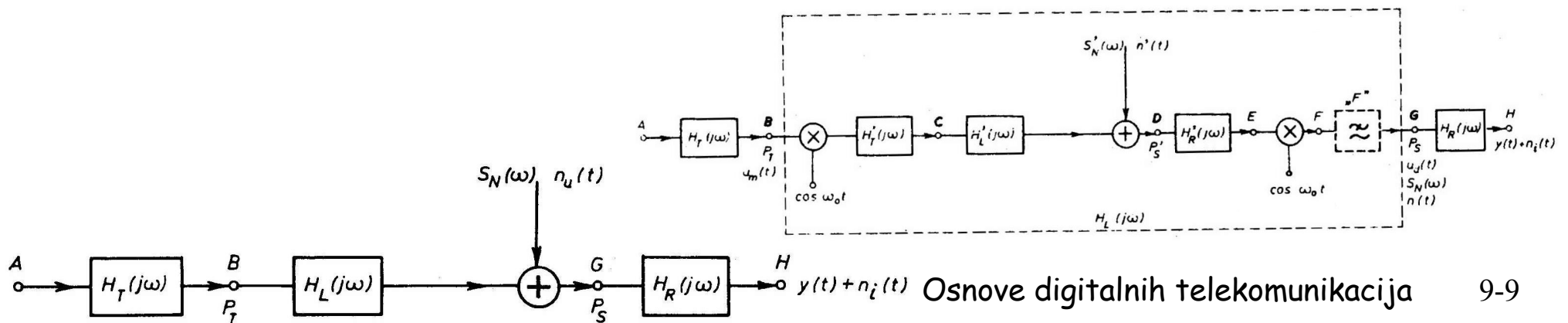
ASK sa koherentnom demodulacijom

Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

- Uvede li se sledeća oznaka:

$$H_L(j\omega) = \frac{1}{4} \left\{ H'_{TLR} [j(\omega - \omega_0)] + H'_{TLR} [j(\omega + \omega_0)] \right\}$$

- dobija se da je $U_d(j\omega) = H_L(j\omega)U_m(j\omega)$.
- Na osnovu ovog izraza može se zaključiti da $H_L(j\omega)$ predstavlja traženu funkciju prenosa modela sistema u osnovnom opsegu učestanosti koji je ekvivalentan ASK sistemu.
- Da bi ekvivalentan sistem bio u potpunosti određen, treba pronaći i spektralnu gustinu srednje snage šuma $S_N(\omega)$ u tački G .
- Ta spektralna gustina određuje ekvivalentni izvor šuma na slici koja predstavlja model sistema u osnovnom opsegu učestanosti.



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

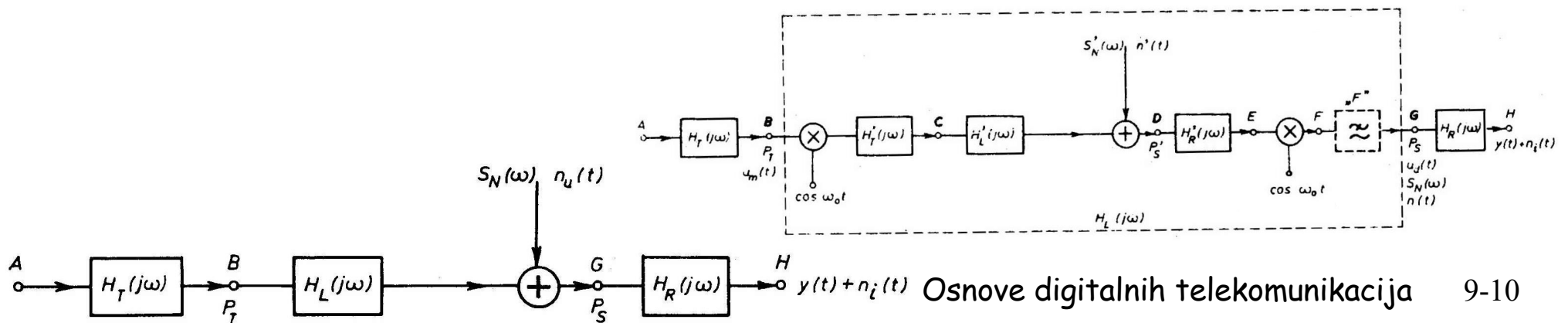
- Ako je spektralna gustina srednje snage šuma na VF ulazu u prijemnik u tački D jednaka $S'_N(\omega)$, onda je spektralna gustina snage šuma na izlazu prijemnog filtra propusnika opsega u tački E na ulazu u demodulator jednaka:

$$S'_N(\omega) |H'_R(j\omega)|^2$$

- Na izlazu iz demodulatora u tački G spektralna gustina srednje snage šuma $S_N(\omega)$ iznosi:

$$S_N(\omega) = \frac{1}{4} S'_N(\omega - \omega_0) |H'_R[j(\omega - \omega_0)]|^2 + \frac{1}{4} S'_N(\omega + \omega_0) |H'_R[j(\omega + \omega_0)]|^2$$

- Sada je izrazima za $H_L(j\omega)$ i $S_N(\omega)$ ekvivalentni model u potpunosti određen i on važi za sve tipove prenošenih ASK signala, s tim što se funkcija prenosa $H_L(j\omega)$ može odrediti za svaki pojedinačni posmatrani slučaj.

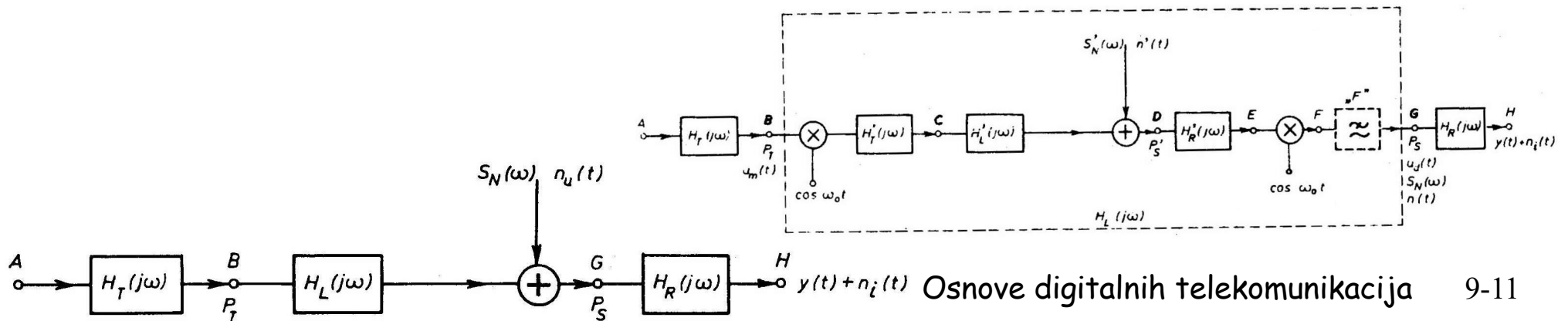


Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Ekvivalentni model u osnovnom opsegu učestanosti

- Prema tome, svi zaključci do kojih se došlo u analizi prenosa digitalnih signala u osnovnom opsegu učestanosti mogu se primijeniti u analizi ASK sistema.
- Ne mora se voditi računa o modulaciji, već se sistem možemo da posmatrati kao da je riječ o prenosu u osnovnom opsegu
- Mogu se primijeniti svi izvedeni uslovi za prenos bez ISI, optimizaciju sistema, vjerovatnoću greške, ...



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Vjerovatnoća greške za slučaj prenosa digitalnih signala ASK signalima tipa ASK-1BO i ASK-2BO uz uslov da je izvršena optimizacija sistema.

- Šum je bijeli, Gausov, pa je spektralna gustina snage šuma na VF ulazu u prijemnik:

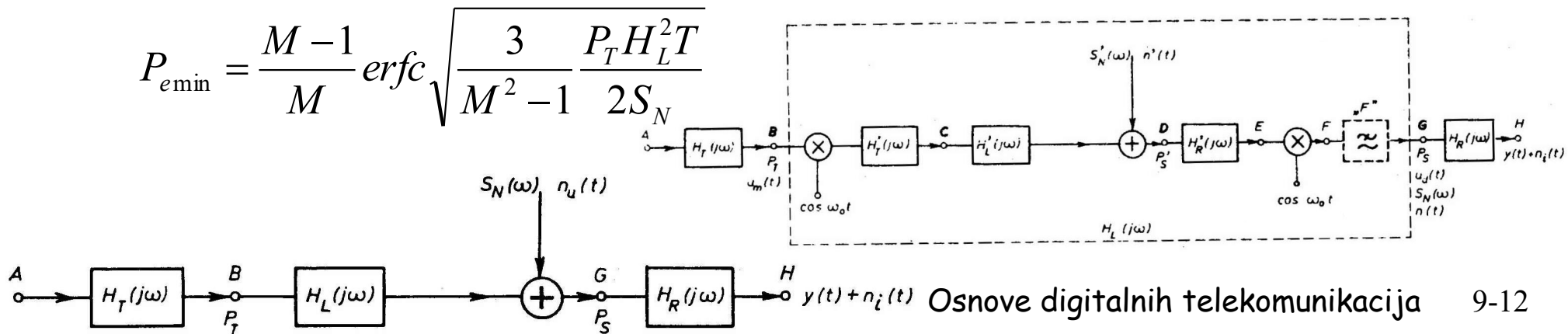
$$S'_N(\omega) = S'_N = \text{const.}$$
- pa će i na izlazu iz ASK sistema u tački G takođe biti konstantna i jednaka:

$$S_N(\omega) = S_N = \text{const.}$$
- Da bi ovaj uslov bio ispunjen mora i funkcija prenosa $H_R(j\omega)$ filtra propusnika opsega učestanosti u propusnom opsegu biti takođe konstantna:

$$|H'_R(j\omega)| = H'_R = \text{const.}$$
- Prethodni uslov je gotovo uvijek ispunjen u praksi
- Ako sada uvedemo pretpostavku da je još i funkcija prenosa ekvivalentnog modela

$$H_L(j\omega) = H_L = \text{const.}$$
- kao što je to bilo pretpostavljeno u diskusiji o optimizaciji sistema, tada će u slučaju sistema za prenos ASK signala kada se njim prenose M-arni digitalni signali minimalna vjerovatnoća greške iznositi:

$$P_{e\text{min}} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{P_T H_L^2 T}{2S_N}}$$



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Vjerovatnoća greške za slučaj prenosa digitalnih signala ASK signalima tipa ASK-1BO i ASK-2BO uz uslov da je izvršena optimizacija sistema.

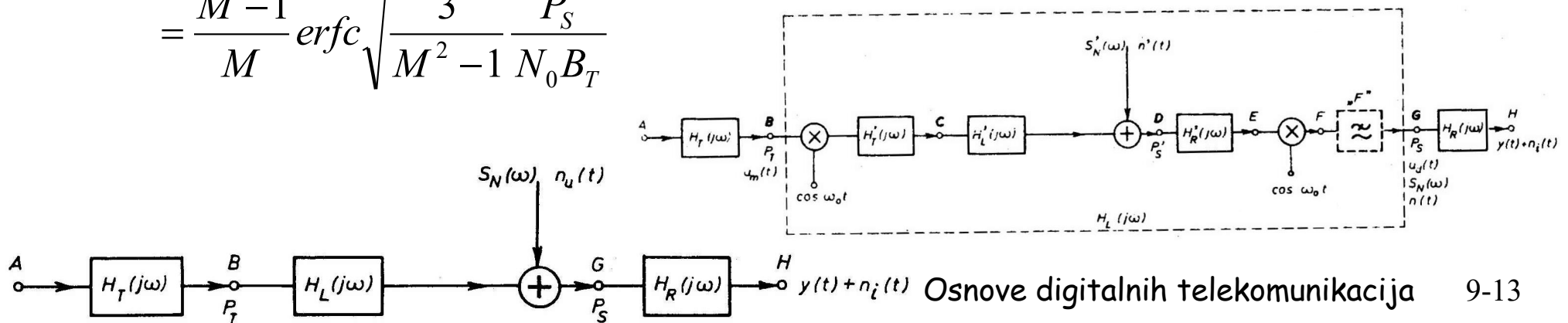
- Kako je P_T srednja snaga signala u tački B, to na izlazu ASK sistema u tački G, snaga signala iznosi:

$$P_S = H_L^2 P_T$$

- Sada je minimalna vjerovatnoća greške data izrazom:

$$P_{e\min} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{P_S}{2S_N} \frac{1}{T}} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{P_S}{2S_N B_T}} =$$

$$= \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{P_S}{N_0 B_T}}$$

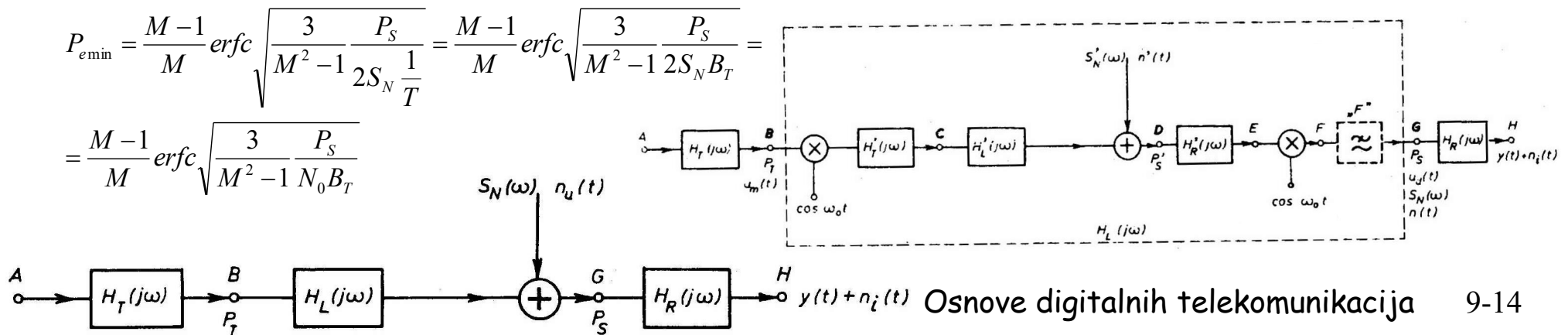


Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Vjerovatnoća greške za slučaj prenosa digitalnih signala ASK signalima tipa ASK-1BO i ASK-2BO uz uslov da je izvršena optimizacija sistema.

- U ovom izrazu je $N_0=2S_N$ spektralna gustina snage šuma definisana samo za pozitivne učestanosti, dok je $B_T=1/T$ brzina signaliziranja.
- Kada se navedeni izraz koristi za izračunavanje minimalne vjerovatnoće greške u sistemima prenosa sa ASK, onda je naročito podesno da se, umjesto snage signala P_S i spektralne gustine šuma S_N na izlazu iz ASK sistema u tački G na slici, uvede snaga signala $P_{S'}$ i spektralna gustina $S_{N'}$. Naime, te veličine na ulazu VF prijemnika predstavljaju podatke koji su obično poznati.



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

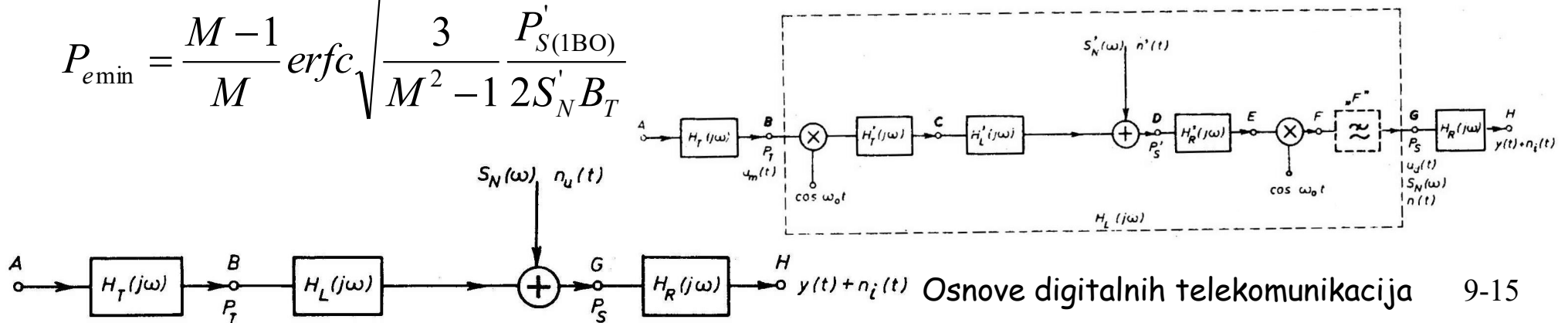
Vjerovatnoća greške za slučaj prenosa digitalnih signala ASK signalima tipa ASK-1BO i ASK-2BO uz uslov da je izvršena optimizacija sistema.

- Kada se digitalni signal prenosi ASK signalom sa jednim bočnim opsegom, onda i filter $H_R'(j\omega)$ i filter »F« sa slike propuštaju samo komponente iz tog jednog bočnog opsega. U ovom slučaju opseg učestanosti sa ulaza demodulatora samo se translira i na njegovom izlazu taj opseg je širok isto onoliko koliko i na ulazu. Ono što se dešava sa komponentama signala, to se dešava i sa komponentama šuma. Prema tome, odnos signal/šum na ulazu ostaje isti koliki i na izlazu, pa važi da je:

$$\frac{P_S}{S_N} = \frac{P'_S}{S'_N} = \frac{P_{S(1BO)}}{S'_N} = \frac{P_T}{S_N}$$

- Ovo znači da će u uslovima optimalnog prenosa, minimalna vjerovatnoća greške u sistemu u kome se prenosi signal tipa ASK-1BO biti identična onoj u sistemu prenosa u osnovnom opsegu, pod uslovom da je u oba sistema odnos P_T/S_N isti.
- Ako za snagu signala P'_S uvede oznaka $P'_S = P_{S(1BO)}$, izraz za minimalnu vjerovatnoću greške u sistemu sa prenosom signala tipa ASK-1BO iznosi:

$$P_{emin} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{P'_{S(1BO)}}{2S'_N B_T}}$$



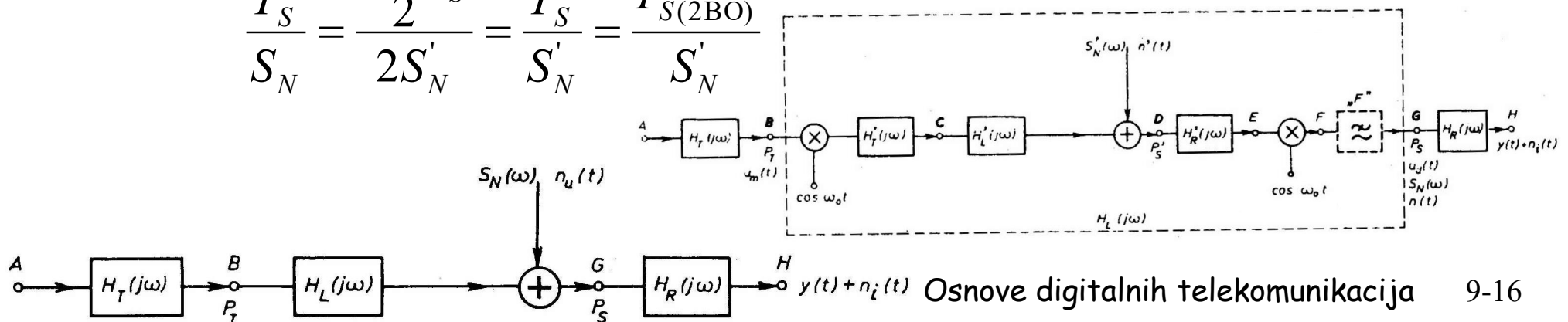
Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa koherentnom demodulacijom

Vjerovatnoća greške za slučaj prenosa digitalnih signala ASK signalima tipa ASK-1BO i ASK-2BO uz uslov da je izvršena optimizacija sistema.

- Slično se može izvesti izraz za minimalnu vjerovatnoću greške pri prenosu ASK-2BO.
- Treba izraziti odnos P_S/S_N kao funkciju odgovarajućih veličina na ulazu VF prijemnika
- Ako P'_S predstavlja srednju snagu signala ASK-2BO, onda je u svakom od njegova dva bočna opsega snaga jednaka $P'_S/2$. U sistemu ASK sa dva bočna opsega, nakon koherentne demodulacije, iz svakog bočnog opsega sa ulaza na izlazu iz demodulatora postoji po jedna komponenta iste učestanosti i iste faze. Te dvije komponente sabiraju se po fazi, dakle, po naponu, pa je zato snaga demodulisanog signala 4 puta veća od snage u jednom bočnom opsegu.
- Što se tiče šuma, njegove komponente iz dva bočna opsega sa ulaza daju na izlazu demodulatora po dvije komponente istih učestanosti, ali slučajnih faza. Zato se one sabiraju po snazi, tj. snaga šuma na izlazu demodulatora je 2 puta veća od snage šuma u jednom bočnom opsegu. Ako je spektralna gustina snage šuma u tom bočnom opsegu S'_N , onda je spektralna gustina snage šuma na izlazu iz demodulatora 2 puta veća. Prema tome, biće:

$$\frac{P_S}{S_N} = \frac{4 \frac{1}{2} P'_S}{2 S'_N} = \frac{P'_S}{S'_N} = \frac{P'_{S(2BO)}}{S'_N}$$



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

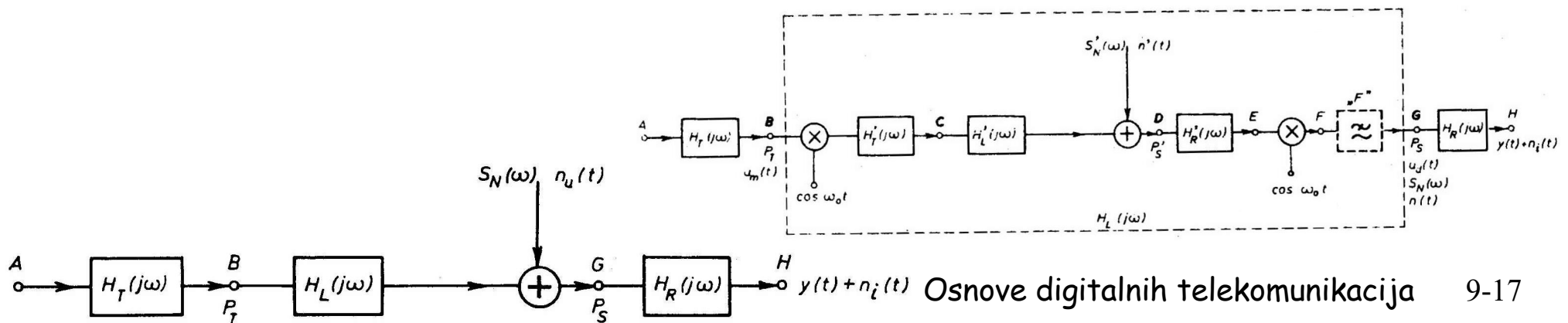
ASK sa koherentnom demodulacijom

Vjerovatnoća greške za slučaj prenosa digitalnih signala ASK signalima tipa ASK-1BO i ASK-2BO uz uslov da je izvršena optimizacija sistema.

- Izraz za minimalnu vjerovatnoću greške u sistemu u kome se prenos obavlja tipom signala ASK-2BO glasi:

$$P_{e\min} = \frac{M-1}{M} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{P'_{S(2BO)}}{2S'_N B_T}}$$

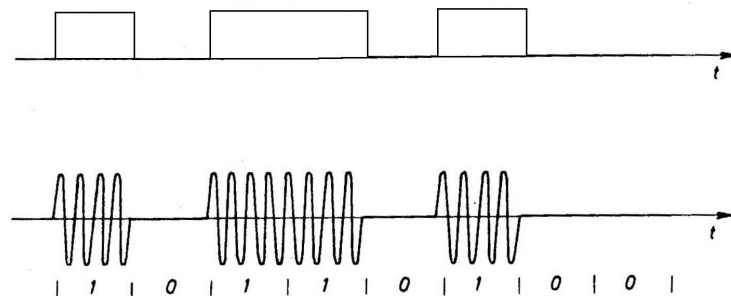
- Upoređujući sistem ASK-1BO i sistem ASK-2BO, vidi se da bi oni za jednake snage signala na VF ulazu u prijemnik i za jednaku spektralnu gustinu snage šuma, imali i jednake vjerovatnoće greške.
- Sistem AM-1BO zahtijeva propusni opseg 2 puta manji od sistema u kome se prenosi signal tipa ASK-2BO.



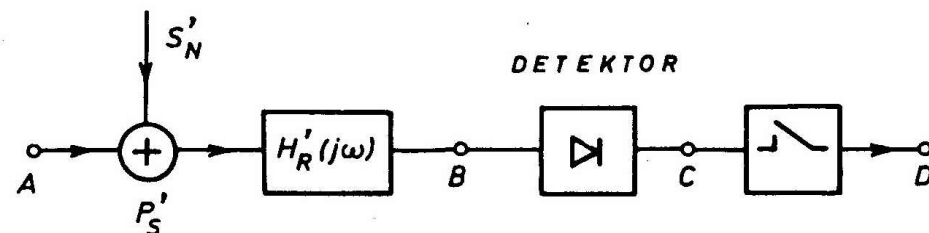
Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa nekoherentnom demodulacijom

- ❑ Prijem signala se obavlja detektorom anvelope
- ❑ U prenosu digitalnih signala u sistemima sa ASK i detekcijom anvelope treba pomenuti slučaj u kome se prenose *unipolarni* binarni signali.
- ❑ Oblik odgovarajućeg ASK signala prikazan je na slici.



- ❑ Zbog svog oblika ovakav signal se često naziva signalom »sve ili ništa«.
- ❑ Sam oblik ovog ASK signala ukazuje na to da se signal koji predstavlja poruku iz njega na prijemu može otkriti detektorom anvelope. Blok šema takvog prijemnika prikazana je na slici.



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa nekoherentnom demodulacijom

- S obzirom na to da detektovani signal ima oblik anvelope ulaznog AM signala, vjerovatnoća greške u ovakvom sistemu biće minimalna kada funkcija prenosa filtra $H'_R(j\omega)$ bude takva da njemu ekvivalentni filter propusnik niskih učestanosti ima funkciju prenosa podešenu detektovanom signalu, tj. anvelopi ulaznog signala.

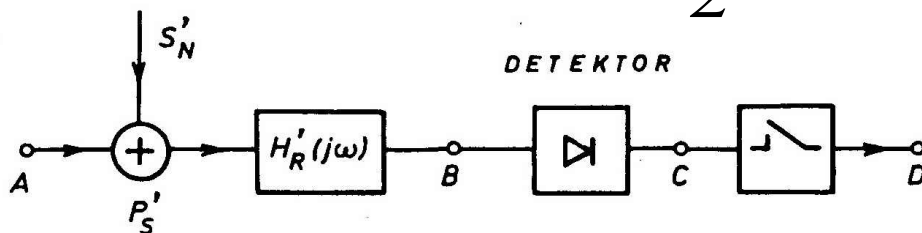
- Ako je ta funkcija prenosa ekvivalentnog filtra $H_e(j\omega)$, onda funkcija prenosa treba da bude:

$$H'_R(j\omega) = \frac{1}{2} H_e[j(\omega - \omega_0)] + \frac{1}{2} H_e[j(\omega + \omega_0)]$$

- Određivanje izraza za vjerovatnoću greške je dosta složeno i moraju se vršiti određene aproksimacije. U slučaju da je na ulazu u sistem odnos signal/šum velik, vjerovatnoća greške može približno da se izračuna prema izrazu:

$$P_e \cong \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2} A'_N}$$

$$A'_N = \frac{P'_S T}{2S'_N} = \frac{P'_S}{N'_0 B_T}$$

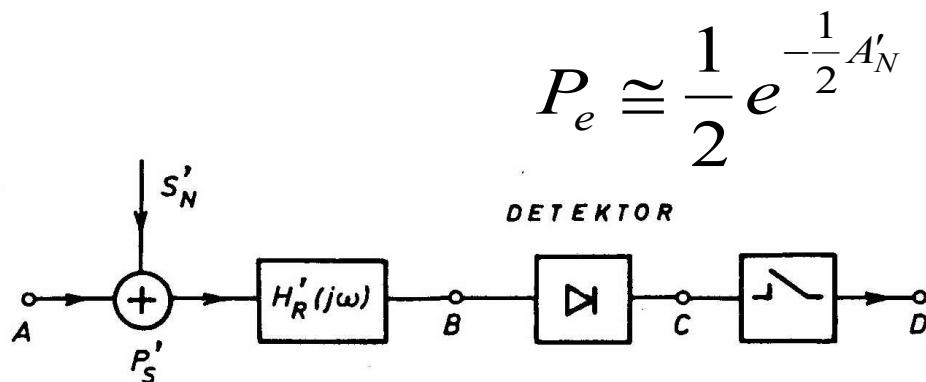


Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa nekoherentnom demodulacijom

- P'_s predstavlja srednju snagu »sve ili ništa« signala.
- Ako U_0 predstavlja amplitudu sinusoidalnog nosioca u intervalu u kome se šalje znak, onda je snaga P'_s pri jednakim vjerovatnoćama slanja binarnih cifara 0 i 1, na jediničnoj otpornosti jednaka:

$$P'_s = \frac{1}{2} \frac{U_0^2}{2}$$



$$P_e \cong \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2} A'_N}$$

$$A'_N = \frac{P'_s T}{2S'_N} = \frac{P'_s}{N'_0 B_T}$$

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa nekoherentnom demodulacijom

- Da bi se ocijenio kvalitet prenosa signala u sistemu sa ASK i detekcijom anvelope, interesantno je da se on uporedi sa sistemom u kom se prenos obavlja signalom tipa ASK-2BO i koherentnom demodulacijom.
- U sistemu prenosa polarnog binarnog signala postupkom ASK-2BO i koherentnom demodulacijom važi da je minimalna vjerovatnoća greške:

$$P_{e(ASK-2BO)} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{P'_{S(2BO)}}{2S'_N B_T}}$$

- Poređenje može da se vrši uz uslov da je odnos srednje snage signala i šuma na ulazu u prijemnik u oba sistema isti, tj. važi:

$$\frac{P'_S}{2S'_N B_T} = \frac{P'_{S(2BO)}}{2S'_N B_T} = A'_N$$

- Konačno, u slučaju koherentne demodulacije se dobija:

$$P_{e\min} = P_{e(ASK-2BO)} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{A'_N}$$

Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

ASK sa nekoherentnom demodulacijom

- Korišćenjem aproksimacije:

$$\operatorname{erfc}x \cong \frac{e^{-x^2}}{\sqrt{\pi x}}, \quad x \gg 1$$

- Uz uslov da je $A'_N \gg 1$ izraz za vjerovatnoću greške postaje:

$$P_{e(AM-2BO)} \cong \frac{1}{2} \frac{e^{-A'_N}}{\sqrt{\pi} \sqrt{A'_N}}, \quad A'_N \gg 1$$

- Odnosno, za sistem sa nekoherentnom demodulacijom važi:

$$P_{e(DA)} \cong \frac{1}{2} e^{-\frac{1}{2}A'_N} \quad \Rightarrow \quad P_{e(DA)} \cong \sqrt{\pi A'_N} e^{\frac{1}{2}A'_N} P_{e(ASK-2BO)}$$

- Jasno je da se bolje performanse ostvaruju u sistemima sa koherentnom demodulacijom.
- To je i razlog što sistemi sa detektorom anvelope dosta, iako jednostavni, nisu našli značajniju primjenu.

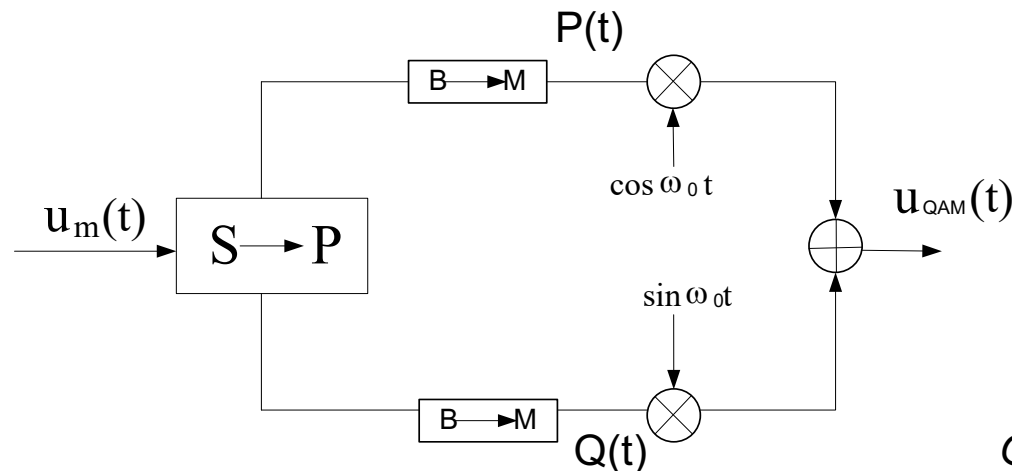
Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

Kvadratura amplitudska modulacija (QAM)

- ❑ Spada u grupu višenivovskih postupaka modulacije gdje se odgovarajućom obradom povećava broj mogućih vrijednosti značajnih stanja, čime se povećava brzina prenosa signala, a smanjuje opseg učestanosti koji signal zauzima.
- ❑ Ako je osnovni signal koji nosi poruku binarni, nakon postupka QAM se dobija digitalni signal sa 4 moguće vrijednosti; 16 QAM signal ima 16 mogućih stanja; 32 QAM ima 32 moguća stanja, ...
- ❑ QAM signal se dobija sabiranjem dva ASK signala čiji se nosioci nalaze u kadraturi.

$$u_{QAM}(t) = P(t)\cos\omega_0t + Q(t)\sin\omega_0t$$

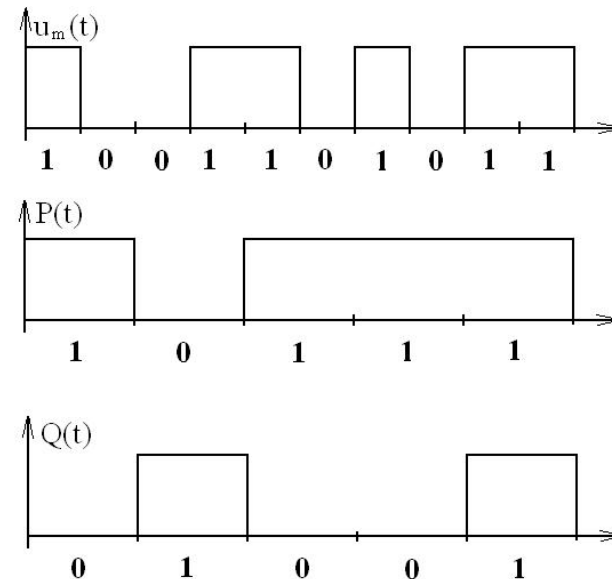
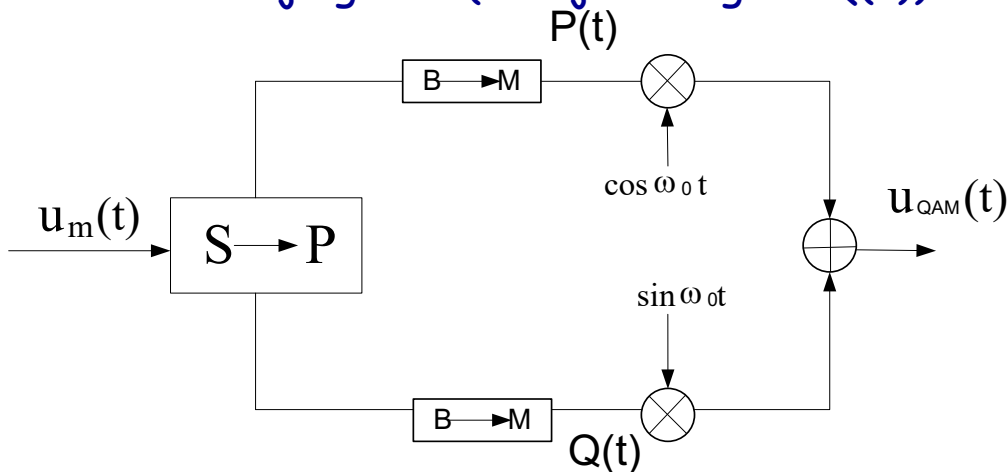
- ❑ $P(t)$ i $Q(t)$ su dva statistički različita i nezavisna signala.



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

Kvadratura amplitudska modulacija (QAM)

- Sklop $S \rightarrow P$ je konvertor serije u paralelu i ima 2 izlazna stanja.
- Princip funkcionisanja ovog sklopa je sledeći:
 - Trajanje svakog neparnog simbola iz poruke se produžava dva puta i usmjerava u gornju granu (dobija se signal $P(t)$)
 - Trajanje svakog parnog simbola iz poruke se produžava dva puta i usmjerava u donju granu (dobija se signal $Q(t)$)



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

Kvadratura amplitudska modulacija (QAM)

$$u_{QAM}(t) = V_i \cos(\omega_0 t + \pi + \theta_i)$$

- Neka su $P(t)$ i $Q(t)$ povorke polarnih binarnih signala, postoje 4 moguće kombinacije vrijednosti značajnih parametara a_i i b_i :

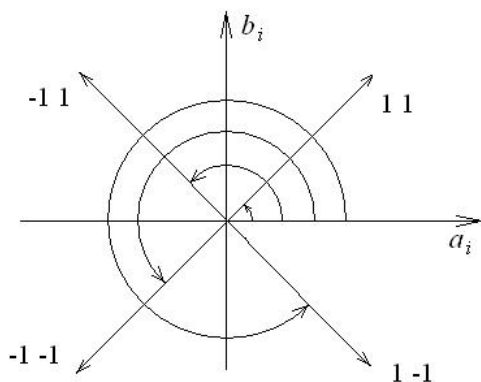
a_i	b_i
1	1
1	-1
-1	1
-1	-1

- Kod višenivooskih postupaka modulacija uobičajeno je vektorsko predstavljanje signala: Intenziteti vektora su isti i iznose:

$$V_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} = U_0 \sqrt{2}$$

a faze vektora su:

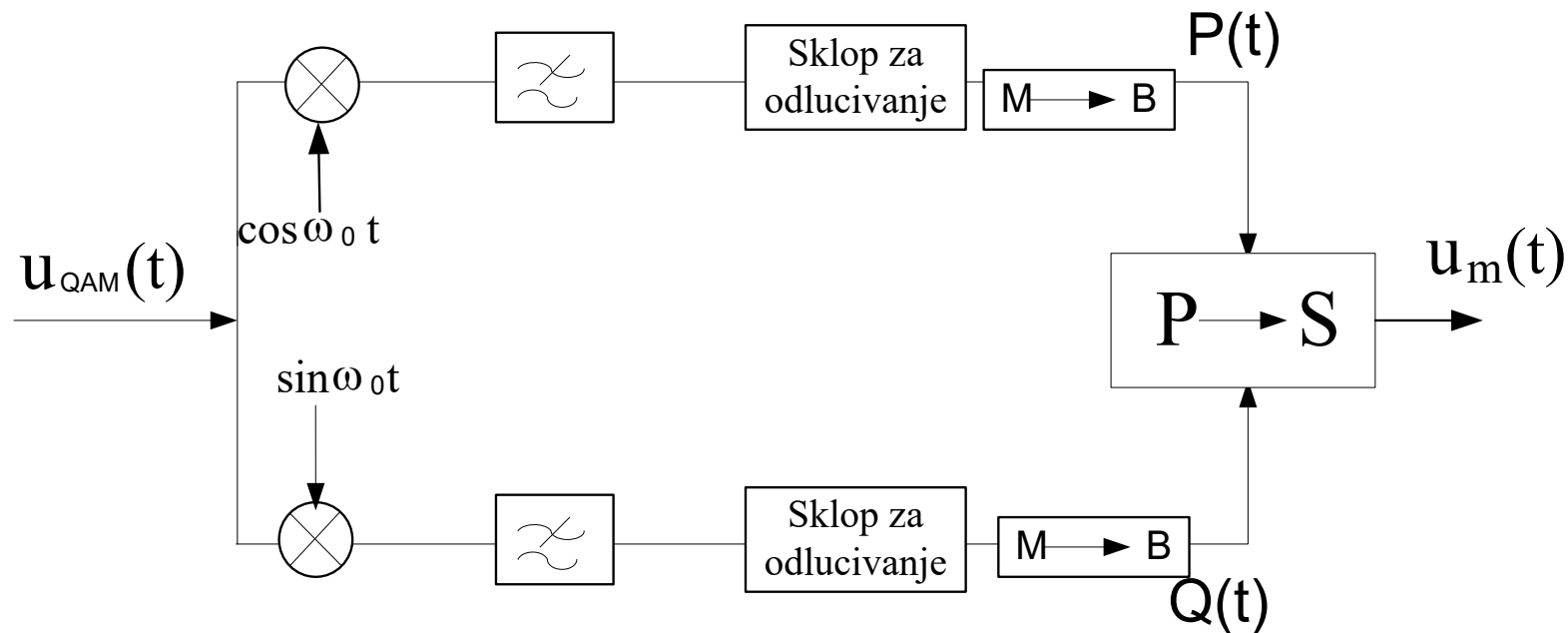
$$\theta_i = \left\{ \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \right\}$$



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

Kvadratura amplitudska modulacija (QAM)

- Odgovarajući demodulator QAM signala je dat na slici. Sklop označen sa $P \rightarrow S$ je komplementaran sklopu $S \rightarrow P$.



Prenos digitalnih signala modulisanim nosiocem (1)

Ispitna pitanja

- ❑ Sistemi prenosa sa ASK
 - Koherentna demodulacija
 - Nekoherentna modulacija
- ❑ QAM