

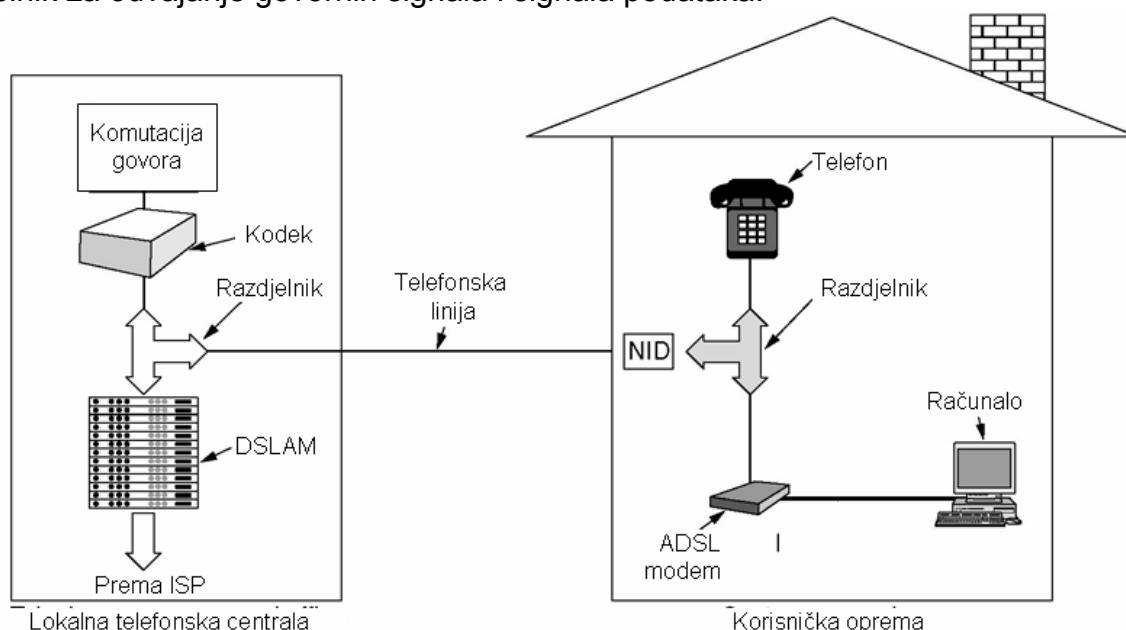
5. Vježba – Nesimetrična digitalna pretplatnička linija (ADSL)

5.1. Tehnička obilježja ADSL-a

Digitalne pretplatničke linije (DSL, Digital Subscriber Line) ušle su u široku uporabu jer povećavaju brzinu prijenosa u pristupnoj telefonskoj mreži iznad 56 kbit/s (gdje su modemske veze završile svoj razvoj). One omogućavaju istodobni prijenos govora i podataka korištenjem naprednih modulacijskih postupaka (prijenos podataka visokim brzinama) i šireg frekvencijskog područja od onoga koji se rabi za prijenos govora (300 – 3400 Hz). Sve to ostvareno je na postojećoj mrežnoj infrastrukturu uz male potrebne nadogradnje (korisniku se dodjeljuje DSL pristupni uređaj). U ovoj vježbi prikazana je vrsta DSL-a koja se naziva ADSL (*Asymmetric DSL*). Kod ADSL-a je brzina prijenosa u dolaznom smjeru prema korisniku (downstream) veća od brzine u odlaznom smjeru od korisnika prema centrali (upstream). Brzine iznose:

- dolazni smjer prema korisniku: 1,5 – 9 Mbit/s,
- odlazni smjer od korisnika: 0,16 – 0,64 Mbit/s.

Kod ADSL-a se koristi OFDM (sinonim: *Discrete Multitone* - DMT). Omogućene su širokopolasne usluge kao što su: video na zahtjev, pristup Internetu, pristup LAN mrežama, prijenos televizijskog signala. ADSL sustav na korisničkoj strani razdvaja govor od podataka pomoću razdjelnika (splitter), dok se u telefonskoj centrali također rabi razdjelnik za odvajanje govornih signala i signala podataka.



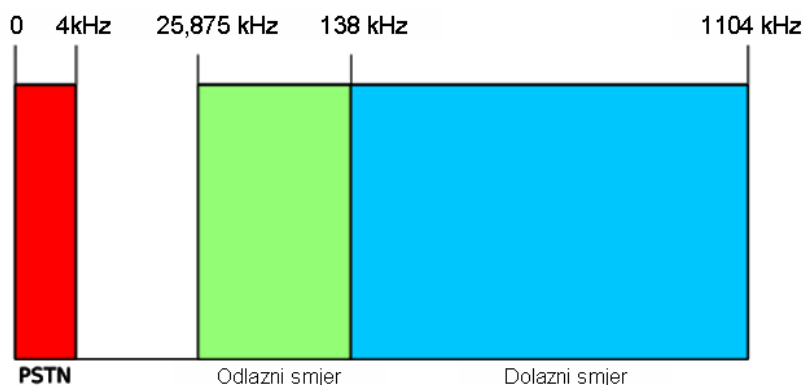
Slika 5.1. Prikaz ADSL sustava

Signal u odlaznom smjeru od korisnika prema telefonskoj centrali je manje snage od signala u dolaznom smjeru i stoga je podložniji šumu. Zbog činjenice da je manje gušenje signala pri prijenosu upletenom paricom na nižim frekvencijama, odlaznom smjeru se dodjeljuje niže frekvencijsko područje. Za privatne korisnike pogodno je da kapacitet u dolaznom smjeru bude veći od kapaciteta u odlaznom smjeru i stoga se odlaznom smjeru dodjeljuje znatno manja širina pojasa. Postoje dvije temeljne norme za ADSL:

ITU-T G.992.1 koja se naziva G.DMT,

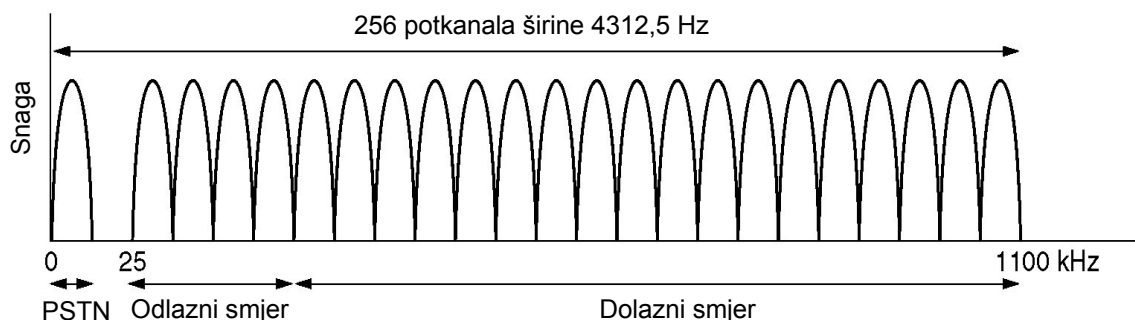
ITU-T G.992.2 koja se naziva G.Lite.

Obje norme se temelje na primjeni OFDM (DMT) postupka, ali se one razlikuju po širini frekvencijskog pojasa. Temeljna razlika između tih dviju normi je u tome što G.Lite ne rabi razdjelnik između telefona i G.Lite ADSL modema. U vježbi je modeliran G.DMT tip ADSL-a.



Slika 5.2. Raspored frekvencijskih područja kod G.DMT ADSL-a

Raspoloživo frekvencijsko područje podijeljeno je na 256 potkanala širine 4312,5 Hz. Potkanal 0 rabi se za prijenos govornog signala, potkanali 1–5 (područje od 4 kHz do $6 \times 4312,5 \text{ Hz} = 25,875 \text{ kHz}$) se ne rabe kako bi se govorni signal što bolje odvojio od podataka. Od preostalih 250 potkanala, dva se rabe za upravljanje (po jedan za svaki smjer prijenosa), dok za korisničke podatke ostaje 248 potkanala.



Slika 5.3 Raspored potkanala kod G.DMT ADSL-a

Davatelj usluge može odrediti koliko potkanala će se rabiti za prijenos prema centrali, a koliko prema korisniku. Unutar svakog potkanala rabi se modulacijski postupak M -QAM s 0–15 bita/simbolu. Brzina prijenosa simbola u potkanalima iznosi 4000 Bd. Tijekom uspostavljanja veze ADSL modem provjerava potkanale i određuje koji od njih ima zadovoljavajući S/N. Na temelju toga podešava se brzina prijenosa u potkanalu ili se određeni potkanali ne koriste. Brzine prijenosa u potkanalima mogu se međusobno razlikovati.

Model na vježbi predstavlja prijenos podataka u dolaznom smjeru (od centrale prema korisniku) na 256 podnosilaca. Telefonska linija modelirana je pomoću dva različita filtra (prvi filtar predstavlja standardnu frekvencijsku prijenosnu karakteristiku parice, dok je

drugi filter proizvoljan) i dodanog aditivnog bijelog šuma (AWGN blok). Odašiljački dio sastoji se od dvije paralelne staze: jedna staza procesira prvih 776 bitova, dok druga staza procesira zadnjih 776 bitova jednog okvira. Na svakoj stazi najprije se provodi ciklička kontrola pogrešaka (*Cyclic Redundancy Check* - CRC). Ona se ostvaruje na način da se dodaju dodatni bitovi okviru podataka koji služe za provjeru točnosti prijenosa podataka. Nakon toga svi ti bitovi se ispremišaju (*Scrambling*) i kodiraju pomoću Reed-Solomon postupka kodiranja. Ovaj postupak predstavlja zaštitno kodiranje (FEC, Forward Error Correction) koje se osniva na unošenju zalihosti (redundancije) u signal. U drugoj stazi se osim navedenih postupaka vrši i konvolucijsko prepletanje kodiranih podataka (*Convolutional Interleaving*). Prepletanje u stvari znači da se susjedni bitovi moduliraju na različite podnosiocice. Svi ovi postupci rabe se za sigurniji prijenos podataka preko telefonske linije (kanala). Tako zaštićeni podaci se moduliraju na način da se podaci iz prve staze prenose na podnosiocima koji su na nižoj frekvenciji, dok se podaci iz druge staze moduliraju na frekvencijski višim podnosiocima. Više bitova prenosi se na podnosiocima na kojima je bolji odnos signal/šum, a raspored bitova prilagođen je prijenosu preko standardnog telefonskog kanala (prvi filter). Drugim riječima to znači da ovakav prijenos bitova po podnosiocima neće biti optimalan za neki drugi kanal (drugi filter). To se u stvarnosti manifestira kao veća vjerojatnost pogreške bita (veći BER). U prijatelju se rade inverzne operacije od onih koje su uporabljene u odašiljaču, s time da je dodan i blok koji radi procjenu kanala (*Channel Estimation*) i na taj način anulira izobličenje kanala (primljene podatke trebamo u frekvencijskoj domeni pomnožiti s inverznom prijenosnom frekvencijskom karakteristikom kanala). Kao konačan rezultat dobiva se vjerojatnost pogreške za obje staze posebno. U ovoj vježbi promatra se kako odnos signal/šum i prijenosna karakteristika medija utječe na vjerojatnost pogreške u svakoj stazi. Na vježbi će se vidjeti da je i uz savršeno poznavanje karakteristike kanala, za siguran prijenos podataka potreban osigurati velik omjer signal/šum (veća snaga odašiljanja).

5.2. Domaća zadaća

- 5.2.1. a) Izračunajte omjer između najvećih teorijskih brzina prijenosa korisničkih bitova u dolaznom i odlaznom smjeru kod G DMT verzije ADSL-a. Kolike su te teorijske brzine prijenosa?
Napomena: Po jedan potkanal za svaki smjer prijenosa podataka koristi se za upravljanje (ne prenosi korisničke bitove).

b) Zbog karakteristike kanala nije moguće ostvariti maksimalnu brzinu prijenosa podataka u dolaznom smjeru već se podaci prenose na sljedeći način: u 45 potkanala prenosi se 7 bitova/simbolu, u 60 potkanala prenosi se 4 bitova/simbolu, u 35 potkanala prenosi se 10 bitova/simbolu, u 20 potkanala prenosi se 5 bitova/simbolu i u ostalim potkanalima prenosi se maksimalni broj bitova/simbolu. Kolika je sada ostvarena brzina prijenosa korisničkih bitova u dolaznom smjeru?

5.2.2. Navesti razlike između normi G.DMT i G.Lite za implementaciju ADSL sustava (korisnička oprema, frekvencijska područja, brzine prijenosa).

5.3. Rad na vježbi

Pokrenite *MATLAB*!

U komandnoj liniji glavnog *MATLAB* prozora utipkajte sljedeću naredbu:

> clear all

U glavnom izborniku pod **File** izaberite **Import Data ...** i učitajte datoteku **vjezba_5.mat**. Na taj se način u radni prostor (workspace) *MATLAB*-a učitavaju vrijednosti varijabli koje su nam potrebne prilikom simulacija.

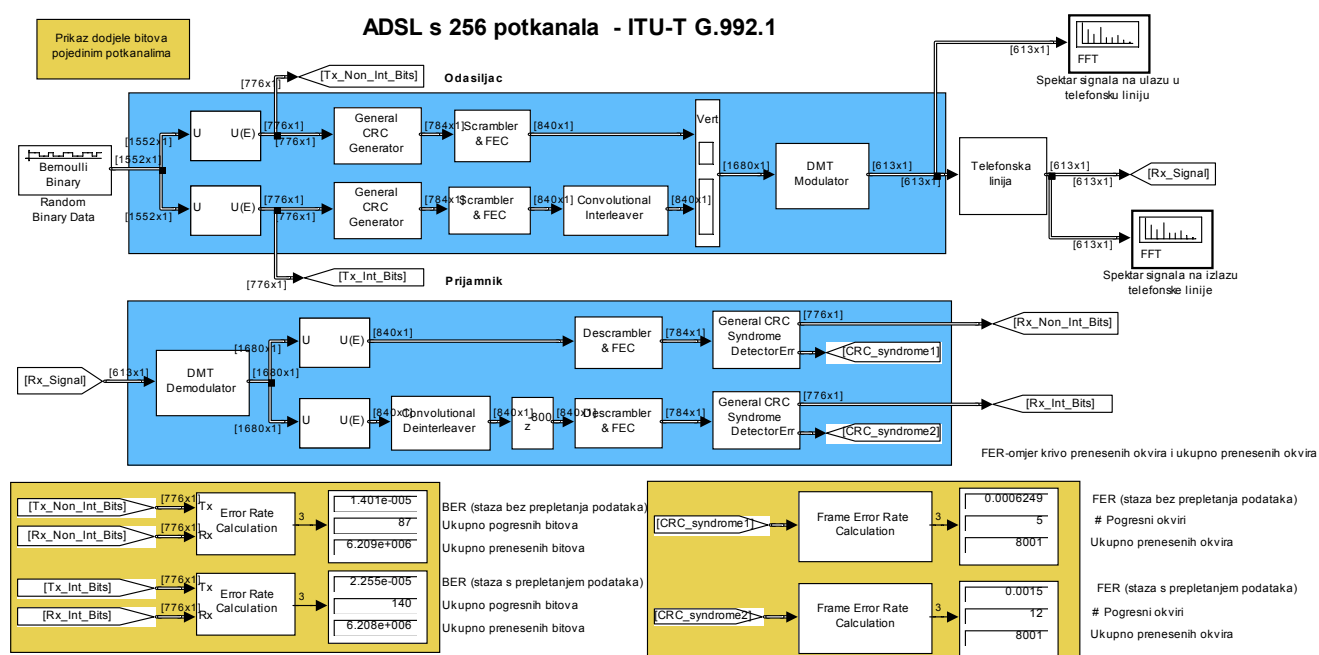
5.3.1. Prijenos signala kroz standardni telefonski kanal (paricu) s aditivnim bijelim šumom

Potrebno je otvoriti već gotov *Simulink* model

adsl_standardni_kanal.mdl

koji je prikazan na slici 5.4.

Proučite model!



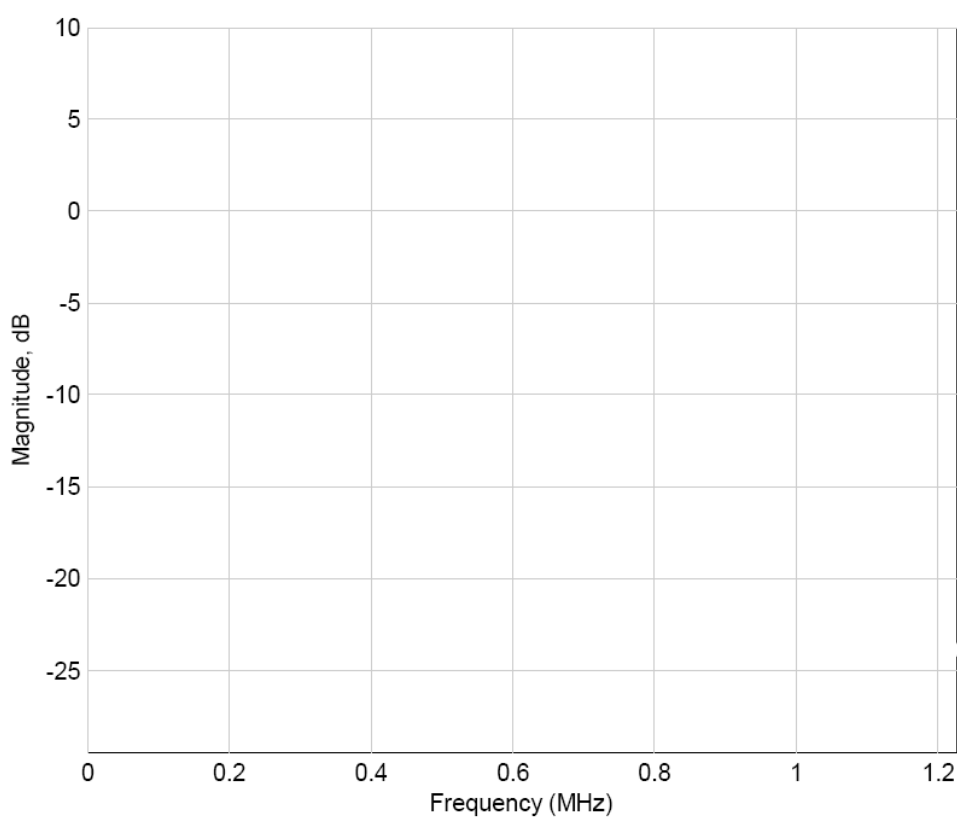
Slika 5.4 Model *adsl_standardni_kanal.mdl*

Otvorite blok **Telefonska linija** (dvostrukim klikom na blok) i unutar njega otvorite blok **AWGN** (također dvostrukim klikom na blok). U otvorenom bloku **AWGN** namjestite vrijednost odnosa E_s/N_0 od 20 dB (u polju E_s/N_0 [dB] treba upisati brojku 20), a ostale postavke ne dirajte. Nakon što ste namjestili tu vrijednost pokrenite simulaciju. U tablicu 5.1. upišite rezultate simulacije. Postupak ponovite i za sljedeće vrijednosti omjera E_s/N_0 : 25, 26, 27 dB. Sve dobivene rezultate potrebno je upisati u tablicu 5.1.

Tablica 5.1. Rezultati simulacije za standardni telefonski kanal

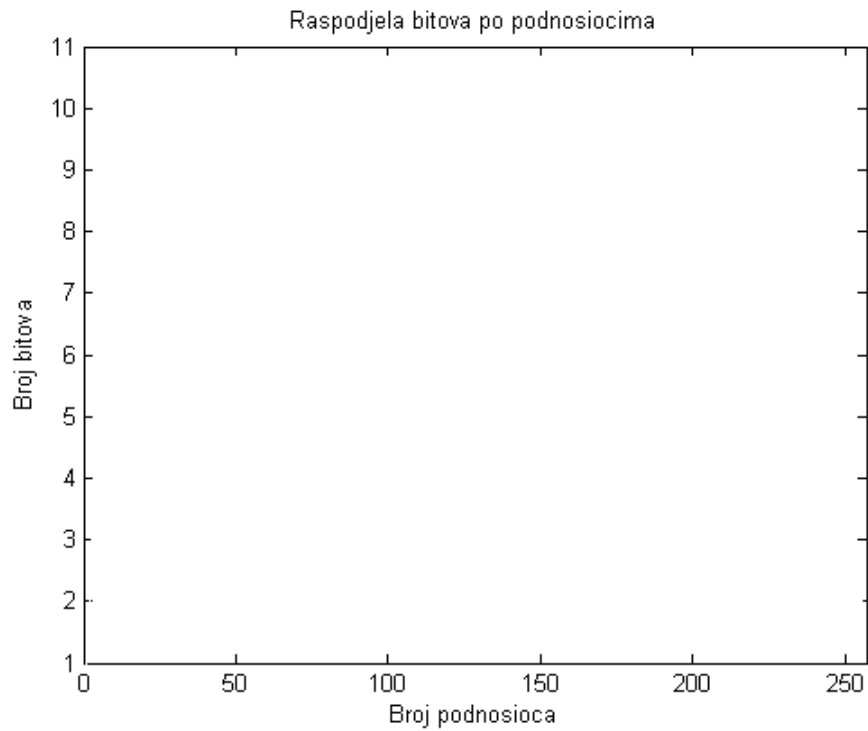
E_s/N_0 , dB	BER (bez prepletanja)	BER (s prepletanjem)	Ukupni BER
20			
25			
26			
27			

U sliku 5.5. ucrtajte spektar signala na ulazu u telefonsku liniju i spektar signala na izlazu iz telefonske linije.



Slika 5.5. Spektar signala na ulazu i izlazu iz telefonske linije

Otvorite blok **Prikaz dodjele bitova pojedinim potkanalima** i ucrtajte dobiveni rezultat u sliku 5.6.



Slika 5.6. Dodjela bitova pojedinim podnosiocima

Pitanja:

Usporedite sliku 5.5. i 5.6. Što zaključujete?

Usporedite rezultate BER-a u stazi bez prepletanja i BER-a u stazi s prepletanjem. Što zaključujete?

Zašto se dobivaju takvi rezultati?

Kada BER-ovi u različitim stazama postaju isti?

Zatvorite *Simulink* model **adsl_standardni_kanal.mdl**.

5.3.2. *Prijenos signala kroz nestandardni telefonski kanal s aditivnim bijelim šumom*

Potrebno je otvoriti već gotov *Simulink* model
adsl_drugi_kanal.mdl

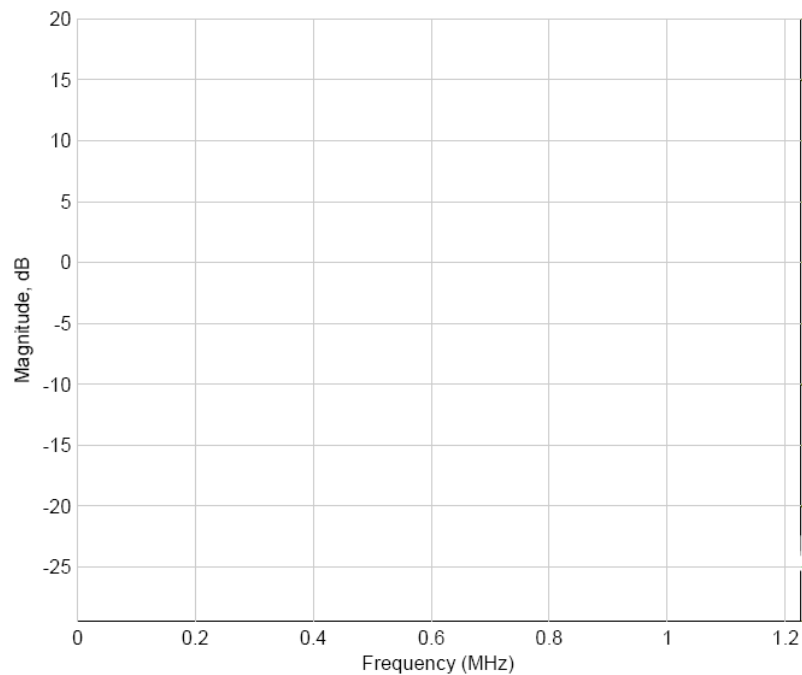
Ovaj model razlikuje se od prethodnog samo u prijenosnom kanalu! Raspodjela bitova po potkanalima ostala je ista!

Otvorite blok **Telefonska linija** (dvostrukim klikom na blok) i unutar njega otvorite blok **AWGN** (također dvostrukim klikom na blok). U otvorenom bloku **AWGN** namjestite vrijednost odnosa E_s/N_0 od 20 dB (u polju E_s/N_0 [dB] treba upisati brojku 20), a ostale postavke ne dirajte. Nakon što ste namjestili tu vrijednost pokrenite simulaciju. U tablicu 5.2. upišite rezultate simulacije. Postupak ponovite i za sljedeće vrijednosti omjera E_s/N_0 : 26, 43, 44 dB. Sve dobivene rezultate potrebno je upisati u tablicu 5.1.

Tablica 5.2. Rezultati simulacije za nestandardni telefonski kanal

E_s/N_0 , dB	BER (bez prepletanja)	BER (s prepletanjem)	Ukupni BER
20			
26			
43			
44			

U sliku 5.7. ucrtajte spektar signala na ulazu u telefonsku liniju i spektar signala na izlazu iz telefonske linije.



Slika 5.7. Spektar signala na ulazu i izlazu iz nestandardne telefonske linije

Pitanja:

Usporedite rezultate BER-a u stazi bez prepletanja i BER-a u stazi s prepletanjem. Što zaključujete?

Usporedite dobivene rezultate s onima iz poglavlja 5.3.1.

U kojem kanalu (standardna ili nestandardna telefonska linija) se dobivaju bolji rezultati? Zašto?

Što možemo učiniti da bi prijenos podataka kroz proizvoljni kanal bio optimalan (pretpostavite da je poznata prijenosna karakteristika kanala)?