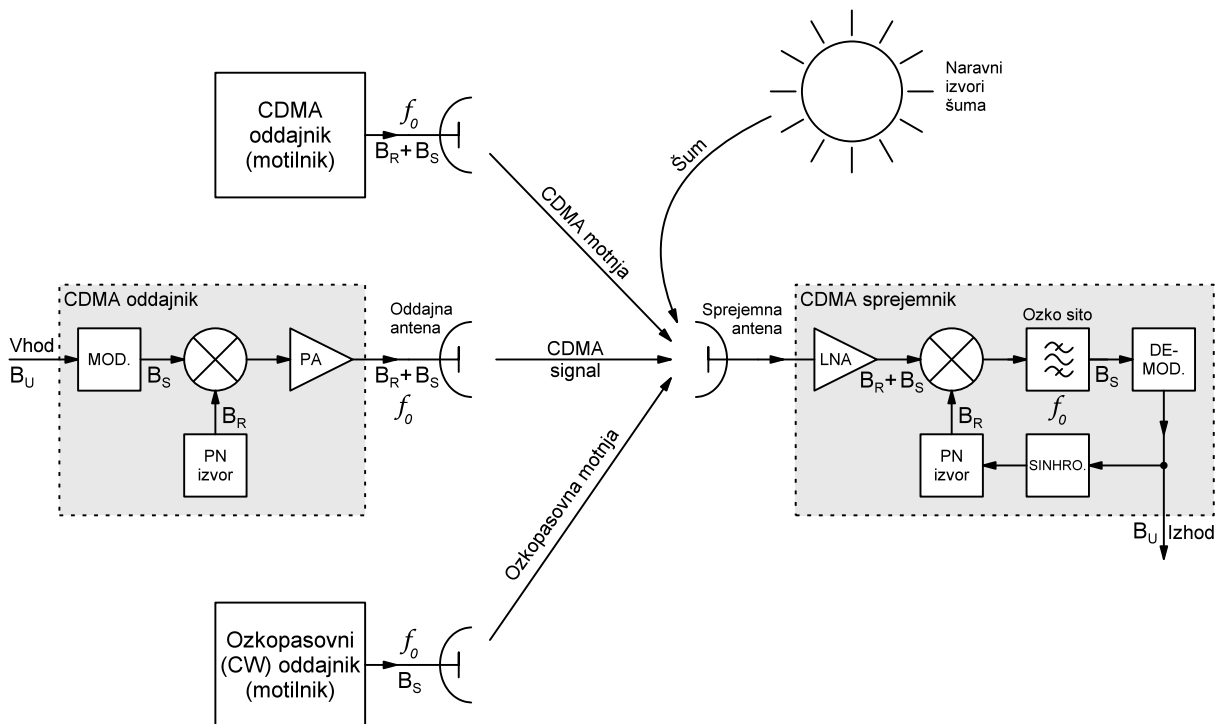


Motnje pri prenosu signalov z razširjenim spektrom

Razmerje signal/motnja pri kodnem multipleksu

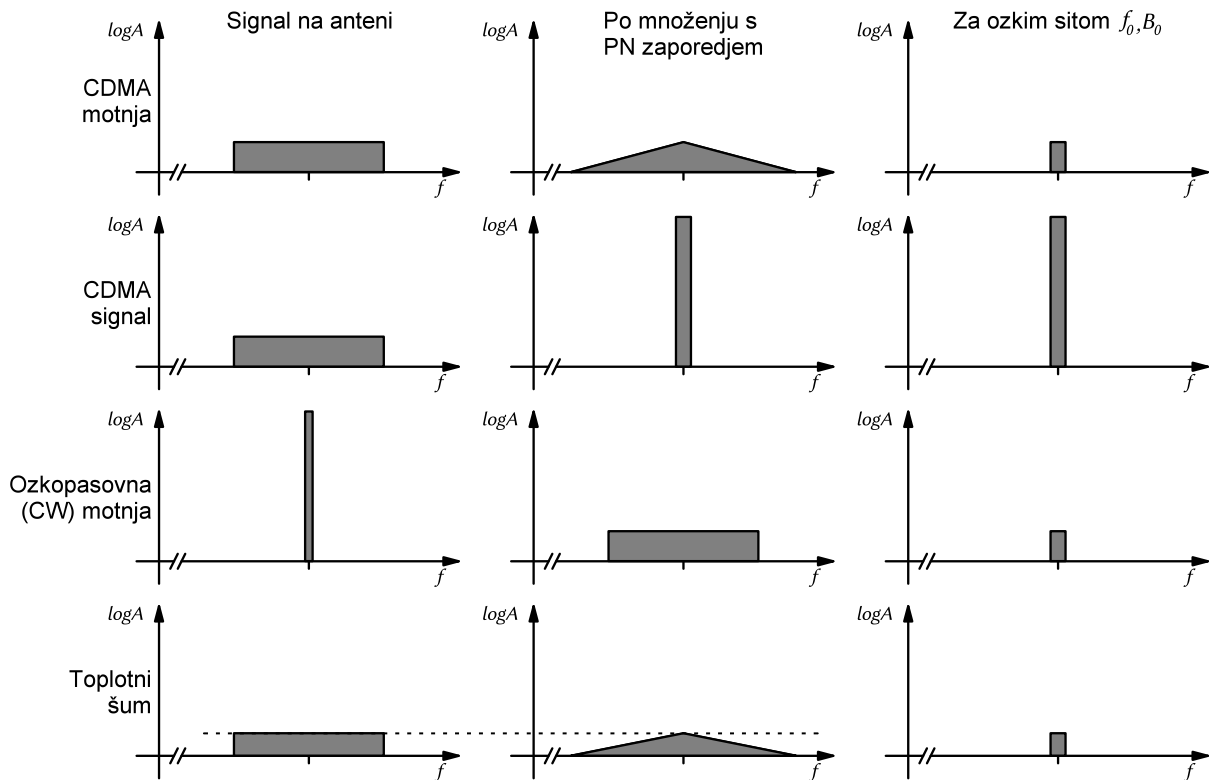
Sistemi radijskih zvez načeloma omogočajo tri različne načine multipleksiranja: frekvenčni multipleks (FDMA, vsakemu uporabniku je dodeljen določen frekvenčni pas), časovni multipleks (TDMA, vsakemu uporabniku je dodeljena časovna rezina) in kodni multipleks (spread spectrum ali CDMA, vsakemu uporabniku je dodeljena lastna razpršilna koda iz določenega nabora med sabo čimbolj ortogonalnih razpršilnih kod).

Osnovo delovanja sistemov s kodnim multipleksom (CDMA) prikazuje Slika 1. Spekter moduliranega radijskega signala s pasovno širino B_S razširimo s pomočjo v naprej znanega, psevdonaključnega (PN) razpršilnega zaporedja z dosti večjo pasovno širino B_R . Na sprejemni strani signal množimo z enakim PN zaporedjem, ki je natančno sinhronizirano s PN zaporedjem oddajnika. Pri tem se frekvenčni spekter željenega signala skrči nazaj na prvotno pasovno širino B_S , frekvenčni spektri različnih motenj drugih CDMA uporabnikov in ostalih (ozkopasovnih) uporabnikov v istem frekvenčnem pasu (f_0) pa se celo razširijo (to velja tudi za toplotni šum).



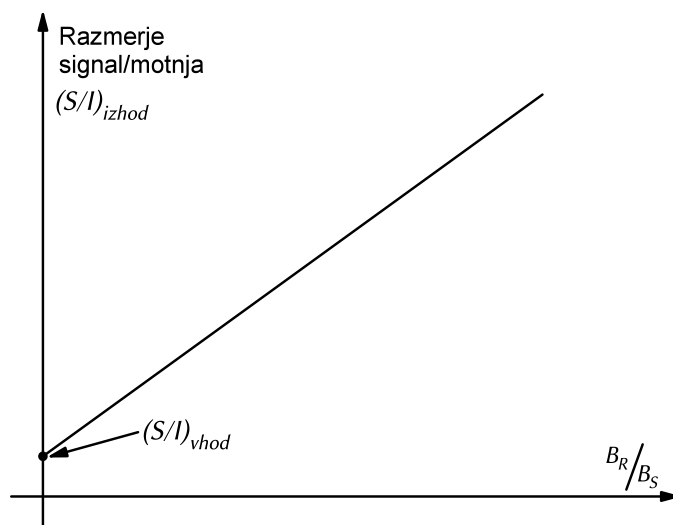
Slika 1: Motnje in šum v sistemu s kodnim multipleksom (CDMA)

Željeni signal v sprejemniku nato izsejemo s ozkim pasovno-prepustnim sitom s pasovno širino B_S . Ozko sito pri tem v celoti prepušča obdelani željeni signal in hkrati odstrani večino spektralnih komponent šuma in motenj, kot to za različne signale prikazuje Slika 2. V sistemu s kodnim multipleksom (CDMA) moramo zato vedno računati z motnjami, ki v sprejemnik zaidejo z drugih oddajnikov, a so le te v pravilno načrtovanem sistemu zadosti majhne. Po drugi strani je po svoji zasnovi CDMA sistem do določene meje odporen tudi na ozkopasovne (namerne ali nenamerne) motnje.



Slika 2: Spektri signalov med obdelavo v CDMA sprejemniku

Glavna prednost uporabe kodnega multipleksa (CDMA) v radijskih zvezah je odpornost na presih in popačenje zaradi razširjanja signala po več različnih poteh (urbani kanjoni). Pravilno načrtovan CDMA sprejemnik obravnava različne žarke istega signala kot neodvisne signale, ki jih lahko med sabo loči, demodulira in optimalno sestavi. Dodatna prednost je možnost uporabe zaščitnega kodiranja za vnaprejšnje popraviljanje napak, kar v CDMA sistemu ne prinaša povečanja pasovne širine signala, saj lahko zaščitno kodiranje obravnavamo kot del razpršilnega signala.



Slika 3: Dobitek razmerja signal/motnja v CDMA sprejemniku

Zaščitno kodiranje za vnaprejšnje popraviljanje napak je sicer običajno v vseh številskih CDMA sistemih, saj je dovoljeno razmerje signal/motnja tudi po skrčenju spektra nazaj na pasovno širino B_S in po filtriranju z ozkim sitom še vedno razmeroma nizko.

Pri načrtovanju sistema radijskih zvez s kodnim multipleksom moramo zato skrbno opazovati razmerje signal/šum oziroma signal/motnja, saj tega razmerja ne moremo popraviti s povečanjem moči oddajnika.

Večja moč oddaje namreč povzroči zgolj večji šum v vseh ostalih sprejemnikih. V vsakem CDMA sistemu je zato ključni podatek dobitok razmerja signal/motnja pri skrčenju spektra nazaj na širino B_S po obdelavi v samem sprejemniku. Dobitek razmerja signal/motnja je tako sorazmeren kar razmerju pasovnih širin pred in po skrčenju spektra signala v sprejemniku $(B_R + B_S)/B_S$, kot to prikazuje Slika 3. Pri tem dobitok razmerja S/I zapišemo kot:

$$S/I_{izhod} = S/I_{vhod} \cdot \left(1 + \frac{B_R}{B_S}\right)$$

Kadar je pasovna širina psevdonaključnega razširitvenega signala B_R bistveno večja od pasovne širine osnovnega signala B_S , lahko zgornjo enačbo poenostavimo v:

$$S/I_{izhod} \approx S/I_{vhod} \cdot \frac{B_R}{B_S}$$

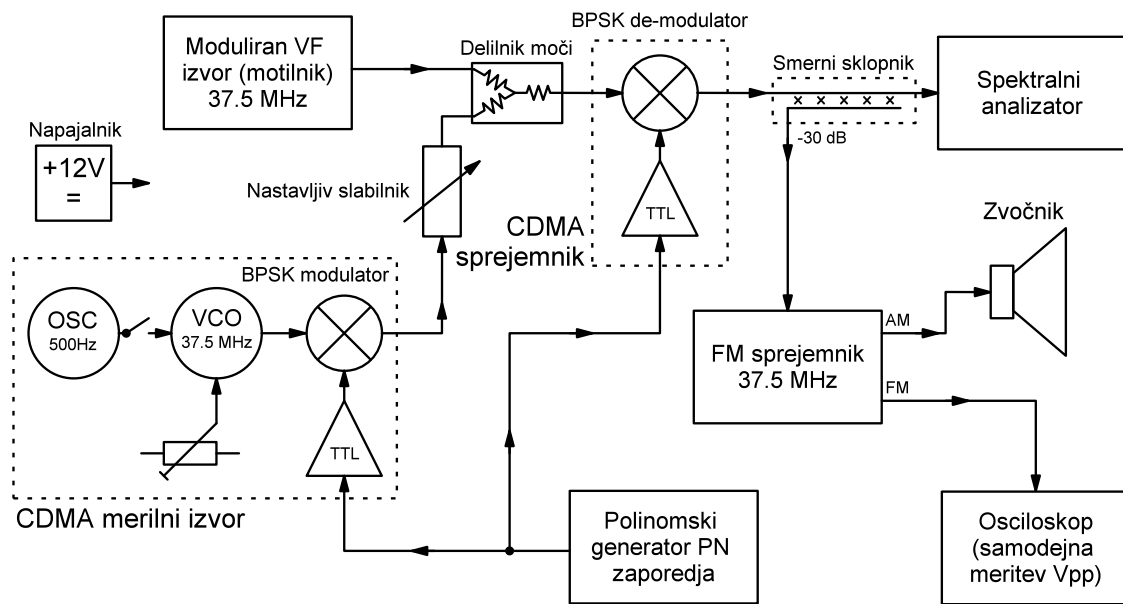
Kljub visokemu dobitku razmerja signal/motnja v nekaterih sistemih zvez s kodnim multipleksom (razmerje B_R/B_S običajno nekje med 100 in 1000), je zmogljivost celotnega CDMA sistema še vedno hudo omejena s samim razmerjem signal/motnja, saj se na vhodnih sponkah sprejemnika vsi signali ostalih uporabnikov seštevajo v motnjo. CDMA sistemi so se zato uveljavili le tam, kjer zmanjšanje zmogljivosti zaradi slabega razmerja signal/motnja nadomesti odpornost CDMA sistemov na presih in popačenje, naprimer v sistemih satelitske navigacije.

Seznam potrebnih pripomočkov

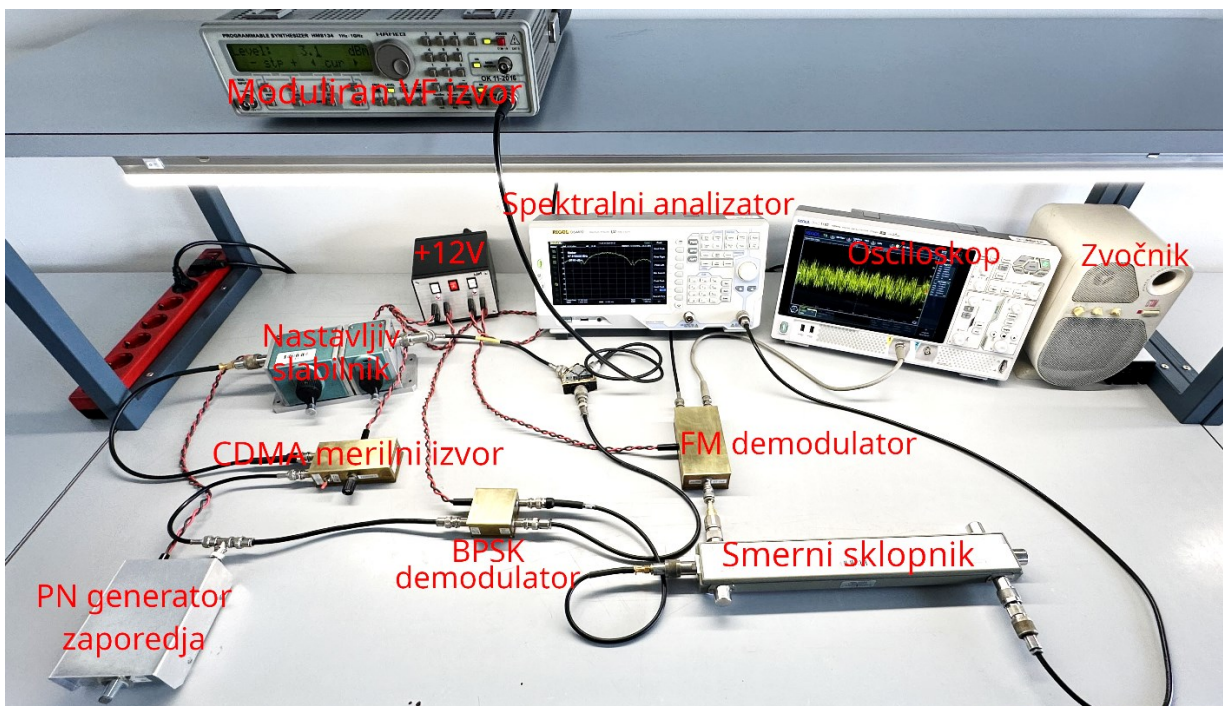
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Modulirani visokofrekvenčni izvor (37.5 MHz), ki ga uporabljamo kot motilec
- CDMA merilni izvor za 37.5 MHz z možnostjo vklopa notranje frekvenčne modulacije (2 kHz sinus, 85 kHz koleb) in zunanjim priključkom za BPSK modulacijo
- Nastavljiv slabilnik
- Uporovni delilnik moči -6 dB
- BPSK de-modulator s TTL vhodom
- -30dB smerni sklopnik
- Visokofrekvenčni spektralni analizator 0-100 MHz
- FM sprejemnik (AM/FM demodulator) za 37.5MHz
- Zvočnik (z vgrajenim nizkofrekvenčnim ojačevalnikom)
- Osciloskop. Z možnostjo samodejne meritve V_{pp} s povprečenjem
- Polinomski generator PN zaporedij z nastavljivim izvorom takta
- Priključne kable za vse povezave

Vezavo merilnih pripomočkov prikazuje Slika 4, razporeditev pa Slika 5.



Slika 4: Skica merilne postavitve



Slika 5: Slika vezave merilnih pripomočkov

Opis poteka vaje

V vaji izmerimo odpornost CDMA zveze na ozkopasovne motnje kot funkcijo pasovne širine razpršilnega signala B_R . Če skrčimo širino razpršilnega signala B_R na nič, lahko z isto postavitvijo merilnih pripomočkov izmerimo tudi odpornost običajne (v našem primeru analogne) zveze na iste motnje. Kot izvor željenega signala ter kot motilec uporabimo dva podobna analogna FM oddajnika. Prvi je že vgrajen v notranjost CDMA merilnega izvora. Drugi (motilnik) je univerzalni VF signalni generator, ki mu nastavimo enak koleb (85 kHz), toda drugačno modulacijsko frekvenco (okoli 1.9 kHz) kot v primeru koristnega izvora signala.



Razmerje signal/motnja lahko merimo na vhodu FM sprejemnika s spektralnim analizatorjem ter na izhodu FM sprejemnika z osciloskopom. V vaji iščemo tisto vhodno razmerje signal/motnja, ki nam daje na izhodu FM sprejemnika (torej opazovano na osciloskopu) razmerje signal/motnja (ali signal/šum) 12dB (razmerje moči v linearnih enotah 16:1 oziroma razmerje napetosti 4:1). Izhodno razmerje signal/šum določimo iz razmerja izmeničnih napetosti (V_{pp}), ki jih odčitamo z vključenim oziroma izključenim motilnikom.

Kot razpršilno zaporedje uporabimo dovolj dolgo (vsaj $1 + X^{12} + X^{17}$) psevdonaključno zaporedje iz polinomskega generatorja. Ker sta oddajnik in sprejemnik dostopna na istem mestu, uporabimo en sam polinomski generator, ki hkrati krmili oba množilnika (balančna mešalnika) v oddajniku in v sprejemniku. Povsem jasno v laboratorijskem poskusu ne potrebujemo kompliciranega vezja za sinhronizacijo sprejemnika.

Množilnika (mešalnika) se obnašata kot simetrična BPSK modulatorja. Prvi množilnik v oddajniku doda signalu psevdonaključno fazno modulacijo 0 ali 180 stopinj. Drugi množilnik pred sprejemnikom doda še enkrat 0 ali 180 stopinj, kar da skupaj z oddajnikom 0 ali 360 stopinj. Če sta krmilna PN signala obeh množilnikov povsem enaka (sinhronizirana), fazna modulacija izgine (0 stopinj je isto kot 360 stopinj) in spekter željenega signala se skrči nazaj na prvotno vrednost B_S .

V laboratorijski postavitvi moramo pri krmiljenju sprejemnega množilnika paziti na primerno jakost vhodnih signalov. Signali večji od -10 dBm prekrmlijo množilnik, signali manjši od -50 dBm pa se izgubijo v šumu samega množilnika oziroma presluhu psevdonaključnega zaporedja. Končno lahko prekinemo dovod psevdonaključnega zaporedja oddajnemu, sprejemnemu ali obema množilnikoma tako, da iztaknemo BNC vtikač ustreznega kabla. S tem preverimo delovanje vseh gradnikov merilne postavitve z neposrednim opazovanjem spektra signala na spektralnem analizatorju.

Vajo pričnemo tako, da najprej preverimo delovanje CDMA zveze brez motenj, se pravi z izključenim motilnikom. Jakost signala na izhodu CDMA izvora s pomočjo zunanje nastavljivega slabilnika nastavimo na približno -30 dBm, kar lahko takoj očitamo na zaslonu spektralnega analizatorja. Oddajno frekvenco CDMA izvora poglasimo s poslušanjem piska na izhodu FM sprejemnika s pomočjo zvočnika. Ko slišimo jasen pisk brez šuma (pri izključenem motilniku) smo ustrezno nastavili oddajno frekvenco. Oddajnik mora pri tem seveda biti v načinu izbire »FM«.

Razmerje signal/šum na izhodu FM sprejemnika pomerimo pri različnih taktih frekvencah polinomskega izvora, nazadnje pa tudi z izključenim PN generatorjem (brez razširjanja spektra). Tega se lotimo tako, da izključimo motilni signal in pomerimo napetost vrh-vrh $V_{pp}(\text{signal})$ na osciloskopu (priklučen na izhod FM sprejemni). Nato vključimo motilnik in nastavimo njegovo moč tako, da izmerjena napetost znaša $V_{pp}(\text{signal}+\text{šum}) = 1.25 V_{pp}(\text{signal})$. Takrat znaša razmerje signal/motnja 12 dB (oziroma 1:4 pri meritvi napetosti). Postopek ponovimo za različne pasovne širine takta psevdonaključnega zaporedja.

Na koncu rezultate izrišemo na graf kot dopustno razmerje jakosti signal/motnja v odvisnosti od taktne frekvence psevdonaključnega signala. Na isti graf izrišemo tudi teoretsko vrednost, kjer upoštevamo širino sita $B_S = 250 \text{ kHz}$ v FM sprejemniku ter B_R enak takti frekvenci zaporedja. Teoretskemu rezultatu je potrebno prišteti približno 10 dB zaradi »kolena« FM demodulatorja.

**FE**UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za elektrotehniko**LSO**Laboratorij za
sevanje in optiko

Naloga

1. Sledite postopkom na zbirnem listu, da ustrezno umerite merilno postavitev.
2. Izmerite dopustno razmerje S/I za različne taktne frekvence psevdonaključnega signala.
3. Dopustno razmerje S/I v odvisnosti od taktne frekvence psevdonaključnega signala izrišite na graf.