

## VAJA 24. - DOBITEK RAZMERJA SIGNAL/MOTNJA V CDMA SPREJEMNIKU

## 1. Razmerja 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).

Osnova delovanja sistemov s kodnim multipleksom (CDMA) je prikazana na sliki 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  $B_s$ , frekvenčni spektri različnih motenj drugih CDMA uporabnikov in ostalih (ozkopasovnih) uporabnikov v istem frekvenčnem pasu ( $f_0$ ) ter spekter toplotnega šuma pa se celo razširijo.

Željeni signal v sprejemniku nato izsejemo s ozkim 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 je to prikazano za različne signale na sliki 2. V sistemu s kodnim multipleksom (CDMA) moramo zato vedno računati z motnjami drugih uporabnikov, ki pa so v pravilno načrtovanem sistemu zadosti majhne. Po drugi strani je CDMA sistem do določene meje odporen tudi na motnje ozkopasovnih (starejših) sistemov in hkrati tem sistemom zvez povzroča razmeroma malo motenj zaradi majhne spektralne gostote moči oddaje z razširjenim spektrom.

Glavna prednost uporabe kodnega multipleksa (CDMA) v mobilnih zvezah je odpornost na presih in popačenje zaradi razširjanja signala po več različnih poteh. 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 popravljanje napak, kar v CDMA sistemu ne prinaša povečanja pasovne širine signala, saj lahko zaščitno kodiranje obravnavamo kot del razpršilnega signala.

Zaščitno kodiranje za vnaprejšnje popravljanje napak je sicer običajno v vseh številskih CDMA sistemih, saj je razpoložljivo razmerje signal/motnja tudi po skrčenju spektra nazaj na  $B_s$  in za ozkim sitom še vedno razmeroma nizko. V analognih CDMA sistemih pa moramo zaradi nizkih razmerij signal/šum in signal/motnja uporabiti takšno vrsto modulacije, ki deluje že z nizkimi razmerji signal/šum na visokofrekvenčni strani, naprimer analogno frekvenčno modulacijo z velikim modulacijskim indeksom "m" (razmerjem med kolebom in modulacijsko frekvenco).

Pri načrtovanju sistema radijskih zvez s kodnim multipleksom moramo zato skrbno opazovati razmerje signal/šum oziroma signal/motnja, saj ga ne moremo popraviti s povečanjem moči oddajnika. V vsakem CDMA sistemu je zato ključni podatek dobitek razmerja signal/motnja pri skrčenju spektra v sprejemniku. Dobitek razmerja signal/motnja je kar sorazmeren razmerju pasovnih širin pred ( $Br+Bs$ ) in po ( $Bs$ ) skrčenju spektra signala v sprejemniku, kot je to prikazano na sliki 3.

Kljub visokemu dobitku razmerja signal/motnja v nekaterih sistemih zvez s kodnim multipleksom (razmerje  $Br/Bs$  je običajno nekje med 100 in 1000), je zmogljivost celotnega CDMA sistema še vedno hudo omejena z 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 zemeljskih mobilnih zvezah (Rayleigh-ova statistika presiha).

## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

-----

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Modulirani visokofrekvenčni izvor (37.5MHz), ki ga uporabljamo kot motilec.
- (2) CDMA merilni izvor za 37.5MHz z notranjo frekvenčno modulacijo (500Hz sinus) in zunanjim priključkom za BPSK modulacijo.
- (3) Dva nastavljiva slabilca (če nista vgrajena v merilna izvora).
- (4) Uporovni sklopnik -6dB.
- (5) BPSK modulator s TTL vhodom.
- (6) -30dB smerni sklopnik.
- (7) Visokofrekvenčni spektralni analizator 0-1GHz.
- (8) FM sprejemnik (AM/FM demodulator) za 37.5MHz.
- (9) Izmenični voltmeter za efektivno vrednost.
- (10) Zvočnik (z vgrajenim nizkofrekvenčnim ojačevalnikom).
- (11) Osciloskop.
- (12) Polinomski generator PN zaporedij.
- (13) Nastavljivi izvor takta 100kHz...20MHz.
- (14) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 4.

## 3. Obrazložitev in opis poteka vaje

-----

V vaji izmerimo odpornost analogne CDMA zveze na ozkopasovne motnje kot funkcijo pasovne širine razpršilnega signala  $Br$ . Če skrčimo širino razpršilnega signala  $Br$  na nič, lahko s isto postavitvijo merilnih pripomočkov izmerimo tudi odpornost običajne analogne zveze na iste motnje. Kot izvor željenega signala ter kot motilec uporabimo dva podobna analogna FM oddajnika. Na motilcu nastavimo enak koleb, toda drugačno modulacijsko frekvenco od željenega signala.

Razmerje signal/motnja merimo na vhodu FM sprejemnika s spektralnim analizatorjem ter na izhodu FM sprejemnika z voltmetrom oziroma osciloskopom. V vaji iščemo tisto vhodno razmerje signal/motnja, ki nam daje na izhodu

FM sprejemnika razmerje signal/motnja ali signal/šum 12dB (razmerje moči 16:1 oziroma razmerje napetosti 4:1). Izhodno razmerje signal/šum določimo iz razmerja izmeničnih napetosti, ki jih odčitamo z vključeno oziroma izključeno frekvenčno modulacijo merilnega izvora.

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 krmili oba množilnika (balančna mešalnika) v oddajniku in v sprejemniku. Povsem jasno v laboratorijskem poskusu ne potrebujemo dveh ločenih izvorov PN zaporedij kot tudi ne kompliciranega vezja za sinhronizacijo sprejemnika.

Množilnika 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 signala obeh množilnikov povsem enaka (sinhronizirana), fazna modulacija izgine (0stopinj je isto kot 360 stopinj) in spekter željenega signala se skrči nazaj na prvotno vrednost  $B_s$ .

Pri krmiljenju sprejemnega množilnika moramo paziti na primerno jakost vhodnih signalov. Signali večji od -10dBm prekrmilijo množilnik, signali manjši od -50dBm 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. Delovanje obeh množilnikov lahko tako takoj preverimo na spektralnem analizatorju.

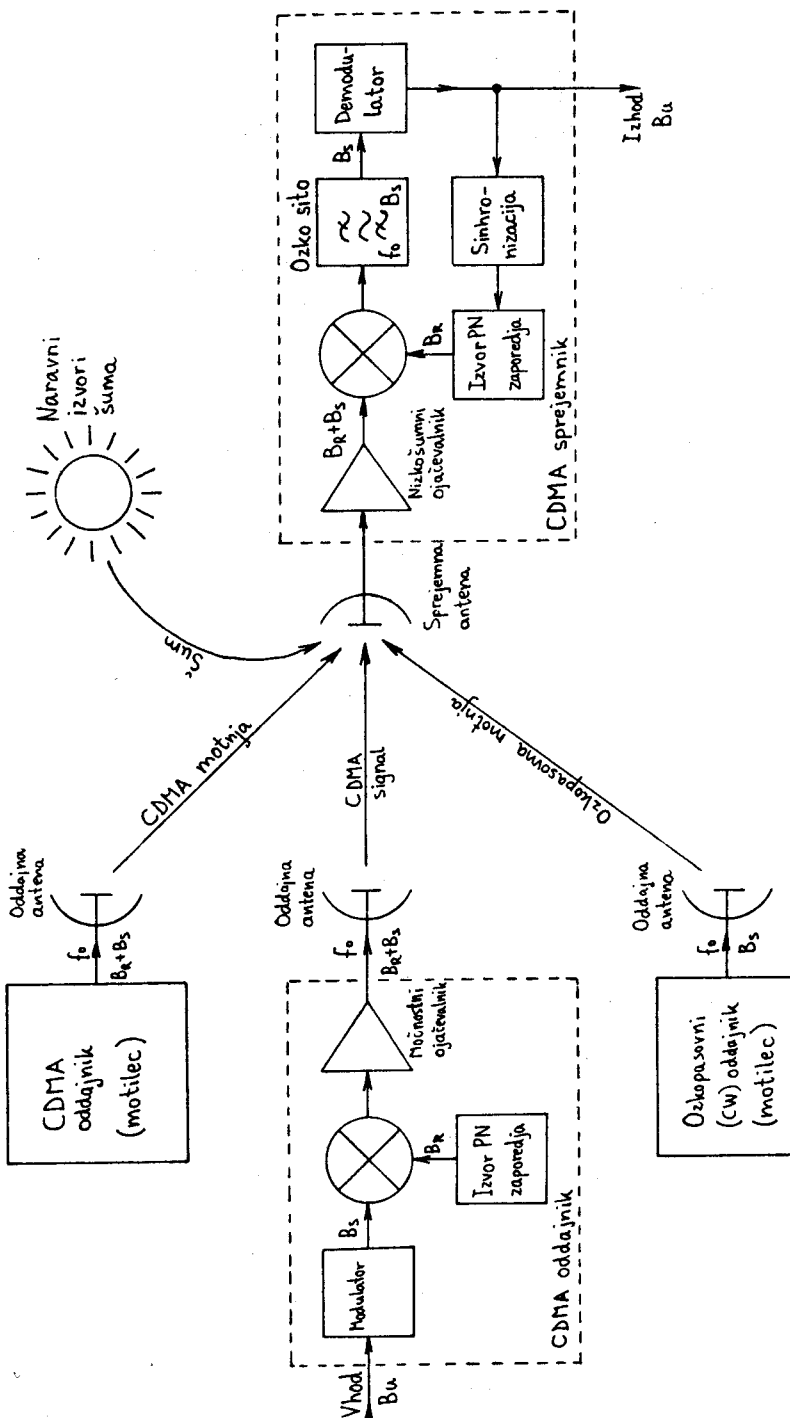
#### 4. Prikaz značilnih rezultatov

-----

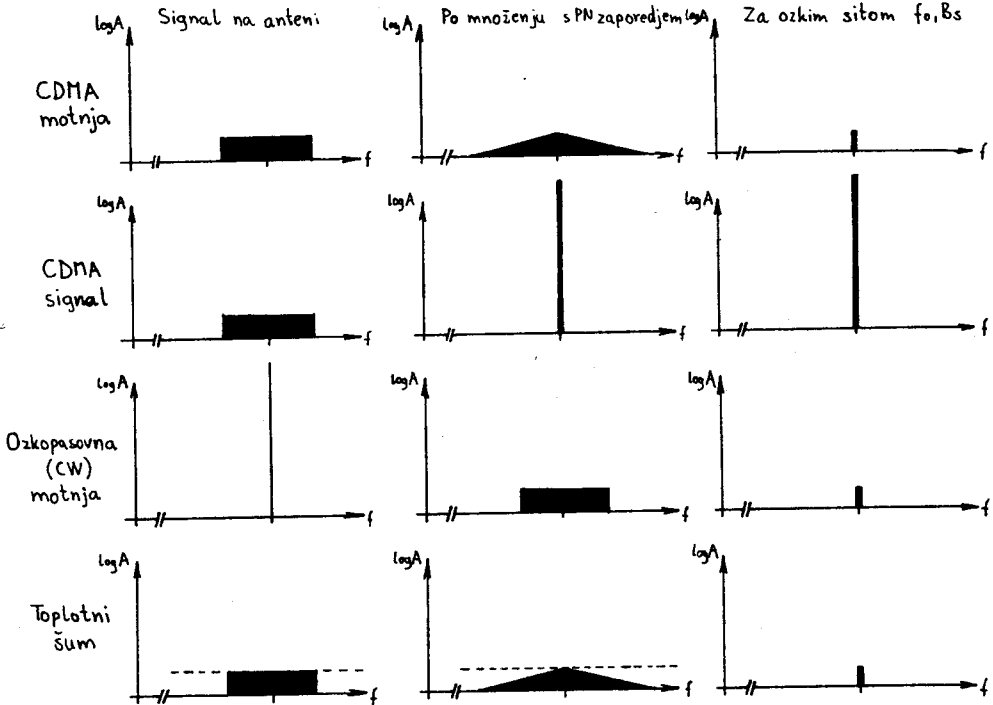
V vaji najprej preverimo delovanje CDMA zveze brez motenj, se pravi z izključenim motilcem. Jakost signala na izhodu sprejemnega množilnika nastavimo na približno -30dBm, kar lahko takoj očitamo na zaslonu spektralnega analizatorja. Razmerje signal/šum na izhodu FM sprejemnika preverimo pri različnih taktnih frekvencah polinomskega izvora kot tudi pri izključenem PN generatorju. Delovanje celotnega vezja preverimo tako, da prekinemo PN zaporedje do sprejemnega mešalnika in opazujemo sliko na zaslonu spektralnega analizatorja.

Nato izključimo merilni CDMA izvor, vključimo motilec in spet opazujemo rezultat na spektralnem analizatorju za različne taktne frekvence polinomskega generatorja. Končno vključimo oba izvora in nastavimo jakost motilca tako, da dobimo na izhodu FM sprejemnika razmerje signal/šum 12dB. Poskus ponovimo za različne taktne frekvence in za izključen polinomski generator ter na koncu izrišemo diagram: dopustno razmerje jakosti signal/motnja kot funkcija taktne frekvence psevdonaključnega zaporedja.

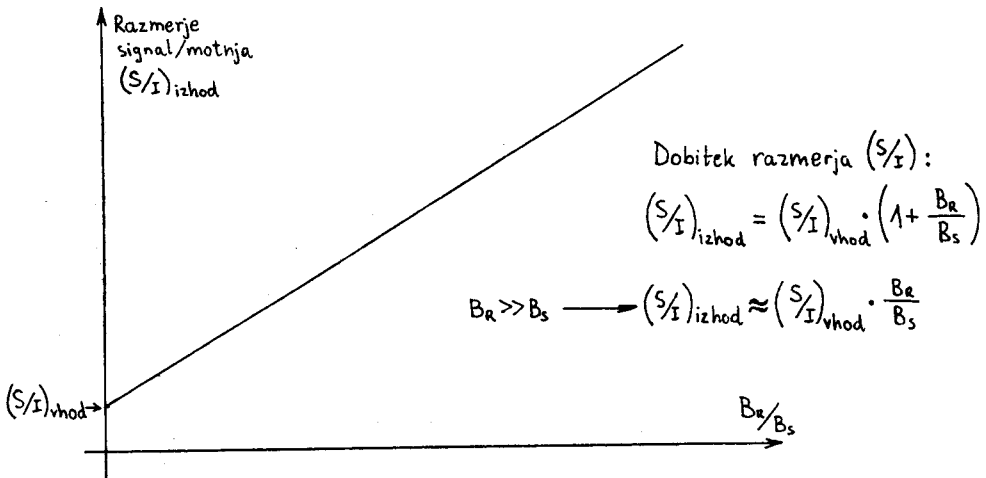
Na koncu dobljeni rezultat primerjamo s teoretsko vrednostjo, kjer upoštevamo širino sita  $B_s=250\text{kHz}$  v FM sprejemniku ter  $B_r$  enak taktni frekvenci zaporedja. Teoretskemu rezultatu moramo seveda dodati približno 10dB "kolena" FM demodulatorja.



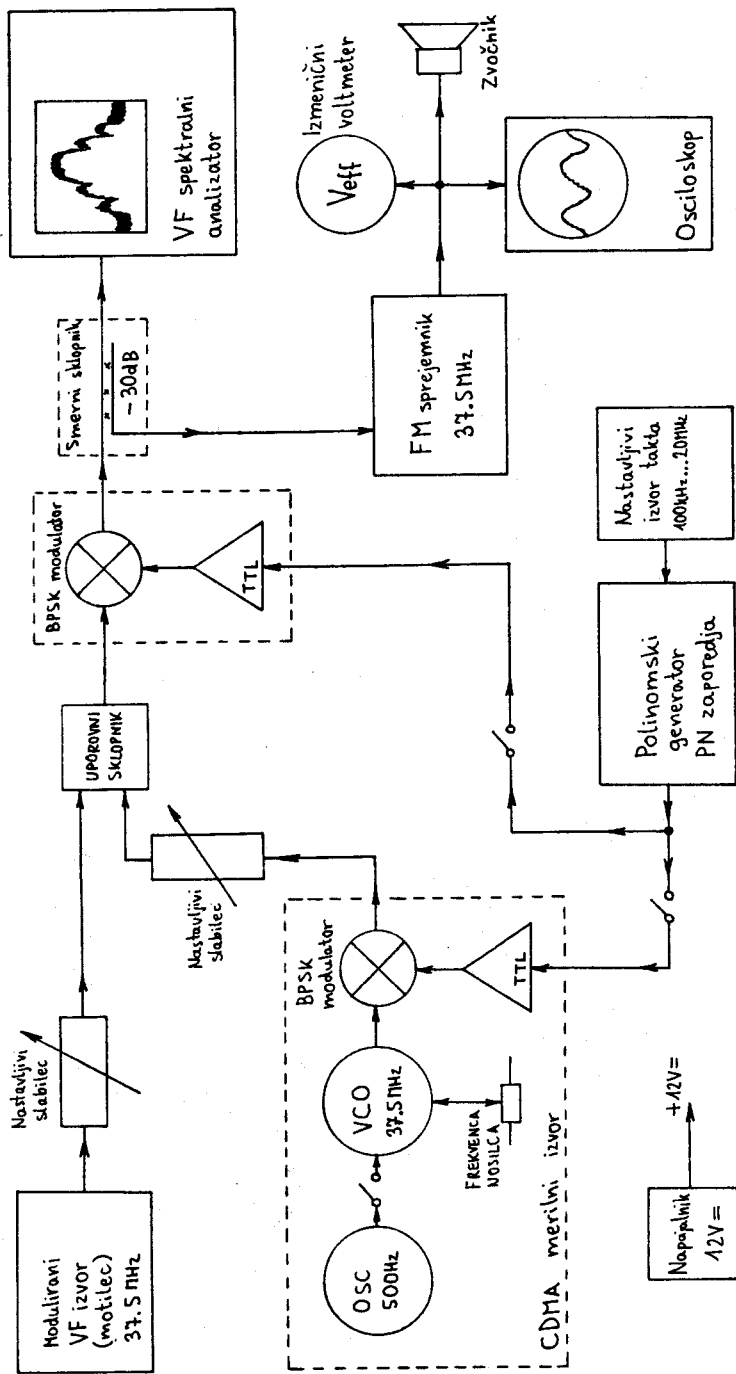
Slika 1 - Motnje in šum v sistemu s kodnim multipleksom (CDMA).



Slika 2 - Spektri signalov med obdelavo v CDMA sprejemniku.



Slika 3 - Dobitek razmerja signal/motnja v CDMA sprejemniku.



Slika 4 - Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.