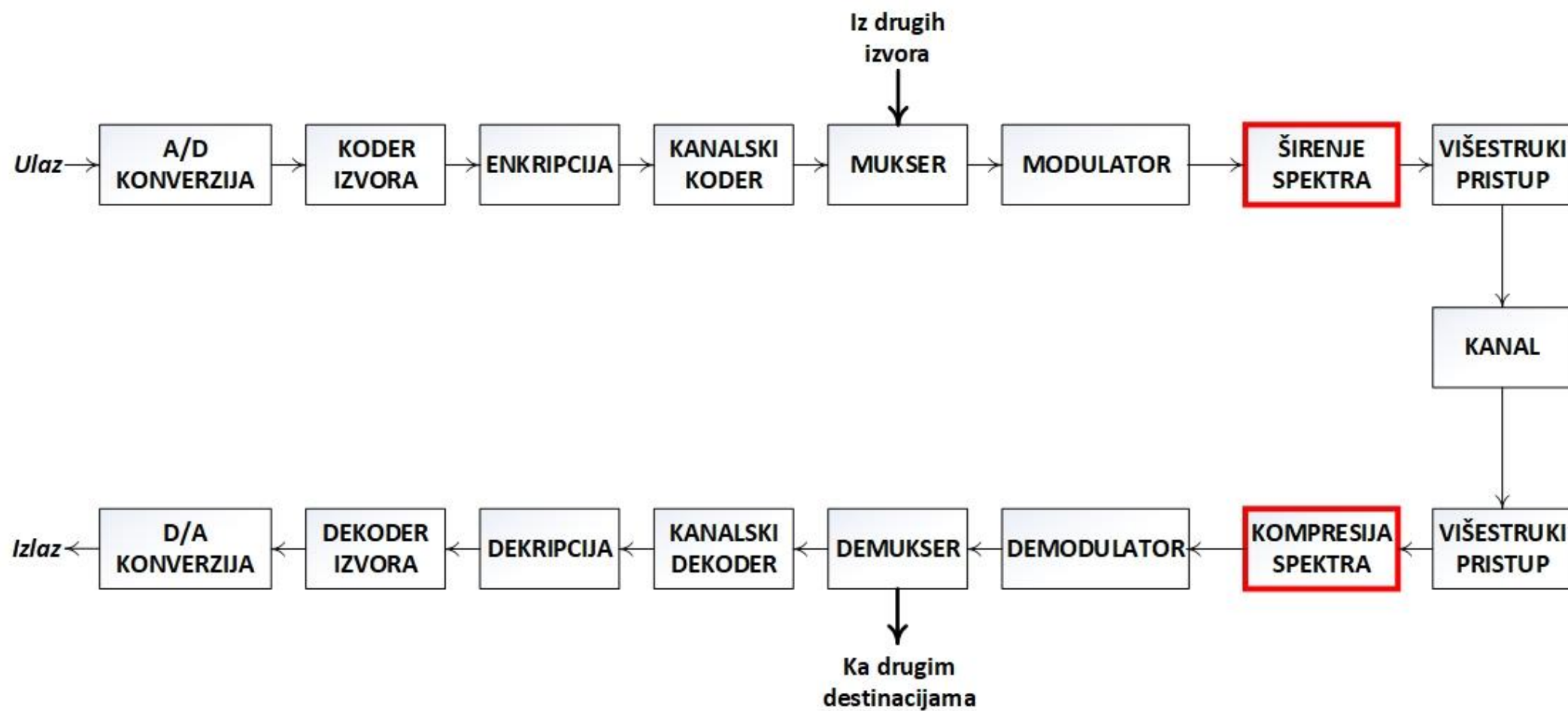


DIGITALNI KOMUNIKACIONI SISTEMI

Vežba 6

Sistemi sa proširenim spektrom

Uvod



Uvod

- Sve klasične tehnike modulacije i demodulacije optimizovane su u odnosu na telekomunikacioni kanal u kome je prisutan šum.
- Prema tome, osnovni kriterijum za izbor postupka modulacije/demodulacije je minimalna verovatnoća greške.
- Osnovni parametar za poređenje sistema je potrebna širina propusnog opsega za prenos kao i potreban odnos S/N (odnos signal – šum).
- Većina realnih telekomunikacionih kanala može uspešno da se modelira kao stacionarni šum – AWGN (*Additive white Gaussian noise*)



Uvod

- Međutim, postoje kanali koji ne mogu da se uklope u ovaj model a to su kanali u kojima su prisutni namerni ili nenamerni interferirajući signali različitih vremenskih i spektralnih karakteristika. Poseban slučaj je interferencija kao posledica višestruke propagacije signala, nju nije moguće modelirati kao AWGN.
- Zbog relanih uslova elektromagnetne sredine postoji zahtev za novim postupcima u obradi i prenosu signala, sa sledećim osnovnim zahtevima:
 - visoka otpornost na uticaj interferencije
 - visoka spektralna efikasnost
 - mala verovatnoća presretanja – LPI (*Low Probability of Interception*)
- Ispunjenje ovih zahteva moguće je ostvariti **tehnologijom proširenog spektra**.



Uvod

- Krajnje pojednostavljena definicija sistema proširenog spektra je: To su sistemi kod kojih je širina propusnog opsega za prenos signala znatno veća od minimalno potrebne.
- Druga definicija sistema sa proširenim spektrom je: To su sistemi kod kojih je ispunjen uslov:

$$B \cdot T \gg 1$$

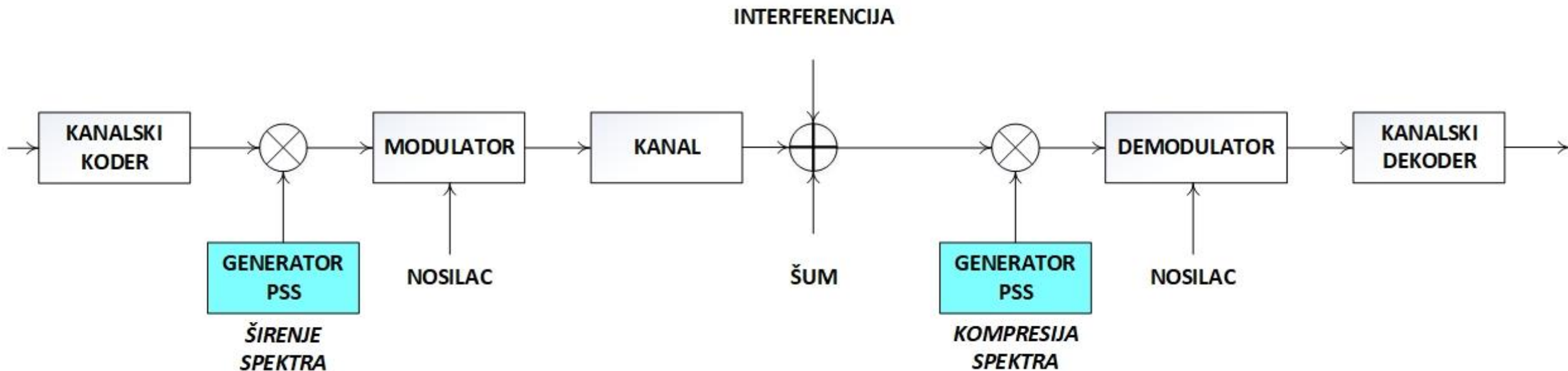
gde je B zauzeti opseg učestanosti a T signalizacioni interval. Kod konvencionalnih telekomunikacionih sistema važi da je $BT \approx 1$.

- Proizvod $G=TB$ uobičajeno se naziva procesno pojačanje sistema.



Uvod

- Funkcionalna blok šema generičkog telekomunikacionog sistema sa proširenim spektrom



- Proširenje opsega učestanosti obavlja se pomoću posebnog signala, pseudoslučajne sekvence (*Pseudo-Random Sequences*) koji je nezavisan od prenošenog signala. Ista PSS se koristi u prijemniku u procesu kompresije spektra. Jedan bit PSS naziva se **čip**.

Uvod

- Osnovne osobine sistema sa proširenim spektrom:
 - potiskivanje interferencije
 - kodni multipleks CDMA (*Code Division Multiple Access*)
 - otpornost na višestruku propagaciju
 - mala verovatnoća presretanja signala LPI (*Low Probability of Interception*)
 - tajnost prenosa
 - spektralna efikasnost



Uvod

- Potiskivanje interferencije i otpornost na višestruku propagaciju – koristan signal se širi i može biti „potpoljen“ u šum (interferirajuće signale, *multipath* signale...). Na prijemu se radi inverzan proces gde se samo koristan signal izdvaja iz ostalih signala.
- Koncept male verovatnoće presretanja (LPI) znači da sistem treba da bude tako dizajniran da je signal, u elektromagnetnom smislu, u što većoj meri nevidljiv za ostale sisteme osim za korisni prijemnik.
- Ako je ovaj uslov ispunjen presretaču je teško da locira koristan signal.



Osnovne tehnologije proširenog spektra

- Sistemi proširenog spektra mogu se svrstati u tri osnovne kategorije:
 - sistemi sa direktnom sekvencom – DS (Direct Sequence)
 - sistemi sa frekvencijskim skakanjem – FH (Frequency Hopping)
 - sistemi sa vremenskim skakanjem – TH (Time Hopping)
- Pored ove tri navedene tehnike širenja spektra, često se u SS (*Spread Spectrum*) sisteme ubrajaju i sistemi sa linearnom frekvencijskom modulacijom (*chirp*), kao i hibridne realizacije sistema za prenos signala.



Sistemi sa direktnom sekvencom

- Procesno pojačanje:

$$G_p = \frac{V_c}{V_b}$$

- V_c – brzina generisanja čipova
- V_b – brzina generisanja bita poruke koja se prenosi
- U praksi se ovaj odnos kreće i do nekoliko stotina

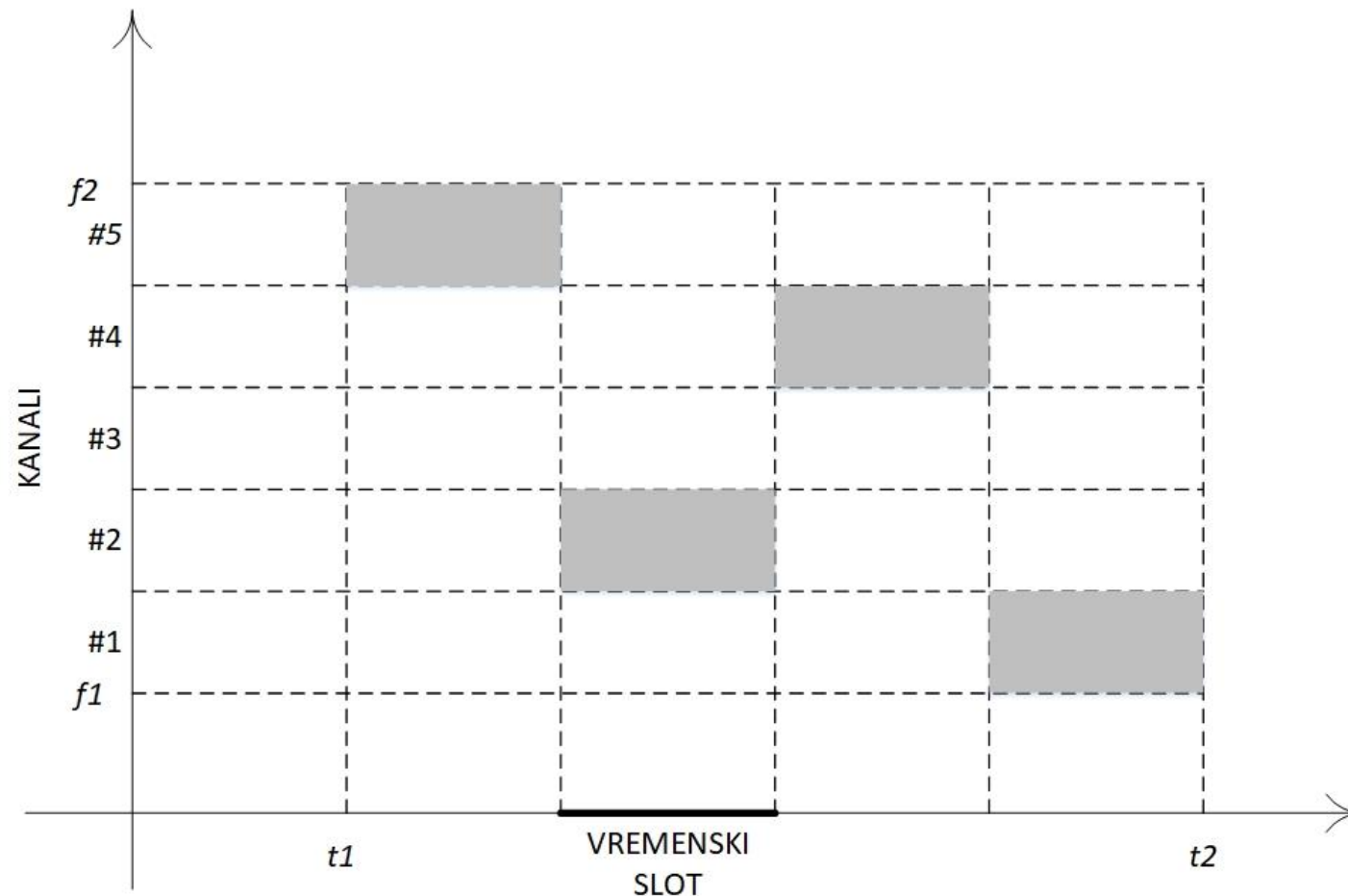


Sistemi sa frekvencijskim skakanjem

- Procesno pojačanje:

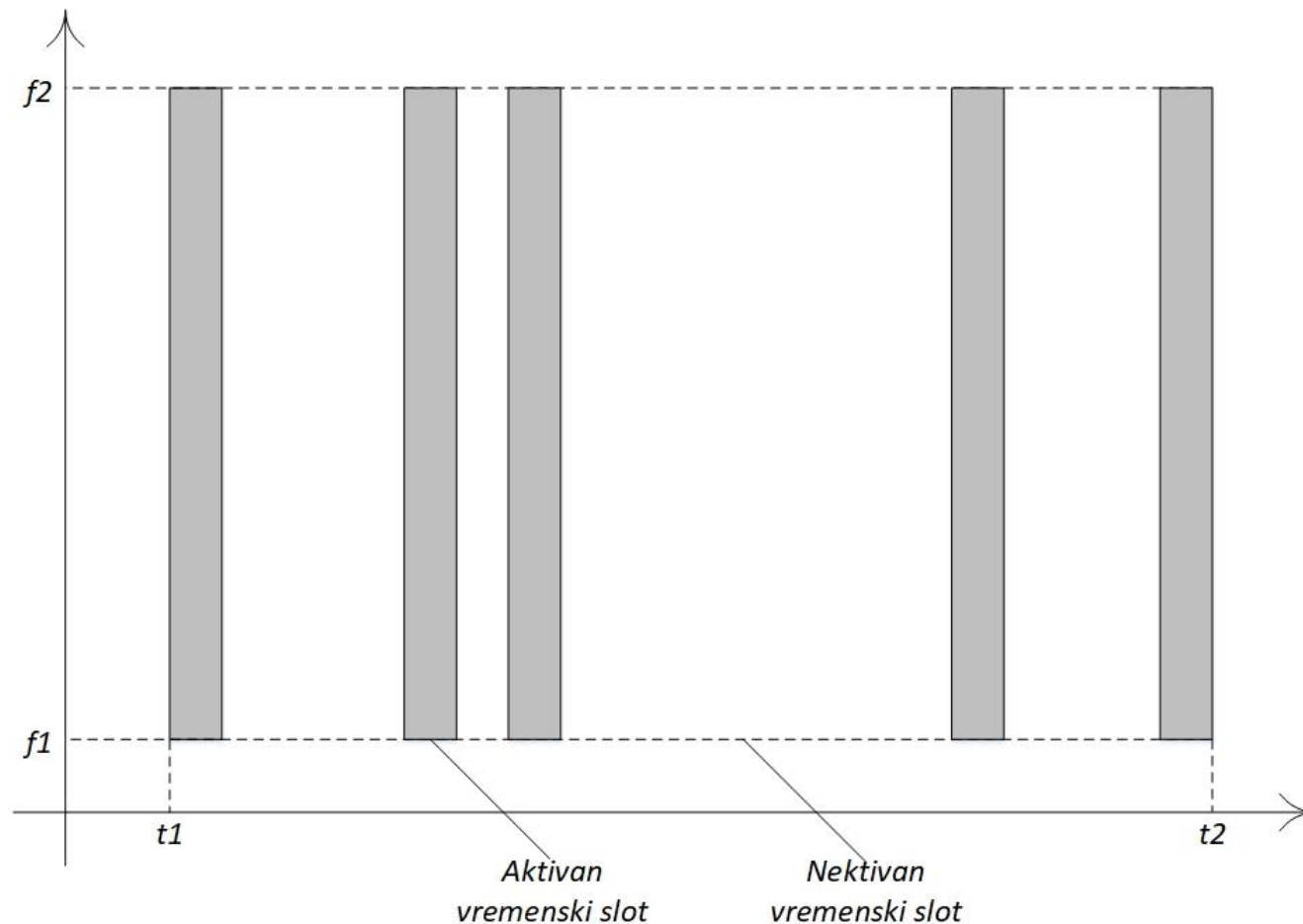
$$G_p = \frac{B_{ss}}{B_m}$$

- Bss – opseg u kome se vrši skakanje
- Bm – minimalno potreban opseg
- Za prenos signala u jednom vremenskim slotu koristi se samo jedan frekvencijski kanal



Sistemi sa vremenskim skakanjem

- Princip rada sistema sa vremenskim skakanjem je identičan sistemima sa direktnom sekvencom, s tim da se prenos signala obavlja u neregularnim vremenskim slotovima različitog trajanja



Pseudoslučajne sekvence

- Sekvence slučajnih digitalnih simbola predstavljaju klasu signala koja se vrlo često sreće u različitim oblastima savremenih telekomunikacija (treba istaći da termin slučajan kod realnih signala ne označava pravu slučajnost jer svaka konačna sekvenca posmatranih digitalnih signala nije potpuno slučajna).
- Osnovni zadatak obrade signala je da oblikuje sekvence tako da njihove karakteristike budu što više slične karakteristikama pravih slučajnih signala.
- Sekvence koje imaju karakteristike pravih slučajnih sekvenci uz osobinu da mogu da se ponove nazivaju se pseudoslučajne sekvence – PSS.



Pseudoslučajne sekvence

- Da bi se sekvenca klasifikovala kao pseudoslučajna sekvenca mora zadovoljiti određene uslove:
- 1. balansiranost – u svakoj periodi sekvence brojevi simbola {1} i simbola {-1} treba da se razlikuju najviše za jedan
- 2. dužina podnizova – *u svakoj periodi sekvence jedna polovina podnizova je dužine 1, jedna četvrtina podnizova je dužine 2, jedna osmina nizova je dužine 3...*
- 3. autokorelacija – auto-korelaciona funkcija je dvonivovska (K_1 i K_2 su konstante)

$$R_a(m) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L a_k a_{k+m} = \begin{cases} K_1, & m = 0, \pm L, \pm 2L \dots \\ K_2, & \text{za ostale vrednosti } m \end{cases}$$



Pseudoslučajne sekvence

- Primer: data je sekvenca dužine $L=7$: ...1,1,1,-1,1,-1,-1... Izračunaj autokorelaciju.

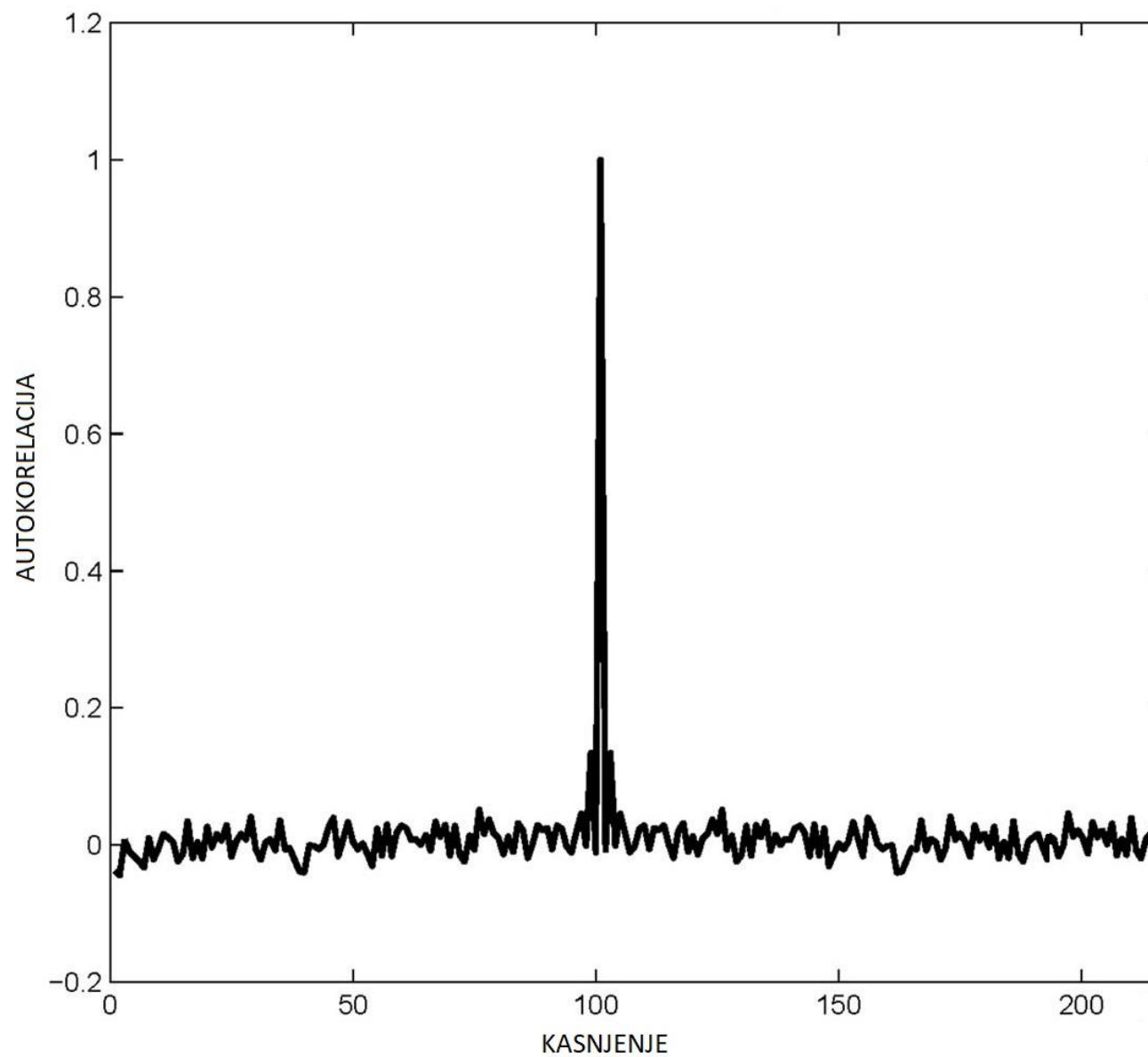
$$R_a(m) = \frac{1}{7} \sum_{k=1}^7 a_k a_{k+m} = \begin{cases} 1, & m = 0 \\ -\frac{1}{7}, & 0 < m < 7 \end{cases}$$

- **Na ovom pravilu se zasniva princip rada sistema sa proširenim spektrom.**



Pseudoslučajne sekvence

- Autokorelacija



Pseudoslučajne sekvence

- Pseudoslučajne sekvence predstavljaju određenu vrstu (ili klasu) signala pomoću kojih se obavlja širenje spektra. Ova klasa signala se koristi i u kriptografiji.
- Osnovni zahtev pri dizajnu pseudoslučajnih sekvenci je da što više liče na slučajan signal, odnosno šum.
- Dva osnovna zahteva koja mora da ispuni PSS su:
 - PSS treba da bude takva da se može ponoviti u prijemniku
 - PSS u prijemniku treba da bude sinhronizovana sa PSS u predajniku



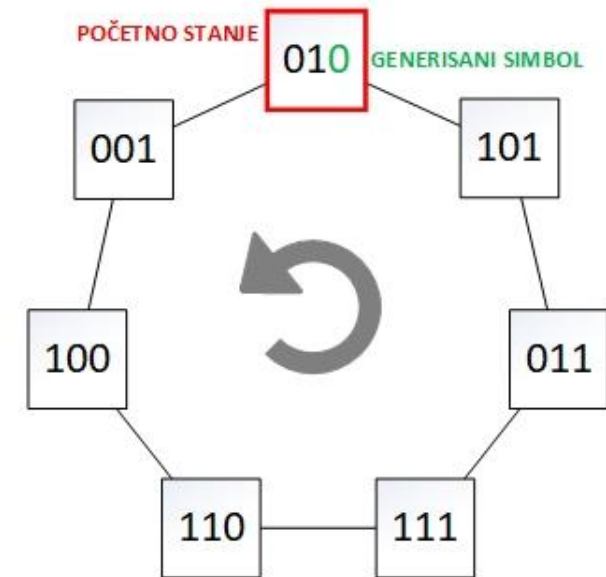
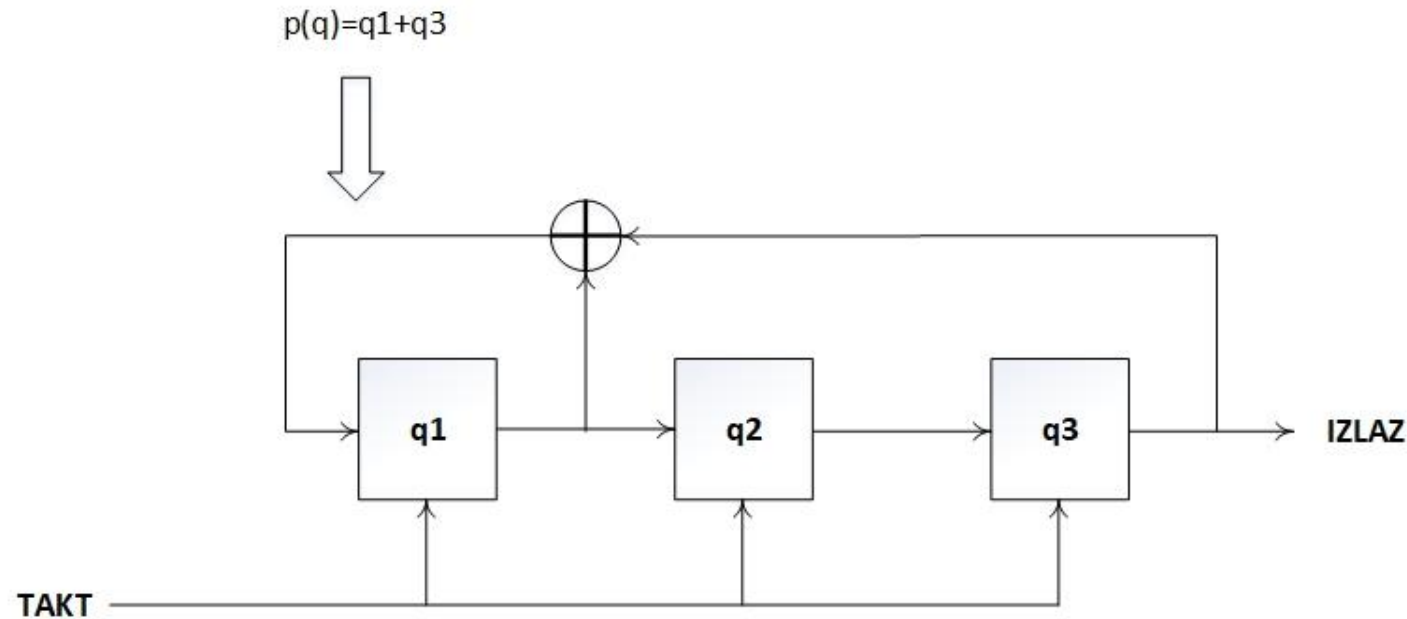
Pseudoslučajne sekvence

- Generisanje PSS je jednostavno – zasniva se na korišćenju binarnog pomeračkog registra sa povratnom spregom.
- Ukoliko su operacije unutar kombinacione mreže nad sadržajem memorijskih elemenata linearne, takav generator se naziva linearni pomerački registar - LFSR (*Linear Feedback Shift Register*).
- U suprotnom, ako se koristi bar jedna operacija negacije, onda takav generator spada u klasu nelinearnih pomeračkih registara - NLFSR (*Non-Linear Feedback Shift Register*)
- Početno stanje sve nule nije dozvoljeno jer registar iz tog stanja ne bi mogao da izađe.
- Maksimalno duga perioda: $L=2^n-1$ (n broj memorijskih elemenata)



Pseudoslučajne sekvence

- Primer linearnog pomeračkog registra i dijagram stanja



- Generisana PSS: **0100111**
- $p(q)$ je karakterističan polinom, sabiranje je *ex or*: $0+0=0$, $0+1=1$, $1+0=1$, $1+1=0$

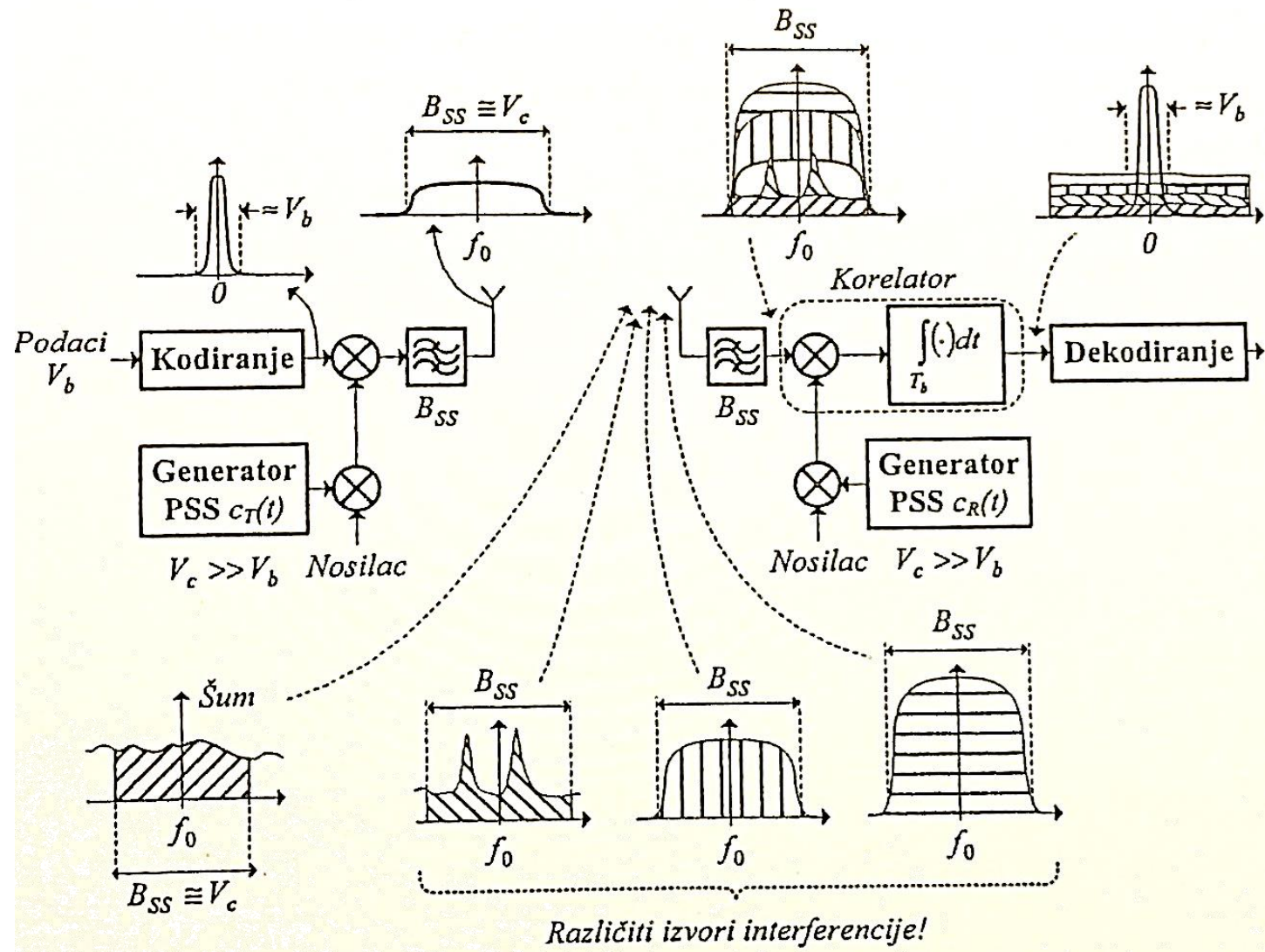


Primena PSS kod sistema sa frekvencijskim skakanjem

- Kod sistema sa frekvencijskim skakanjem u jednom vremenskom slotu emitovanje signala se vrši na jednom kanalu (minimalno potrebne širine) a raspored na kom kanalu će da se vrši emitovanje određuje pseudoslučajna sekvenca.
- Sistemi sa frekvencijskim skakanjem se dela na:
 - sistemi sa sporim FH: nekoliko simbola ulaznog signala određuju na kojoj frekvenciji će se emitovati
 - sistemi sa brzim skakanjem: učestanost nosioca u sistemima sa brzim frekvencijskim skakanjem menja se nekoliko puta za vreme trajanja jednog simbola



Primena PSS kod sistema sa direktnom sekvencom



Pitanja

