

VAJA 20. - MERJENJE POGOSTNOSTI NAPAK PRI PRESIHU POLJA
 =====

1. Vzroki napak v številski radijski zvezi

Kakovost številске (digitalne) zveze običajno opišemo s pogostnostjo pojavljanja napak v prenosu (Bit Error Rate ali BER). Pri tem nam daje teorija razmeroma enostaven odgovor, ko zveza signala ne popačuje in se jakost signala v sprejemniku ne spreminja ter natančno poznamo statistiko šuma, ki se prišteva signalu v sprejemniku.

V slučaju radijske zveze moramo vedno upoštevati pojave pri razširjanju valov, ki povzročajo presih polja in pačijo prenašani signal. V slučaju številске radijske zveze to pomeni v vsakem slučaju povečano pogostnost napak pri prenosu. Končno moramo v radijskih zvezah upoštevati tudi vpliv motenj drugih radijskih oddajnikov, ki običajno ne učinkujejo na pogostnost napak na enak način kot toplotni šum antene in sprejemnika.

V radijski zvezi najlažje ocenimo vpliv presiha jakosti sprejemanega polja, če le poznamo statistiko presiha, kot je to prikazano na sliki 1. Ko znamo določiti pogostnost napak pri dani jakosti sprejemanega polja E , lahko enostavno določimo skupno verjetnost napake P_{napake} pri dani porazdelitvi gostote verjetnosti $p(E)$. V izpeljavi na sliki 1 upoštevamo idealni BPSK demodulator, edini upoštevani izvor napak pa je toplotni šum antene in sprejemnika, združen v nadomestni šumni temperaturi T .

Ocena verjetnosti napake na sliki 1 je povsem uporabna takrat, ko je prenašani signal razmeroma ozkopasoven. V tem slučaju razširjanje radijskih valov po več poteh bistveno ne popači signala, razen ob globokih presihih polja. Ker je ob globokih presihih tudi sprejeta moč nezadostna, zveza takrat v vsakem slučaju izpade, kar pomeni napake pri prenosu.

Ko je prenašani signal širokopasoven, moramo upoštevati še popačenje signala zaradi razširjanja radijskih valov po več poteh, kot je to prikazano na sliki 2. Popačenje signala lahko bistveno poslabša pogostnost napak v radijski zvezi oziroma naredi signal povsem neuporaben. Popačenje signala lahko delno omejimo s samodejno prilagodljivim sitom za izločanje odbitih valov v sprejemniku. Takšna sita so vgrajena v vse sodobne mobilne radijske postaje (naprimer v GSM telefone), zahtevajo pa razmeroma komplicirano digitalno obdelavo signalov v medfrekvenci sprejemnika.

Posledice obeh pojavov, presiha in popačenja, so prikazane na krivulji pogostnosti napak na sliki 3. Oba pojava povečujeta pogostnost napak v radijski zvezi. Pri zelo šibkih signalih ju sicer ne opazimo, saj je za napake pri prenosu kriv toplotni šum antene in sprejemnika ter neidealnost (izguba) demodulatorja.

V razmeroma dobri radijski zvezi najprej opazimo povečanje pogostnosti napak zaradi presiha sprejemanega polja. Proti presihu polja se seveda lahko borimo s povečevanjem moči oddajnika in povečevanjem dobitkov anten na obeh koncih zveze, saj krivulja pogostnosti napak še vedno upada z naraščajočjo

rezervo radijske zveze. Krivulja žal upada z dosti manjšo strmino od $\text{erfc}(x)$, še posebno v slučaju Rayleigh-ove statistike presiha polja.

Pri zelo močnih signalih v sprejemniku končno opazimo, da se pogostnost napak ustali in postane neodvisna od jakosti sprejemanega polja. V tem slučaju sklepamo, da je glavni krivec napak v radijski zvezi popačenje signala. Povečevanje moči oddajnika in dobitkov anten nič ne pomaga, pomaga le samodejno prilagodljivo sito v sprejemniku oziroma ustrezno kodiranje signala s kodo za samodejno ugotavljanje in popravljanje napak.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Merilni izvor BPSK signala (1276.8MHz, 1.2288Mbit/s) z vgrajenim polinomskim generatorjem in napajalnikom.
- (2) Nastavljivi, kalibrirani 50-ohmski VF slabilec.
- (3) Reverberančno komoro z napajalniki za elektromotorje.
- (4) Dve anteni za frekvenčno področje 1.3GHz.
- (5) Izvor šuma s plazovno diodo in ustreznim napajalnikom.
- (6) -20dB smerni sklopnik za 1.3GHz.
- (7) -6dB uporovni delilnik.
- (8) Spektralni analizator s pripomočki (nizkoprepustno sito, nizkošumni predojačevalnik, napajalniki).
- (9) Merilni BPSK sprejemnik z vgrajeno regeneracijo takta, polinomskim delilcem in napajalnikom.
- (10) Osciloskop z možnostjo zunanjega proženja.
- (11) Digitalni števec (frekvencometer) za 50MHz.
- (12) Zvočnik (z vgrajenim nizkofrekvenčnim ojačevalnikom).
- (13) Kable in konektorje za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 4.

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Resnične meritve statistike presiha polja in popačenja signala so lahko zelo dolgotrajne in zato zelo drage. V laboratoriju si za šolski zgled pomagamo z reverberančno komoro, kjer lahko hitrost sprememb močno povečamo z vrtenjem ustreznih mešalnikov rodov. Razen tega imamo pri reverberančni komori dostopna na istem mestu sprejemnik in krmilni izvor (oddajnik), kar olajšuje nastavljanje parametrov signala: jakosti, presiha in popačenja.

V reverberančno komoro namestimo dve anteni za dano frekvenčno področje. Na prvo anteno priključimo merilni PSK oddajnik majhne moči (+10dBm), ki mu izhod še dodatno oslabimo z nastavljivim slabilcem. Signal z druge antene privedemo na sprejemnik preko -20dB sklopnika in -6dB uporovnega delilnika, da isti signal hkrati opazujemo na spektralnem analizatorju.

Občutljivost sprejemnika umetno poslabšamo s šumnim izvorom s plazovno diodo, saj pri tej vaji ne merimo občutljivosti sprejemnika pač pa kakovost demodulatorja in učinke presiha ter popačenja. Šumni izvor hkrati prekrije lastni šum spektralnega analizatorja in lastni šum merjenega demodulatorja, da obe napravi krmilimo z istim razmerjem signal/šum.

Merilni BPSK izvor vsebuje dva različna polinomska generatorja zaporedij: $1+X^{**4}+X^{**9}$ s periodo 511 taktov in

$1+X^{12}+X^{17}$ s periodo 131071 taktov, kar izbiramo s stikalom na prednji plošči izvora. V tej vaji izberemo krajši polinom, da se izognemo morebitnim napakam zaradi nezadostne spodnje mejne frekvence sprejemnika. Isti polinom delitelj izberemo tudi za preverjanje sprejema. Pri meritvi pogostnosti napak upoštevamo faktorje množenja ($\cdot 3$) in deljenja ($/2$), ki so vgrajeni v sam polinomski delilec v sprejemniku.

Vhodno razmerje signal/šum odčitamo na spektralnem analizatorju. Pri tem nastavimo širino medfrekvenčnega sita spektralnega analizatorja vsaj 10-krat ožjo od glavnega lista spektra PSK modulacije. Na ta način opazujemo tudi BPSK signal kot šum in velja za signal in za šum isti faktor povprečenja, ki se v merjenem razmerju signal/šum točno krajša, ko vključimo video sito na spektralnem analizatorju. Video sito nastavimo dovolj ozko, da povpreči tudi presihanje polja v reverberančni komori.

Pri točni meritvi razmerja signal/šum moramo paziti na motnjo iz vezja regeneracije nosilca sprejemnika, ki lahko popači sliko na zaslonu spektralnega analizatorja. Med meritvijo razmerja signal/šum zato izključimo NAPA JANJE sprejemnika in nikakor ne VF vhod, ker bi s tem pokvarili prilagoditve impedanc. Za vse meritve sicer zadošča ena sama meritev razmerja signal/šum pri razmeroma visokih vrednostih (okoli 20dB), saj lahko ostala razmerja preprosto določimo s kalibriranim nastavlјivim slabilcem signala.

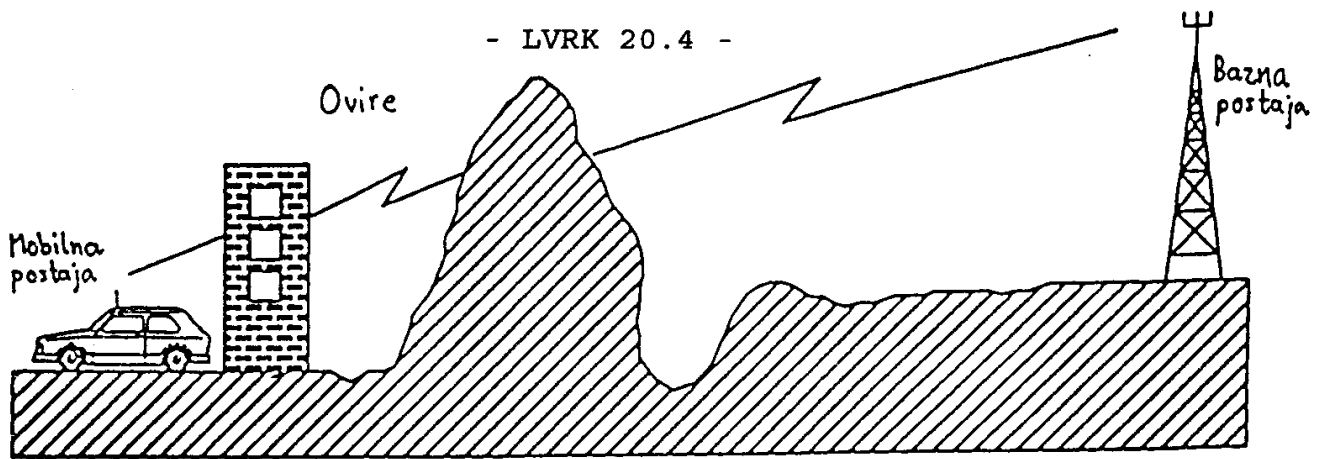
Če upoštevamo pasovno širino sprejemnika in BPSK signala, potem je iskano razmerje signal/šum kar enako razmerju med temensko vrednostjo glavnega lista spektra modulacije in povprečno vrednostjo šuma. Bolj enostavno, odčitano razmerje razmerje teme glavnega lista spektra proti šumu je kar Wb/KbT , to je argument, ki ga korenimo in vstavimo v $erfc(x)$.

4. Prikaz značilnih rezultatov

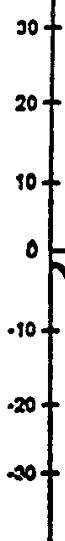
Preden začnemo s pravo meritvijo, preverimo delovanje vseh naprav, predvsem pa ne smemo pozabiti nastaviti točno frekvenco nosilca oddajnika. Sprejemnik ima v ta namen vgrajen inštrument z vrtljivo tuljavico za prikaz odstopanja frekvence nosilca. Vajo nato izvedemo za oba primera: zaprta reverberančna komora za Rayleigh-ovo statistiko presiha in odprta reverberančna komora za Rice-jevo statistiko presiha.

Vsak primer posebej, Rayleigh in Rice, začnemo z meritvijo razmerja signal/šum pri razmeroma močnih signalih. Razmerje signal/šum ocenimo na spektralnem analizatorju pri uporabi dovolj ozkega video sita, da umerimo skalo nastavlјivega slabilca signala.

Pri vaji nato izmerimo pogostnost napak pri različnih razmerjih signal/šum, da bi na koncu narisali diagram kot na sliki 3. Pri pogostnosti napak nad 1% ($1.0E-2$) vnaša pogreške prekrivanje posameznih impulzov na izhodu polinomskega delilca. Krivuljo pogostnosti napak je smiselno meriti do takšne jakosti signala, da se izmerjena pogostnost napak ne upada več. Pri tej jakosti signala torej predstavlja popačenje glavni izvor napak v radijski zvezi.



Jakost sprejemanega signala dB



$E \equiv$ amplituda sprejetega polja ; $0 \leq E < \infty$

$p(E) \equiv$ porazdelitev gostote verjetnosti ; $\int_0^{\infty} p(E) dE = 1$

$G_s \equiv$ dobitek sprejemne antene

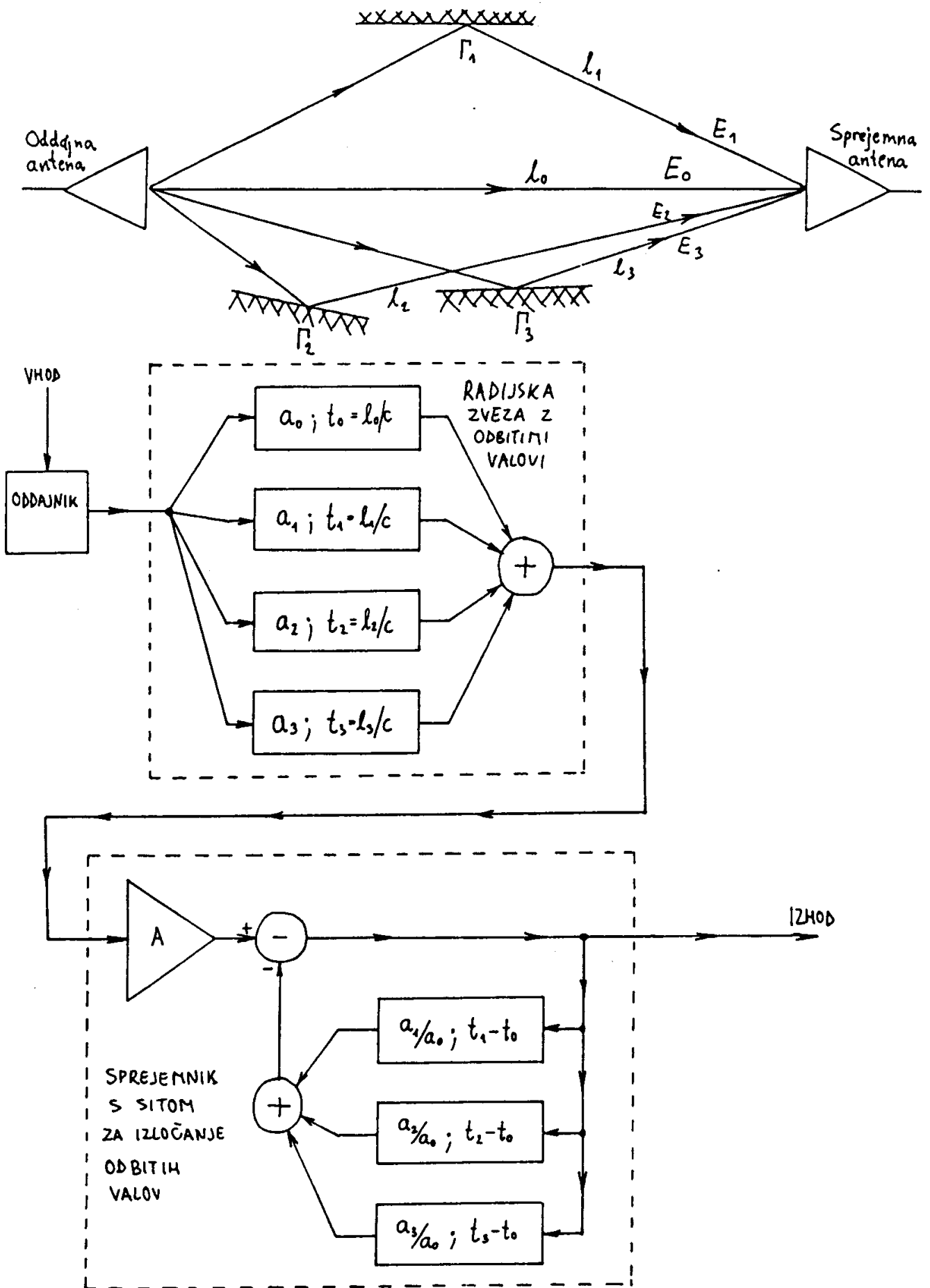
$$P_s = S \cdot A_s = \frac{E^2}{2Z_0} \cdot G_s \frac{\lambda^2}{4\pi} \equiv \text{moč na vhodu sprejemnika}$$

$$W_B = \frac{P_s}{R} = \alpha E^2 \equiv \text{energija bita ; } R \equiv \text{bitna hitrost}$$

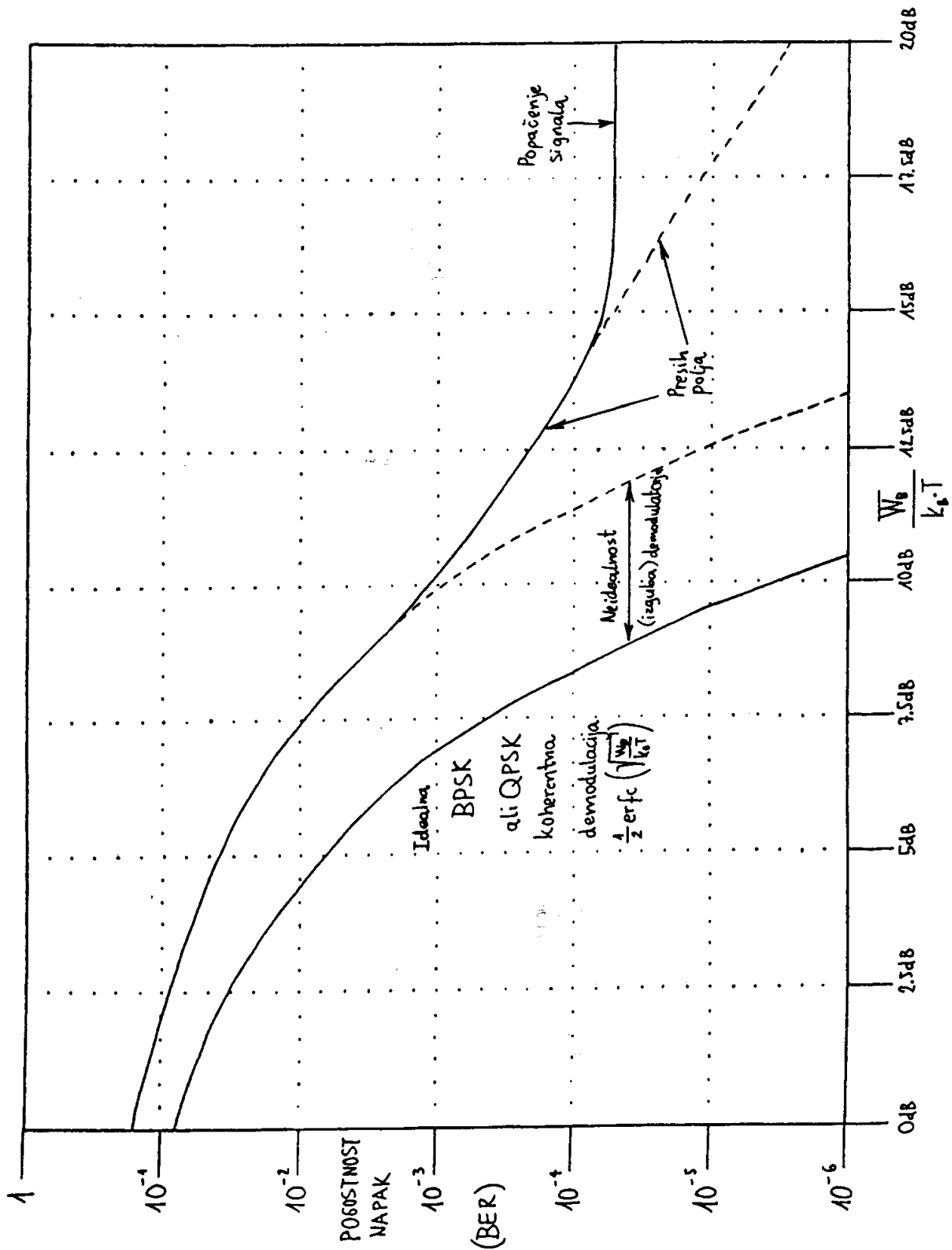
$$P_{\text{napake}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{W_b}{k_b T}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(E \sqrt{\frac{\alpha}{k_b T}} \right) \equiv \text{verjetnost napake pri konstantnem } E \text{ (BPSK)}$$

$$P_{\text{napake}} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(E \sqrt{\frac{\alpha}{k_b T}} \right) p(E) dE \equiv \text{verjetnost napake pri porazdelitvi } p(E)$$

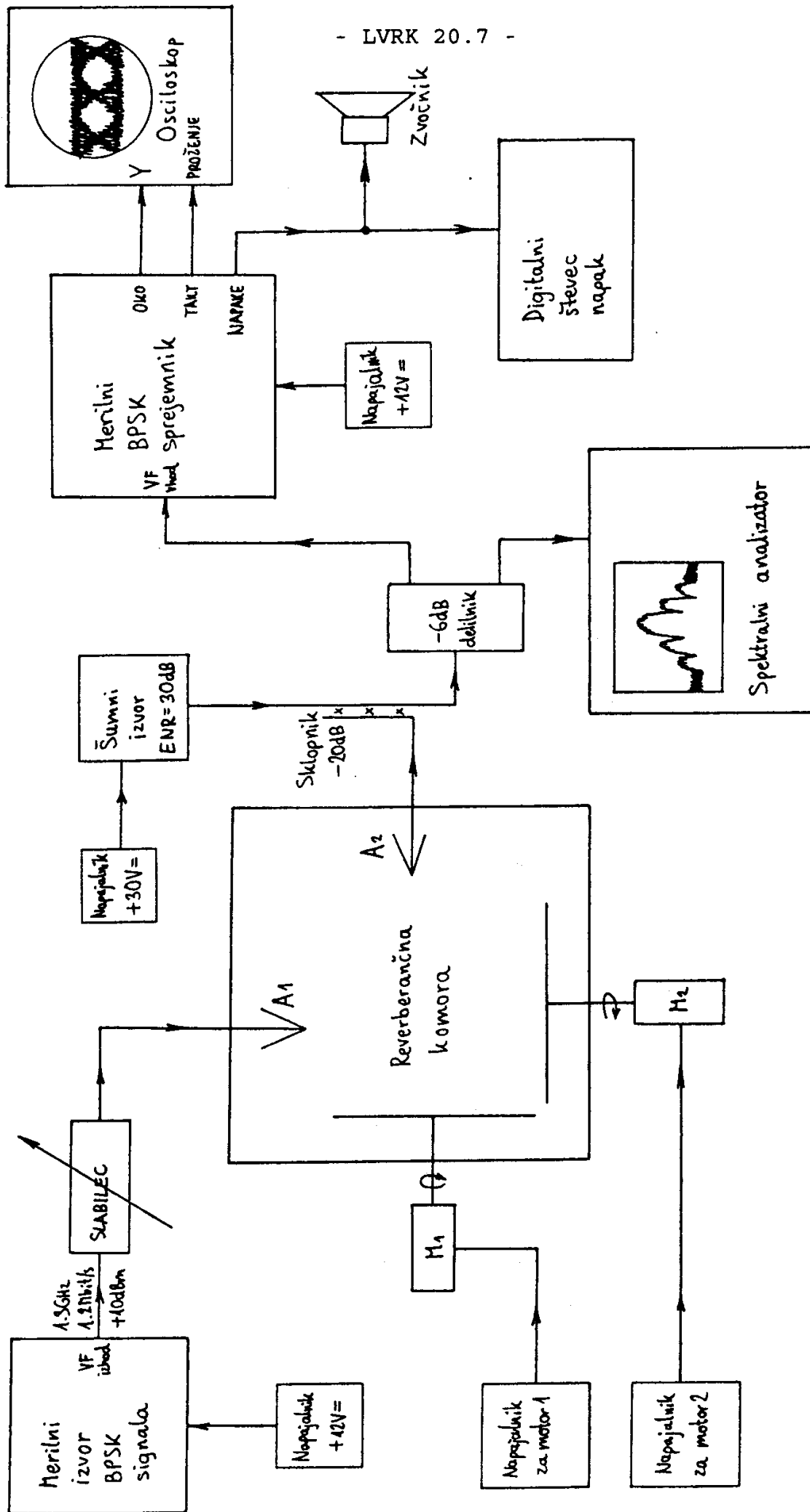
Slika 1 - Verjetnost napake v radijski zvezi s presihom.



Slika 2 - Popačenje signala v radijski zvezi.



Slika 3 - Pogostnost napak pri presihu polja in popačenju.



Slika 4 - Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.