

VAJA 10. - MERITEV HISTOGRAMA STATISTIKE PRESIHA POLJA

1. Statistika presiha sprejemanega polja

V večini resničnih slučajev radijskih zvez ne moremo preprosto določiti jakosti sprejemanega polja. Razen tega se lahko jakost sprejemanega polja spreminja s časom oziroma je močno odvisna od majhnih premikov sprejemne ali oddajne antene. V vseh navedenih slučajih izmerjena jakost sprejemanega polja še ni zadosten podatek za oceno zmogljivosti in kakovosti radijske zveze.

Razen izračunane ali izmerjene jakosti sprejemanega polja je treba v večini resničnih slučajev navesti še statistične zakonitosti, ki se jim pokorava jakost sprejemanega polja (slika 1). Mehanizem razširjanja radijskih valov pogojuje porazdelitev gostote verjetnosti jakosti sprejemanega polja. Iz znane porazdelitve gostote verjetnosti lahko potem enostavno izračunamo verjetnost, da jakost sprejemanega polja upade pod najnižjo dopustno vrednost.

Če sprejemano polje sestavlja veliko število približno enako velikih, a med sabo statistično neodvisnih prispevkov, se gostota verjetnosti jakosti sprejemanega polja pokorava Rayleigh-ovi porazdelitvi. Praktično se to zgodi pri radijskih zvezah brez neposredne vidljivosti, pri velikem uklonskem slabljenju, naprimer v slučaju zemeljskih mobilnih zvez (mobilni telefon). Sprejemano polje je v tem slučaju kazalčna vsota večjega števila približno enako velikih prispevkov, ki pa imajo povsem naključno porazdeljeno fazo, kot je to prikazano na sliki 2.

Če sprejemano polje sestavlja en velik prispevek (neposredni val) in večje število mnogo manjših statistično neodvisnih prispevkov (odbiti valovi), se gostota verjetnosti jakosti sprejemanega polja pokorava Rice-jevi porazdelitvi. Praktično se to zgodi pri radijskih zvezah z neposredno vidljivostjo med antenama, kjer nam sprejemano polje motijo odbiti valovi. Kazalčna vsota enega velikega in večjega števila manjših kazalcev naključne amplitude in faze je ponazorjena na sliki 3.

Razen omenjenih porazdelitev gostote verjetnosti lahko določeni pojavi pri razširjanju radijskih valov pogojujejo tudi drugačne porazdelitve gostote verjetnosti jakosti sprejemanega polja, naprimer log-normalno porazdelitev (slika 4). Jakost sprejemanega polja lahko pogojuje tudi več različnih pojavov pri razširjanju radijskih valov, od katerih daje vsak svojo statistično porazdelitev gostote verjetnosti.

Pri načrtovanju radijske zveze moramo zato najprej dobro poznati mehanizem razširjanja radijskih valov, ki bo določal vrsto statistične porazdelitve gostote verjetnosti. Iz meritev dobimo histogram, ki mu skušamo prilagoditi pričakovano statistično porazdelitev, kot je to prikazano na sliki 5. Glavna pomanjkljivost meritev je v tem, da dobimo malo podatkov ravno o zanimivih slučajih, ko pride naprimer do izpada zveze. V tem slučaju je nujno, da pravilno izberemo model statistične

porazdelitve, saj se v tem območju različni modeli zelo razlikujejo med sabo, kot je to prikazano na sliki 6.

Končno iz dobljene statistične porazdelitve izračunamo verjetnost presiha polja pod določeno najnižjo vrednost oziroma verjetnost izpada radijske zveze ter učinkovitost protiukrepov, kot so povečanje moči oddajnika, dobitkov anten ali izboljšanje občutljivosti sprejemnika.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Nemoduliran visokofrekvenčni izvor 2.5GHz, 10mW, z nastavljivim izhodnim slabilcem.
- (2) -20dB smerni sklopnik za 2.5GHz.
- (3) Vektorski mikrovalovni merilni sprejemnik s harmonskim konverterjem in polarnim prikazovalnikom.
- (4) Reverberančno komoro z napajalniki za elektromotorje.
- (5) Štiri antene za frekvenčno področje 2.5GHz.
- (6) Merilni sprejemnik za statistiko polja, z napajalnikom.
- (7) Števec (nizkofrekvenčni digitalni frekvencometer).
- (8) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 7.

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Resnične meritve statistične porazdelitve jakosti sprejemanega polja 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 hkrati na razpolago še krmilni signal visokofrekvenčnega izvora, kar olajšuje meritve amplitude in faze sprejemanega polja.

V reverberančno komoro namestimo več različnih anten za dano frekvenčno področje. Sprejete signale merimo na dva načina. Najprej z vektorskim merilnim sprejemnikom kvalitativno opazujemo pojav presiha polja in opletanja faze kazalca sprejetega signala. Nato z ustreznim merilnim sprejemnikom izmerimo verjetnost (pogostnost), da se jakost polja nahaja v predpisanih mejah.

Delovanje merilnika statistike presiha je prikazano na sliki 8. Sprejemnik vsebuje visokofrekvenčni ojačevalnik in detektor. Usmerjena napetost se primerja s spodnjo in gornjo mejo, ki ju nastavimo s potenciometroma na prednji plošči sprejemnika. Ko se jakost sprejetega polja nahaja med nastavljenimi spodnjo in gornjo mejo, "IN" vrata omogočijo taktu 8MHz, da krmili števec. Zaradi omejenih zmožnosti števca uporabimo preddelilec, ki deli število impulzov z 800.

Pogostnost oziroma verjetnost, da se jakost vhodnega signala nahaja v predpisanih mejah, odčitamo na števcu kot frekvenco impulzov. Pri tem pomeni frekvenca 10kHz pogostnost 100%, nižje frekvence pa sorazmerno manjšo pogostnost. Ker merimo statistično veličino, mora biti čas vrat števca dovolj visok za povprečenje (vsaj 10 sekund, kar zmora že sam števec, še boljše pa več z ročnim zagonom in zaustavitvijo meritve).

Referenčni vhod vektorskega merilnega sprejemnika priključimo na izhod visokofrekvenčnega izvora preko smernega

sklopnika. Ker so izgube v reverberančni komori majhne, zadošča že izvor majhne moči (manj kot 10mW), ki jo s slabilcem na izhodu izvora še dodatno zmanjšamo, da ne prekrmilimo merilnega sprejemnika. Tudi sprejemnik za merjenje statistike presiha potrebuje razmeroma šibke signale. Zato moč izvora pred začetkom meritve prilagodimo tako, da čimbolj izkoristimo področje delovanja merilnika statistike presiha polja.

Pravilno delujoča zaprta reverberančna komora daje Rayleigh-ovo porazdelitev gostote verjetnosti sprejemanega polja na katerikoli sprejemni anteni in ne glede na to, če so preostale antene v komori zaključene na bremena ali ne. Pri Rayleigh-ovi porazdelitvi opazimo na zaslonu polarnega prikazovalnika povsem naključno premikanje svetle točke, ki je simetrično porazdeljeno glede na ničlo (središče zaslona). Rayleigh-ova porazdelitev je povsem opisana z enim samim podatkom: povprečno kvadratno vrednostjo signala, to je povprečno sprejemano močjo.

Moč izvora nato nastavimo ustrezno merilniku statistike presiha. Pri tem izključimo vektorski merilni sprejemnik, da ne bi motil merilnika statistike, ki je občutljiv tudi na signal lokalnega oscilatorja vektorskega merilnika. Potenciometer MIN nastavimo na nič, potenciometer MAX pa na polovico (500) in jakost visokofrekvenčnega izvora spreminjamo toliko časa, da na frekvenčmetru odčitamo približno 5kHz (verjetnost 50% ali medianska vrednost sredi skale). Nato oba potenciometra MIN in MAX nastavimo na željene vrednosti okna, v katerem merimo pogostnost.

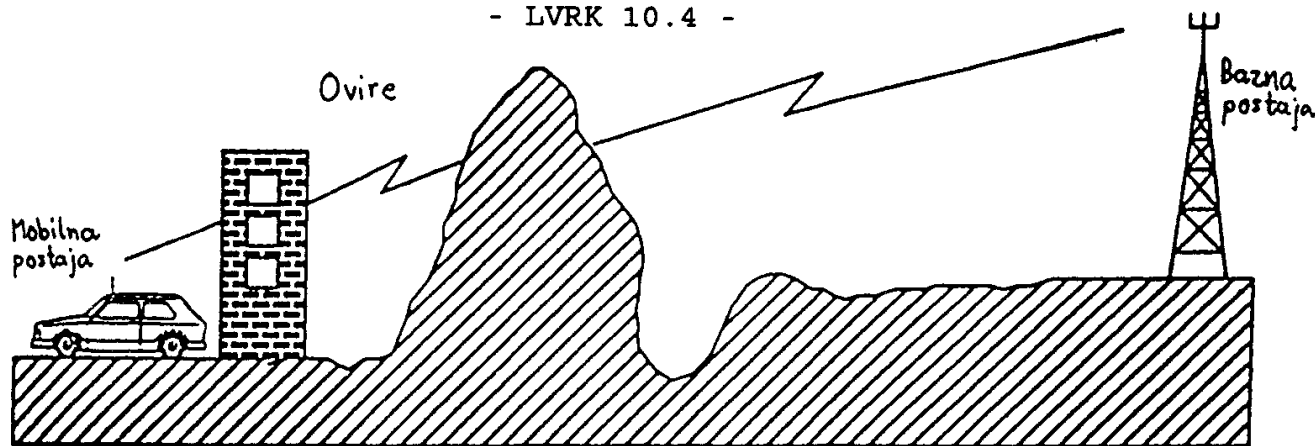
Reverberančno komoro nato odpremo in poskus ponovimo. Pri oddaljenih antenah dobimo podobno porazdelitev, vendar šibkejše signale, saj večina moči izvora uhaja skozi manjkajočo stranico komore. Pri bližnjih antenah pa sestavlja sprejeto polje v glavnem neposredni val, odbiti valovi od mešalnikov rodov in sten komore pa so dosti šibkejši. Primer ustreza Rice-jevi porazdelitvi gostote verjetnosti, ki jo opisujeta dva parametra: srednja vrednost sprejetega polja in standardna deviacija.

Tudi pri Rice-jevi porazdelitvi nastavimo moč izvora in oba potenciometra povsem enako kot pri Rayleigh-ovi porazdelitvi. Ker pa je Rice-jeva porazdelitev bolj "zgoščena" okoli srednje vrednosti kot Rayleigh-ova porazdelitev, uporabimo ožja okna v zanimivem območju od nič različnih vrednosti.

4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo izmerimo histograma obeh dobljenih porazdelitev gostote verjetnosti. Rayleigh-ovo porazdelitev izmerimo v 20 oknih, kar bo dalo 20 stolpcev v histogramu. Za prvo okno nastavimo potenciometer MIN na 0 in MAX na 50, za drugo MIN na 50 in MAX na 100 in tako naprej do zadnjega okna z MIN 950 in MAX 1000.

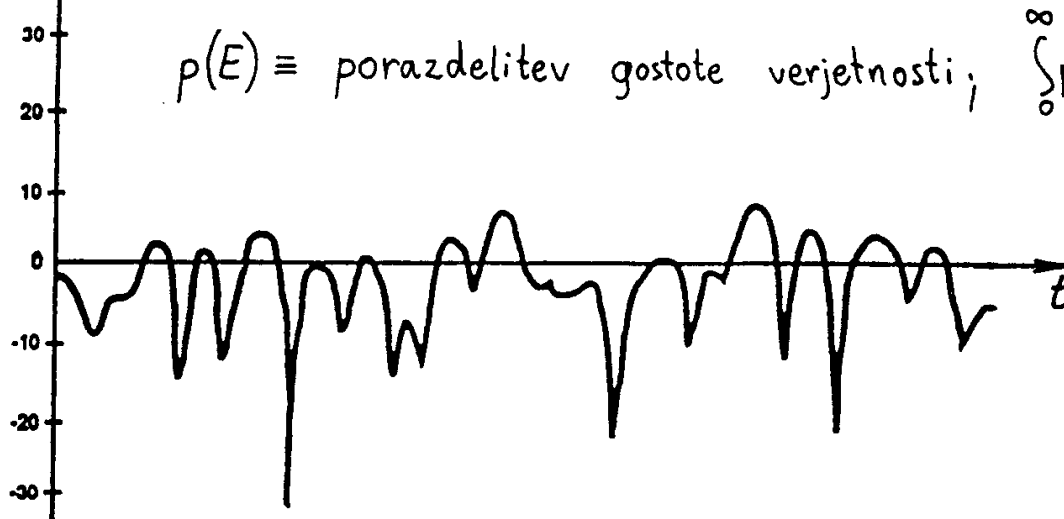
Histogram Rice-jeve porazdelitve dobimo na enak način, le da izberemo ožja okna (25, 20 ali celo samo 10 enot na skalah potenciometrov) ter merimo samo v področju, kjer dobimo od nič različne rezultate (okoli vrednosti 500 na skalah potenciometrov, če smo le pravilno nastavili moč izvora).



Jakost sprejemanega signala dB

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

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



$$\langle E \rangle = \int_0^{\infty} E p(E) dE \equiv \text{srednja vrednost sprejetega polja}$$

$$\langle E^2 \rangle = \int_0^{\infty} E^2 p(E) dE \equiv \text{srednja kvadratna vrednost } E \text{ (povprečna moč sprejetega signala)}$$

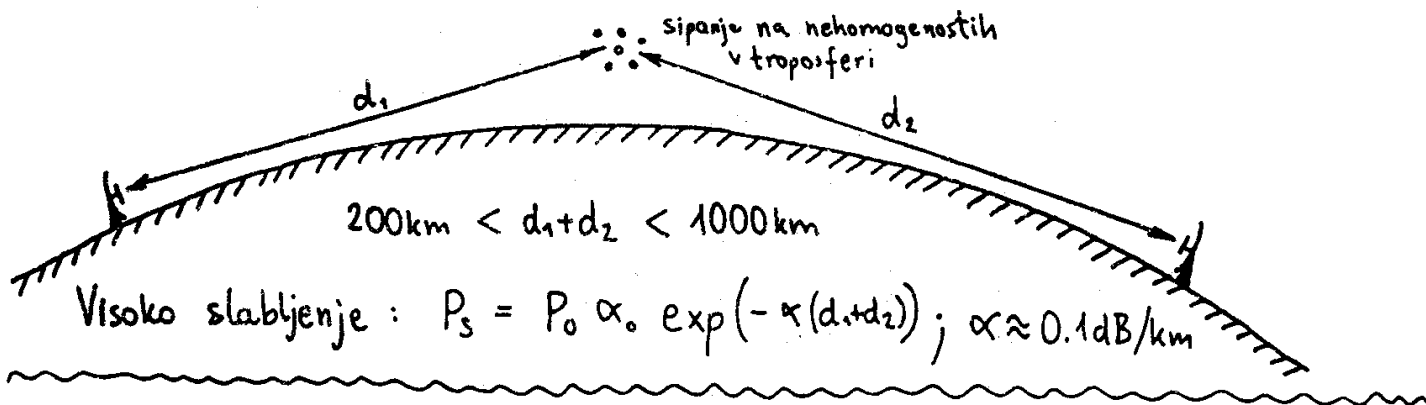
$$\sigma^2 = \langle (E - \langle E \rangle)^2 \rangle = \int_0^{\infty} (E - \langle E \rangle)^2 p(E) dE \equiv \text{varianca polja}$$

$$\sigma^2 = \langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2 ; \quad \sigma \equiv \text{standardna deviacija}$$

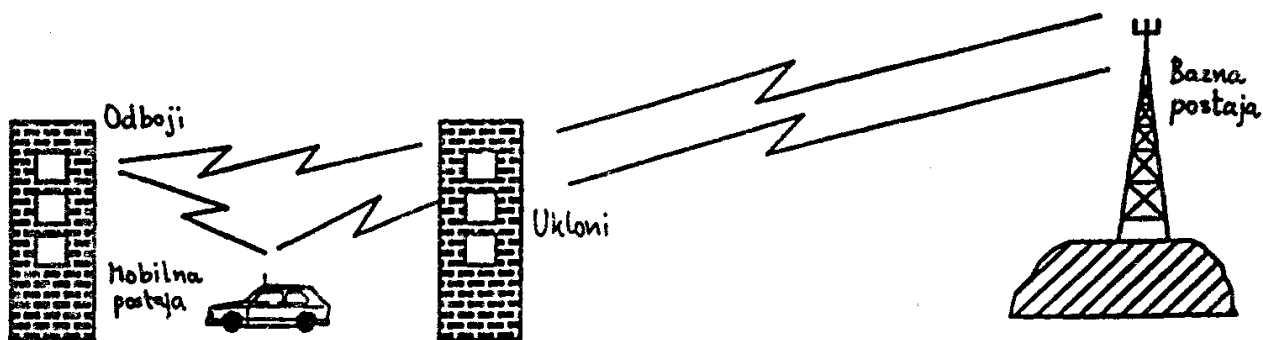
$$\int_0^{E_{\text{med}}} p(E) dE = \int_{E_{\text{med}}}^{\infty} p(E) dE ; \quad E_{\text{med}} \equiv \text{medianska vrednost polja}$$

Slika 1 - Statistične veličine pri presihu polja.

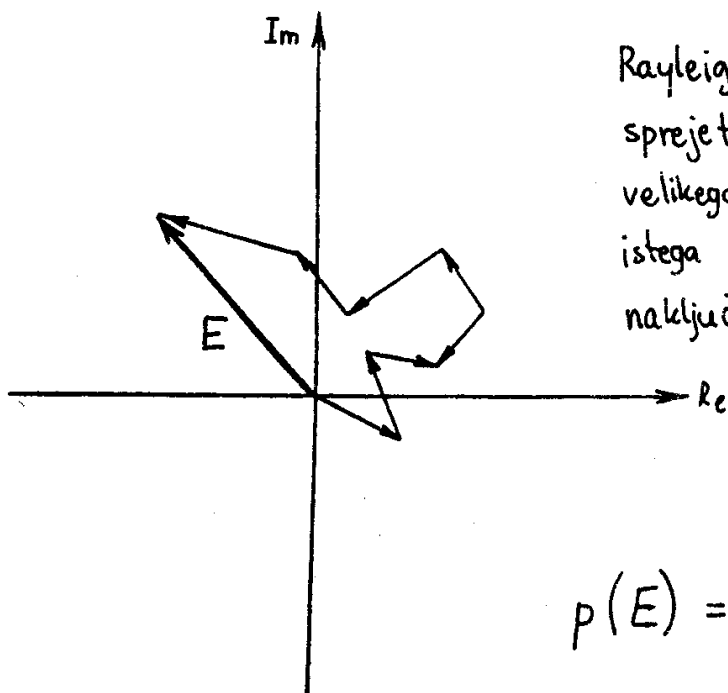
Troposferska mikrovalovna zveza: - LVRK 10.5 -



Mobilna radijska zveza: { ① neusmerjene antene (majhen G) } ⇒ domet ~ 50km
 { ② brez neposredne radijske vidljivosti } ⇒ zmogljivost ~ 10kbit/s



Razširjanje valov po več različnih poteh → Rayleigh-ov fading (presih polja)

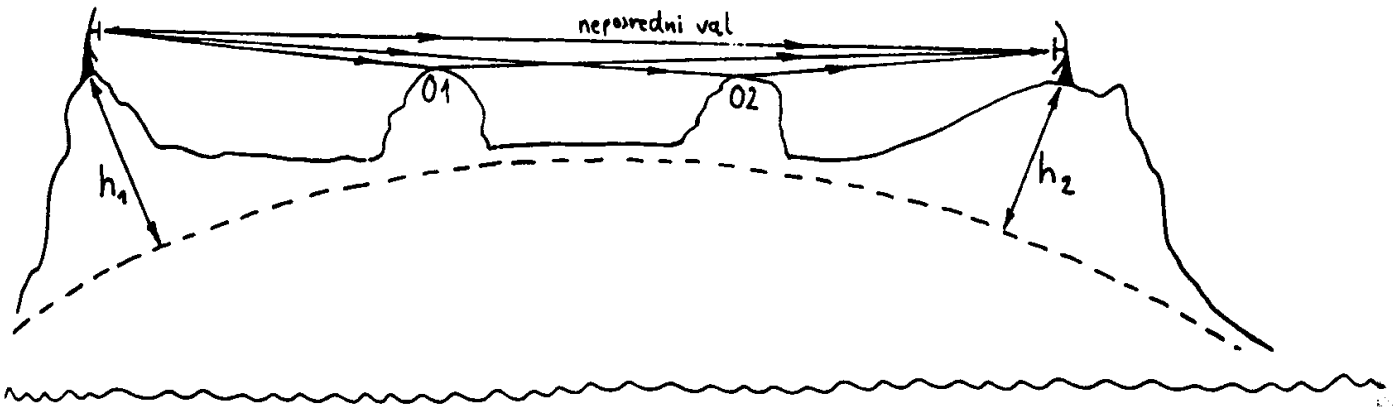


Rayleigh-ova porazdelitev:
 sprejeto polje E je kazalčna vsota velikega števila prispevkov, kiso vsi istega velikostnega razreda in imajo naključno fazo

$$P(E) = \frac{2E}{\langle E^2 \rangle} \cdot e^{-\frac{E^2}{\langle E^2 \rangle}}$$

Slika 2 - Rayleigh-ova porazdelitev gostote verjetnosti.

Mikrovalovna usmerjena zveza z odboji:

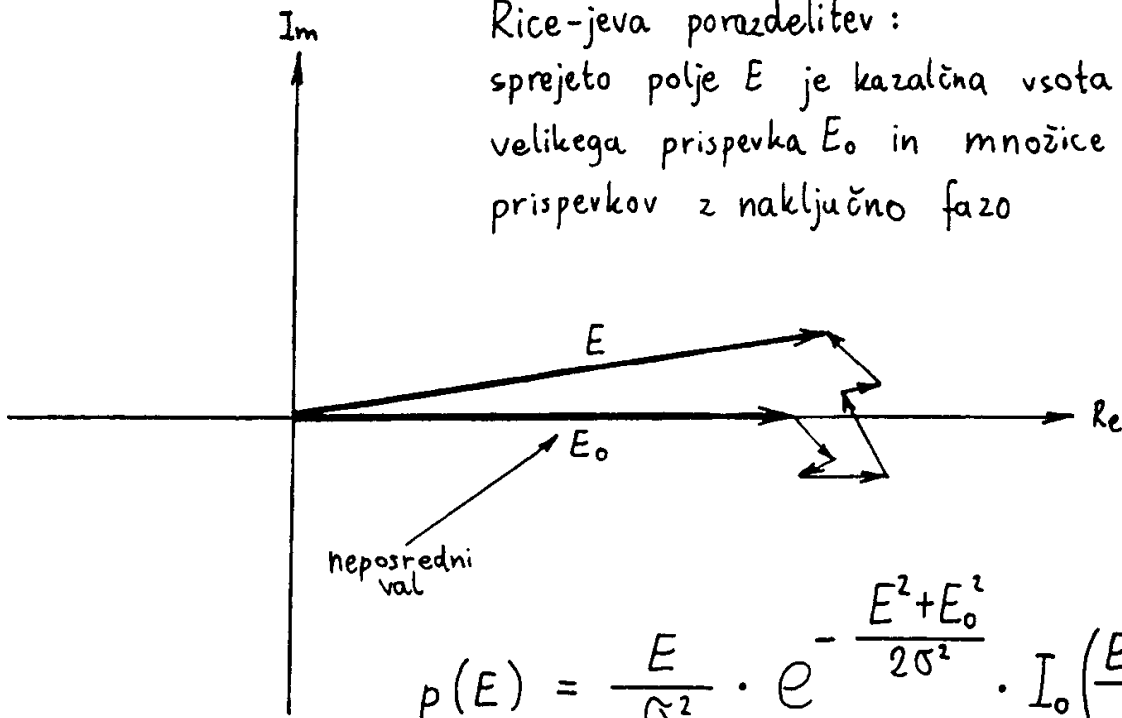


Mobilna radijska zveza z neposredno vidljivostjo:



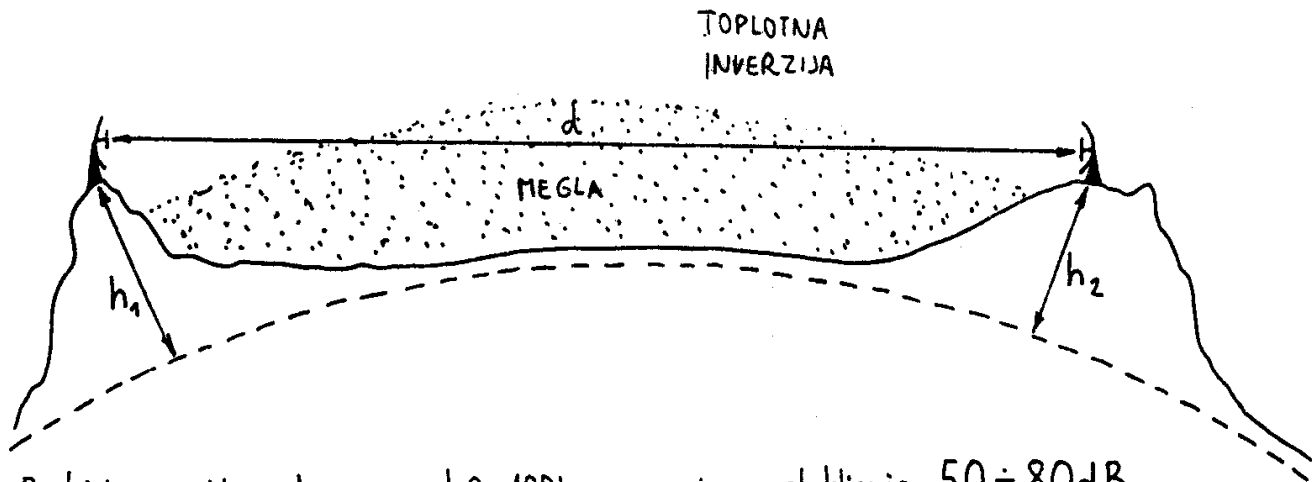
Rice-jeva porazdelitev :

sprejeto polje E je kazalčna vsota enega velikega prispevka E_0 in množice malih prispevkov z naključno fazo



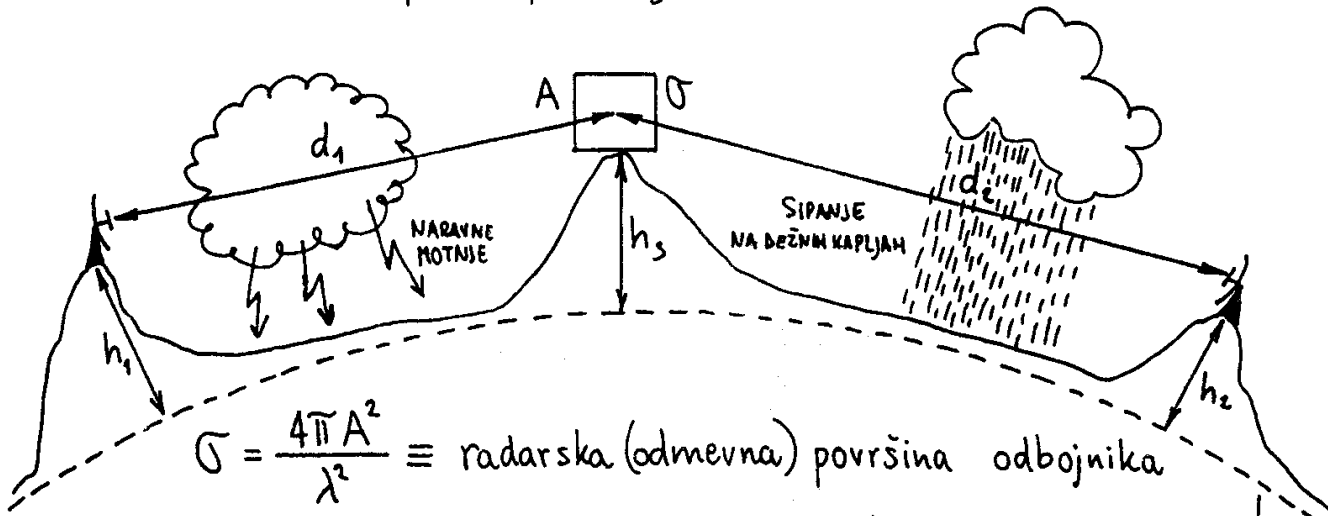
Slika 3 - Rice-jeva porazdelitev gostote verjetnosti.

Mikrovalovna usmerjena zveza:



Radijska vidljivost $\rightarrow d \approx 100\text{km}$, nazivno slabljenje $50 \div 80\text{dB}$
 Spreminjajoči pogoji razširjanja mikrovalov $\rightarrow 40 \div 60\text{dB}$ rezerve
 Zmogljivost: 140Mbit/s ali 1 TV program (razpoložljiv frekvenčni spekter)

Mikrovalovna zveza preko pasivnega odbojnika:



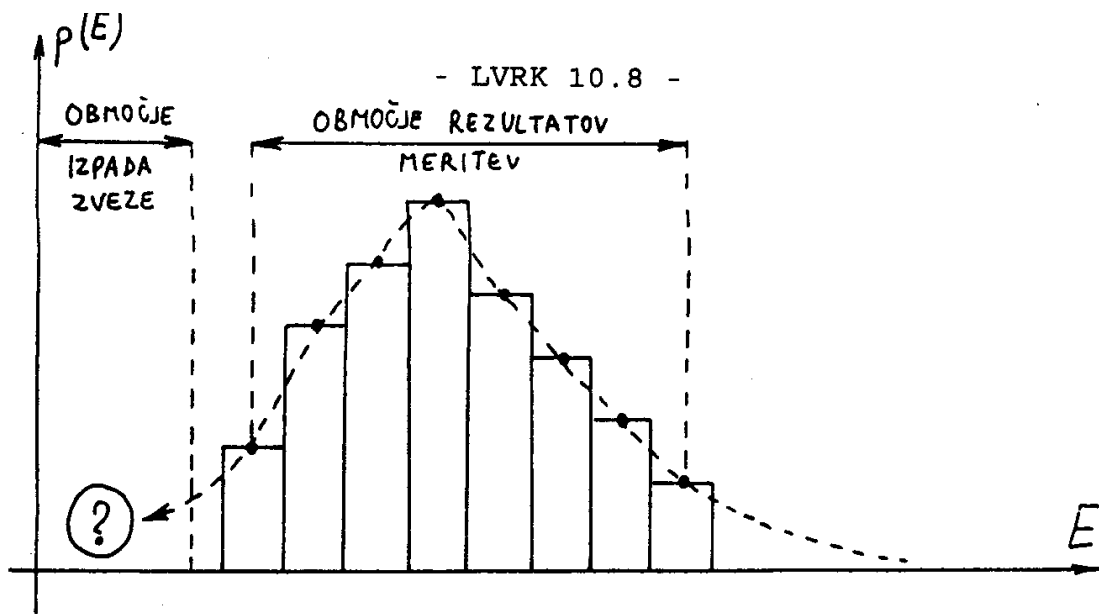
$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} \equiv \text{radarska (odmevna) površina odbojnika}$$

Dodatno slabljenje odbojnika $30 \div 50\text{dB}$ + rezerva zveze!

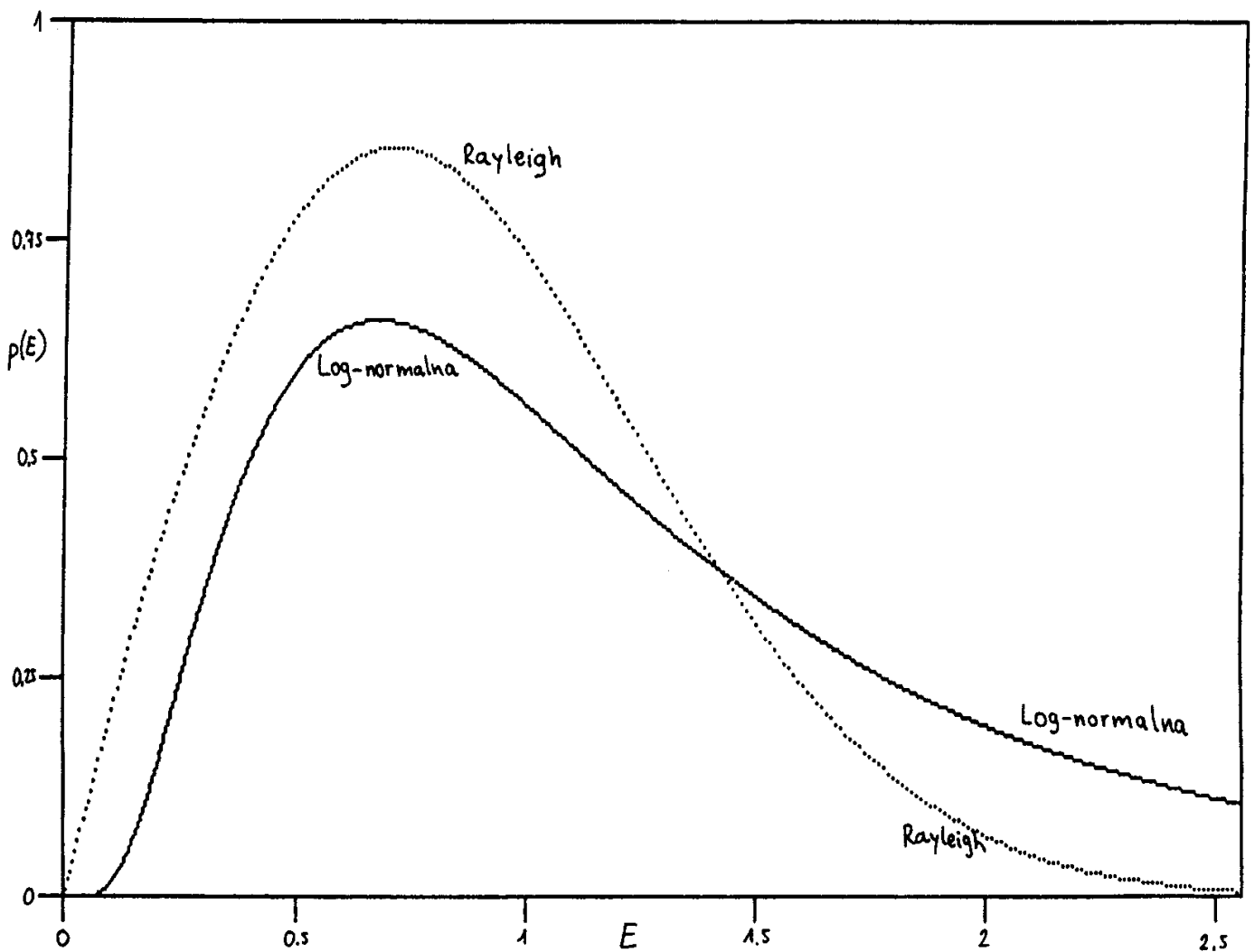
Logaritemsko - normalna porazdelitev: vremenski pojavi

$$p(E_{dB}) = \frac{1}{\sigma_{dB} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E_{dB} - \langle E_{dB} \rangle)^2}{2\sigma_{dB}^2}}$$

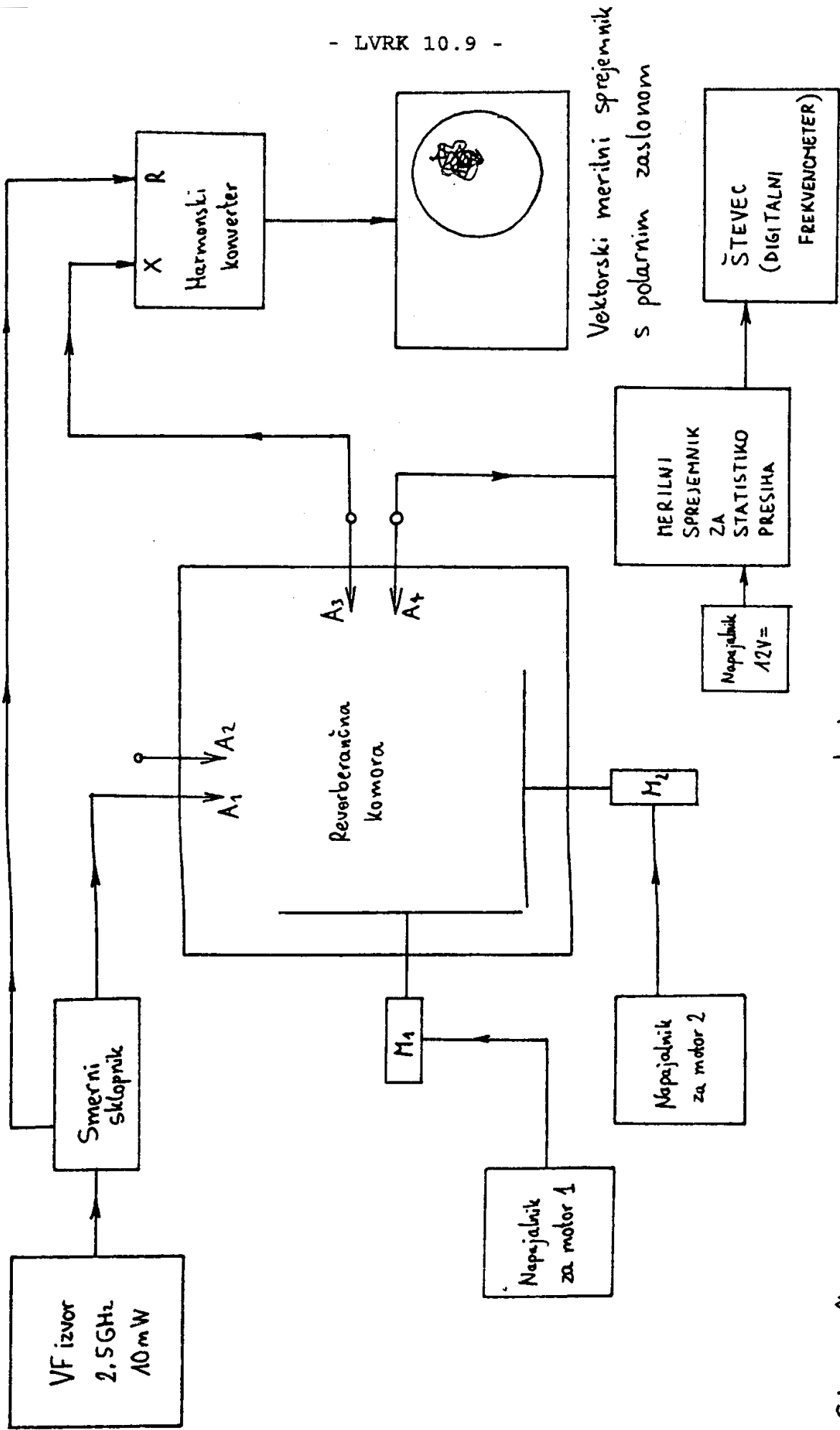
Slika 4 - Log-normalna porazdelitev gostote verjetnosti.



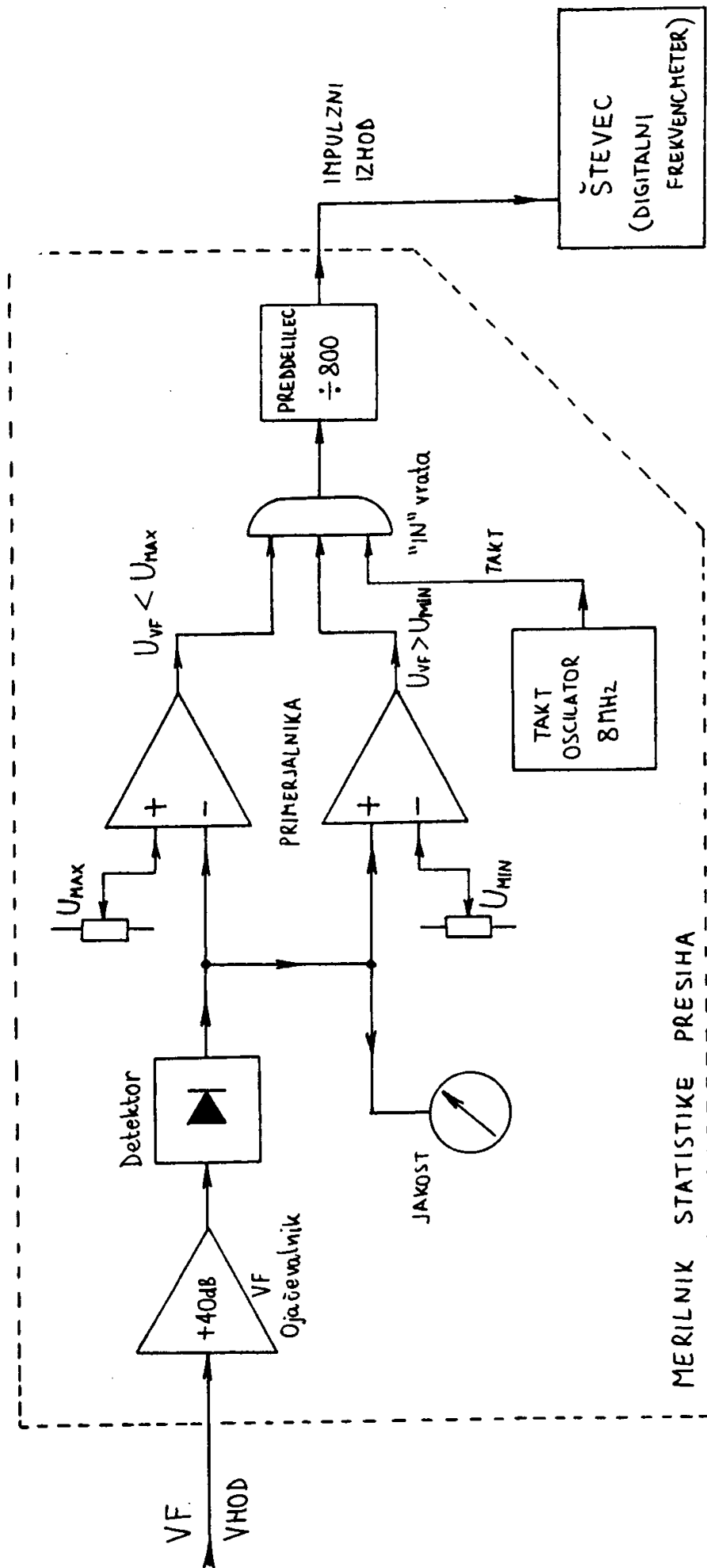
Slika 5 - Določanje statistike presiha iz rezultatov meritev.



Slika 6 - Primerjava med Rayleigh-ovo in log-normalno porazdelitvijo.



Slika 7 - Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.



Slika 8 - Delovanje merilnika statistike presiha.