

VAJA 19. - MERJENJE ŠUMNE TEMPERATURE ANTENE

1. Šum v radijskih komunikacijskih sistemih

Domet vseh radijskih in drugih komunikacijskih sistemov omejuje šum. Čeprav šum v radijski tehniki ni vedno termičnega izvora, je jakost belega šuma najlažje opisati z ekvivalentno šumno temperaturo sistema (glej sliko 1). Ekvivalentna šumna moč na vhodu sprejemnika je sorazmerna z ekvivalentno šumno temperaturo sprejemnika in s frekvenčno pasovno širino, povezavo pa daje Boltzmannova konstanta.

Ekvivalentna šumna temperatura sistema je vsota šumne temperature antene in šumne temperature sprejemnika. Šumna temperatura sprejemnika zavisi predvsem od njegove tehnične izvedbe. Če poznamo šumne temperature in faktorje ojačenja moči posameznih stopenj sprejemnika, lahko enostavno preračunamo ekvivalentno šumno temperaturo na vhodu sprejemnika, kot je to prikazano na sliki 1.

Šumna temperatura antene zavisi od več dejavnikov. Šumna temperatura brezizgubne antene, to je antene z električnim izkoristkom enakim ena, ne zavisi od fizične temperature antene, pač pa od jakosti sevanja izvorov šuma, ki jih antena "vidi" s svojim smernim diagramom. Če poznamo ekvivalentno šumno temperaturo in porazdelitev izvorov šuma, potem lahko šumno temperaturo brezizgubne antene izračunamo po izrazu na sliki 2.

Najnižjo šumno temperaturo antene lahko dosežemo v frekvenčnem področju med 1GHz in 10GHz z anteno obrnjeno v hladno nebo, zato je ta del radijskega spektra verjetno najdragocenejši za komunikacije preko satelitov. V tem delu spektra se da doseči šumno temperaturo antene pod 20K, če je antena obrnjena v hladno nebo. Najbolj vroča točka na nebu je v tem delu frekvenčnega spektra Sonce, sevanje (šum) Sonca pa je frekvenčno odvisen (upada z naraščajočo frekvenco) in časovno spremenljiv v odvisnosti od aktivnosti Sonca.

Na frekvencah pod 1GHz šumno temperaturo povečuje šum kozmičnega izvora (sevanje nekaterih nebesnih teles), šumna temperatura pa preseže milijon stopinj K na frekvencah okoli 5MHz. Na frekvencah višjih od 10GHz povečuje šumno temperaturo antene absorpcija in s tem termično sevanje zemeljskega ozračja.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Dve anteni za področje 1.5GHz: piramidni lijak z dobitkom okoli 15dBi in parabolično zrcalo z dobitkom okoli 20dBi.
- (2) Nizkošumni ojačevalnik za 1.5GHz, $T=50K$, $G=30dB$.
- (3) Šumni merilni sprejemnik za 1.5GHz z risalnikom.
- (4) Vrtiljak za antene.
- (5) Nekaj plošč absorberja.
- (6) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih inštrumentov je

prikazana na sliki 3.

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Če hočemo izmeriti šumno temperaturo antene, moramo imeti na razpolago zelo občutljiv merilni sprejemnik. Šumna moč izvora na sobni temperaturi je v pasovni širini 1MHz komaj $4 \cdot 10^{-15} \text{W}$ oziroma okoli -114dBm . Zato sprejemniku dodamo nizkošumni ojačevalnik. Da se izognemo izgubam v kabljih za povezave, vgradimo ojačevalnik čim bližje izvoru, se pravi anteni.

Merilni sistem najprej umerimo tako, da anteno oziroma vsaj njen glavni snop obrnemo proti ploščam absorberja. Ker se nahaja absorber na sobni temperaturi, je tedaj šumna temperatura antene nujno enaka sobni temperaturi. Šumno temperaturo sprejemnika smatramo za poznan podatek, sicer pa jo lahko izmerimo s kalibrirano šumno glavo.

Anteno nato namestimo na vrtiljak in posnamemo potek šumne temperature antene v odvisnosti od elevacije. Pri tem dobimo šumno temperaturo antene enostavno tako, da od izmerjene moči na izhodu merilnega sprejemnika odštejemo delež, ki pripada šumu sprejemnika (predvsem nizkošumnega ojačevalca). Kalibracijo in meritev ponovimo še za drugo anteno. Pri meritvi pazimo, da gleda glavni snop antene vedno proč od Sonca, ki je edini močni nebesni izvor šuma v tem frekvenčnem področju.

Meritev potem ponovimo, toda tokrat anteno obračamo po takem loku, da pri določeni elevaciji gleda točno v Sonce. Ker je zorni kot, pod katerim vidimo Sonce, okoli 0.5 stopinje, se za uporabljene antene Sonce še vedno obnaša kot točkast izvor. Točne šumne temperature Sonca sicer ne poznamo, smatramo pa, da se v času meritve ne spreminja. Zato lahko iz izmerjenih diagramov šumne temperature obeh anten naravnost primerjamo dobitke obeh anten.

4. Prikaz značilnih rezultatov

Primer izmerjene šumne temperature dveh različnih anten v odvisnosti od elevacije glavnega snopa je prikazan na sliki 4. Pri tem smo obe anteni vrteli tako, da sta videli le Zemljo (T približno 290K) oziroma hladno nebo (T približno 20K). Iz strmih upadanj šumne temperature z rastočo elevacijo lahko sklepamo na širino glavnega snopa antene.

Na sliki 5 je prikazan rezultat enake meritve, toda tokrat smo obe anteni vrteli tako, da sta bili pri določeni elevaciji obrnjeni točno v Sonce. Dokler je zorni kot Sonca na nebu majhen v primerjavi s širino glavnega snopa antene, je povečanje šumne temperature antene obrnjene v Sonce enostavno prenosorazmerno dobitku antene. Iz tega lahko primerjamo dobitke dveh anten.

Kot končni rezultat vaje izračunamo temperaturo površine Sonca na delovni frekvenci uporabljenega sprejemnika. Pri tem izračunamo neznano šumno temperaturo sprejemnika iz meritve šuma absorberja (tal) in šuma hladnega neba. Dobitek antene ocenimo iz njene velikosti (premera zrcala). Ker je glavni snop uporabljene antene še vedno precej širši od zornega kota Sonca, smatramo, da se celotno Sonce nahaja v maksimumu smernega diagrama, ko vanj zasukamo anteno.

$$P_{\text{ŠUMA}} = k_B \cdot T_{\text{SISTEMA}} \cdot \Delta f \quad k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$$

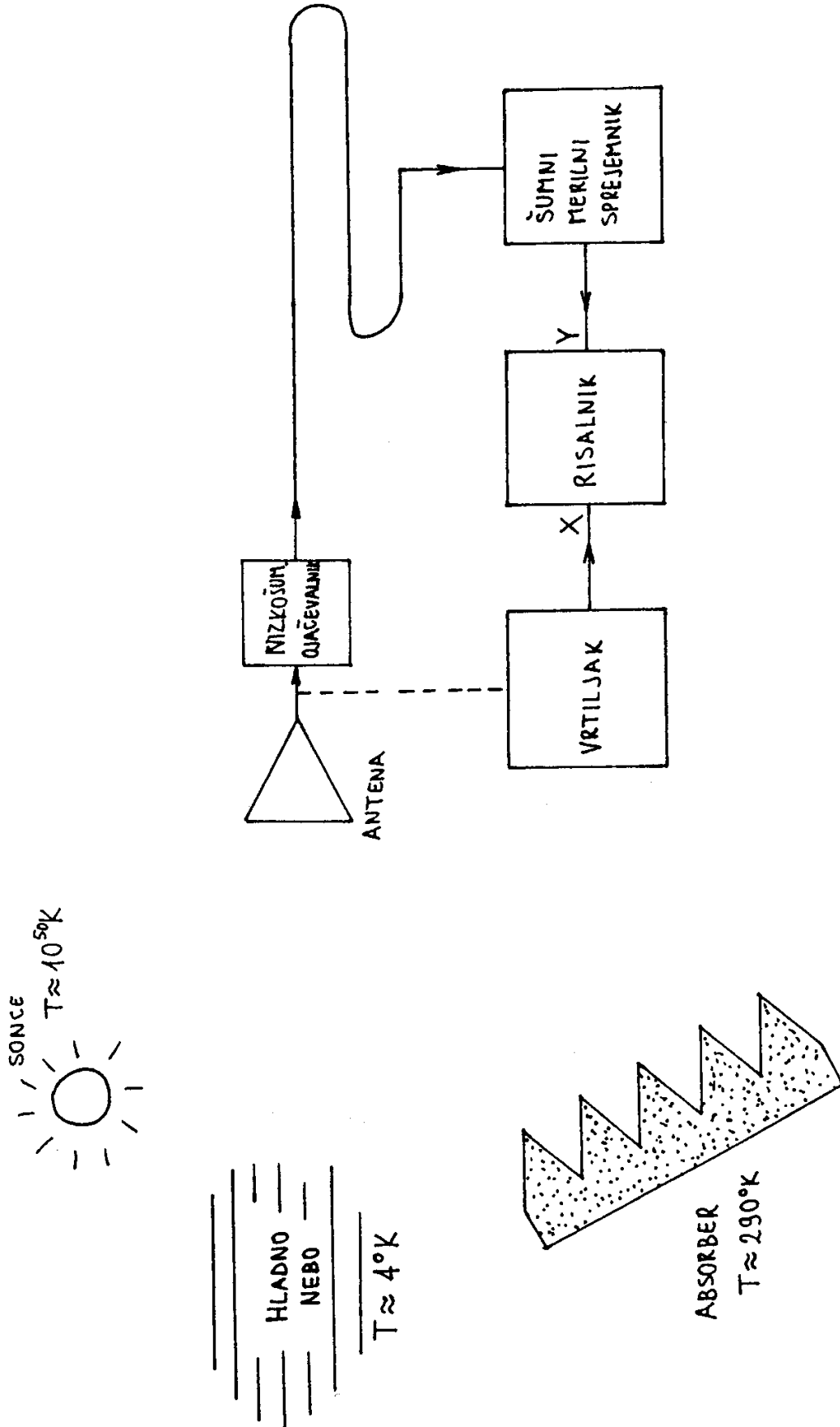
$$T_{\text{SISTEMA}} = T_{\text{ANTENE}} + T_{\text{SPREJEMNIKA}}$$

$$T_{\text{SPREJEMNIKA}} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots$$

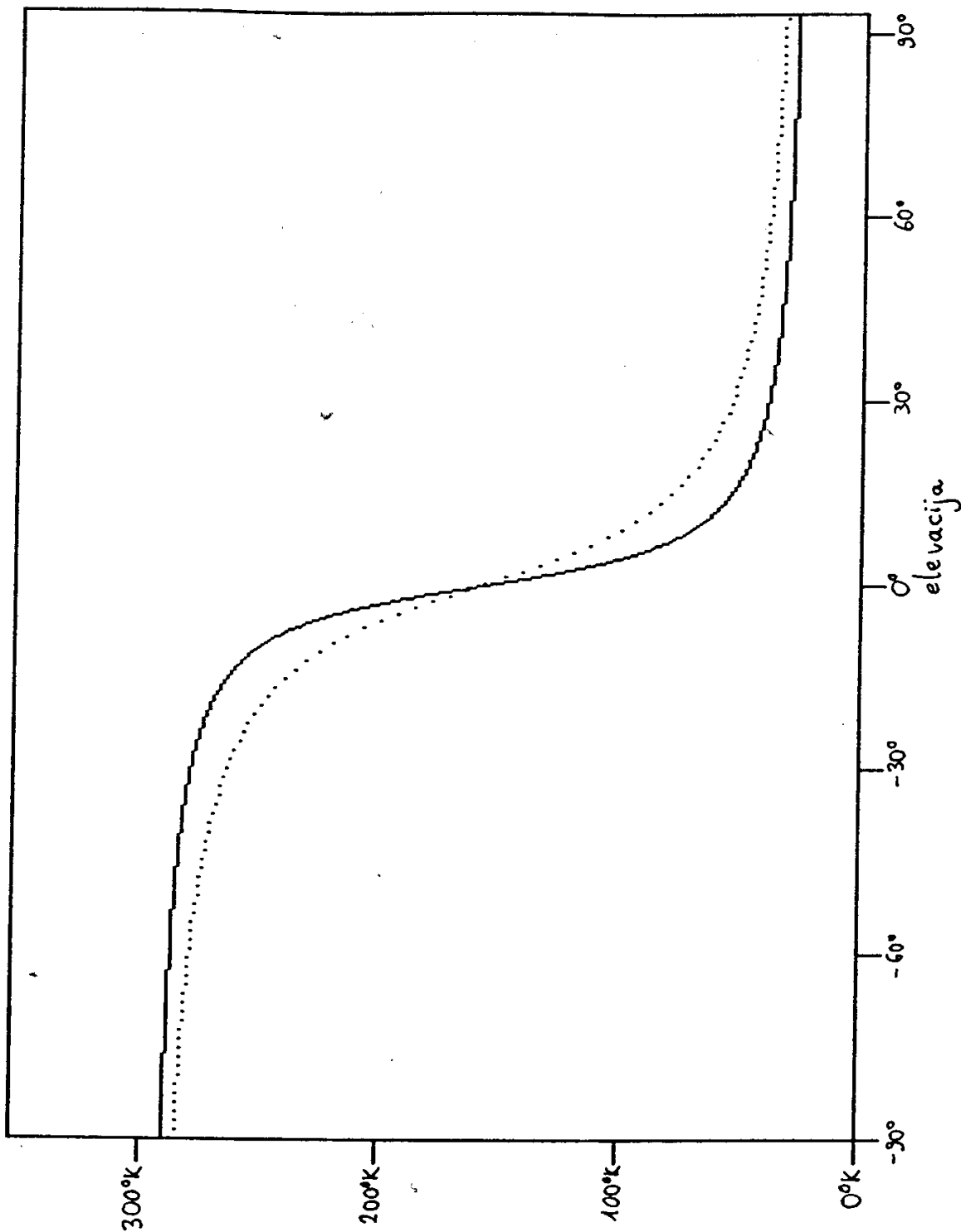
Slika 1. - Šumna moč na vhodu sprejemnika.

$$T_{\text{ANTENE}} = \frac{\int_{4\pi} T(\theta, \phi) \cdot |F(\theta, \phi)|^2 \cdot d\Omega}{\int_{4\pi} |F(\theta, \phi)|^2 \cdot d\Omega}$$

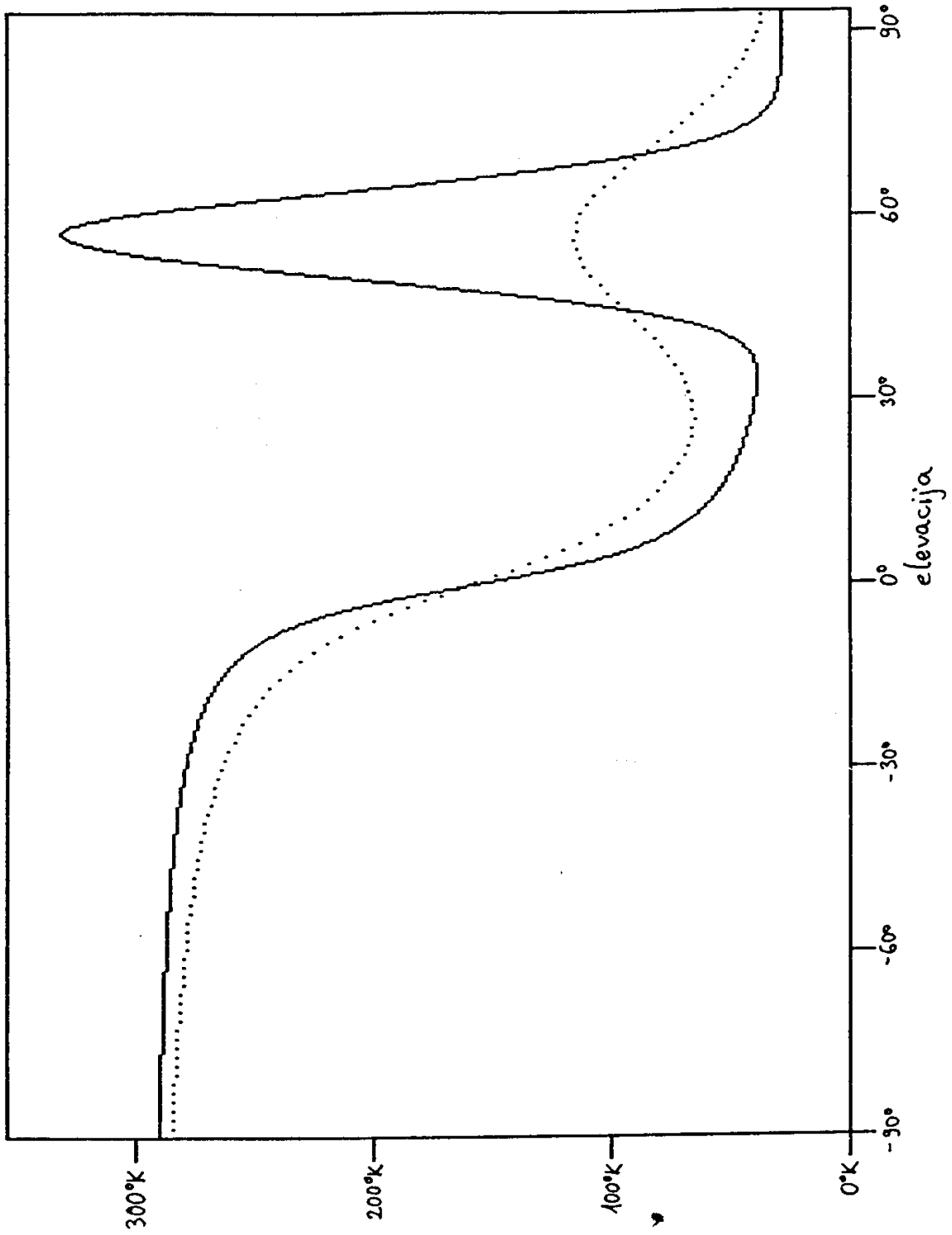
Slika 2. - Šumna temperatura antene.



Slika 3. - Vezava merilnih instrumentov.



Slika 4. - Šumna temperatura dveh anten, brez Sonca.



Slika 5. - Šumna temperatura dveh anten, s Soncem.