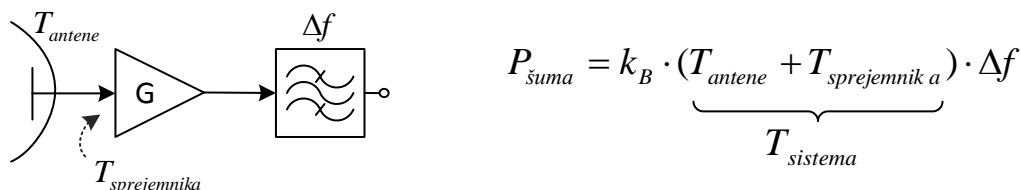


Merjenje šumne temperature antene

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.



Slika 1: Šumna temperatura sistema

Ekvivalentna šumna moč na vhodu sprejemnika je sorazmerna z ekvivalentno šumno temperaturo sprejemnika in s frekvenčno pasovno širino, povezavo pa daje Boltzmannova konstanta:

$$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K} \quad (1.1)$$

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 prikazuje enačba 1.2.

$$T_{\text{sprejemnika}} = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots \quad (1.2)$$

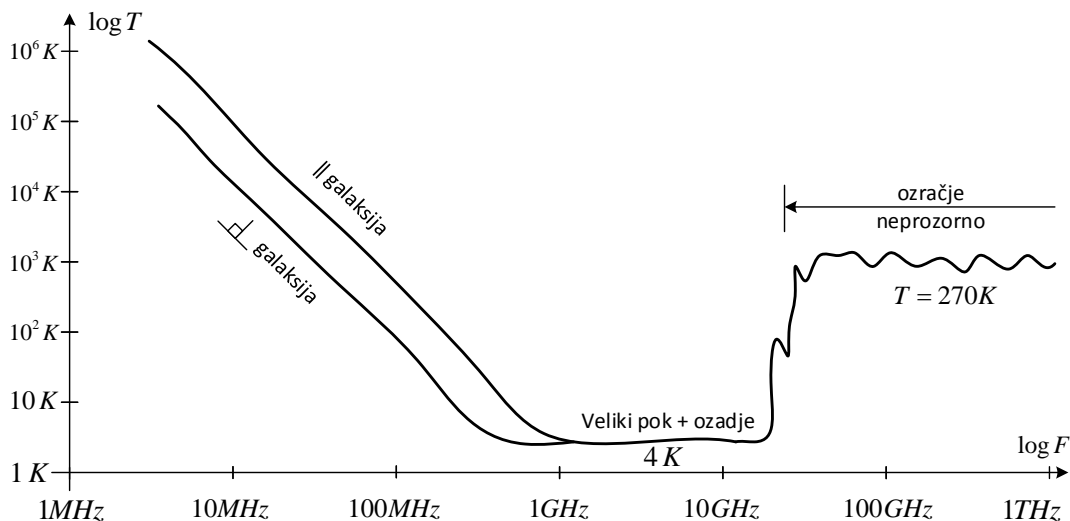
Šumna temperatura antene zavisi od več dejavnikov. Šumna temperatura brezizgubne antene, to je antene z električnim izkoristkom enakim ena, ne zavisi od fizične temperature antene, pač pa od jakosti sevanja izvorov šuma, ki jih antena "vidi" s svojim smernim diagramom. Če poznamo ekvivalentno šumno temperaturo in porazdelitev izvorov šuma, potem lahko šumno temperaturo brezizgubne antene izračunamo po enačbi 1.4.

$$T_{\text{antene}} = \frac{\int_{4\pi} T(\Theta, \phi) \cdot |F(\Theta, \phi)|^2 \cdot d\Omega}{\int_{4\pi} |F(\Theta, \phi)|^2 \cdot d\Omega} \quad (1.4)$$

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 sonce, sevanje (šum) sonca pa je frekvenčno odvisno (upada z naraščajočo frekvenco) in časovno spremenljivo v odvisnosti od aktivnosti sonca.

Na frekvencah pod 1GHz šumno temperaturo povečuje šum kozmičnega izvora (sevanje nekaterih nebesnih teles), šumna temperatura pa preseže milijon kelvinov na frekvencah

okoli 5MHz. Na frekvencah višjih od 10GHz povečuje šumno temperaturo antene absorpcija in s tem termično sevanje zemeljskega ozračja.



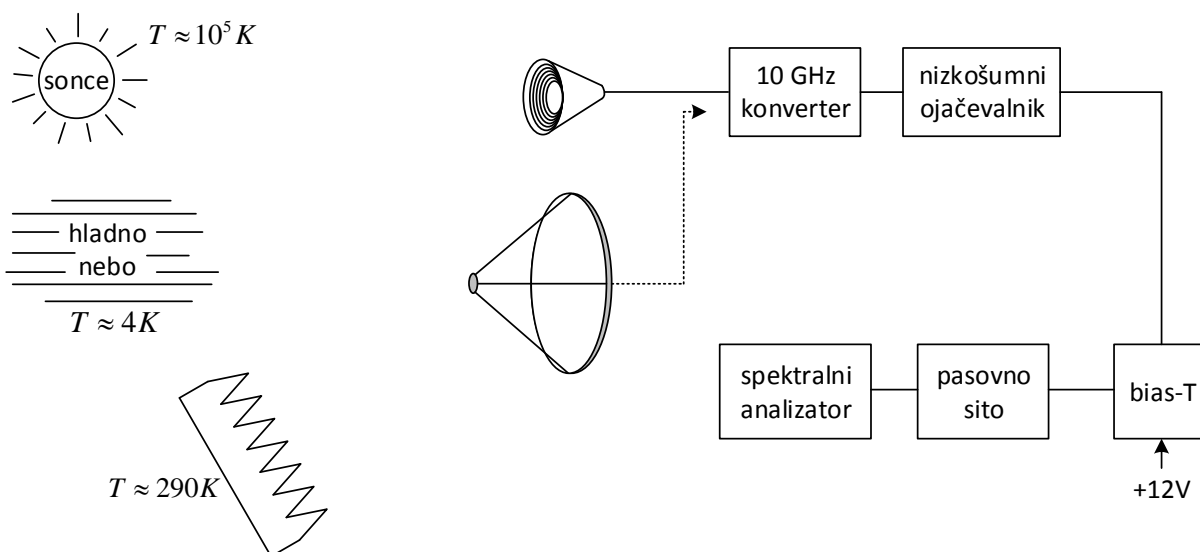
Slika 2: Šum neba

Seznam potrebnih pripomočkov

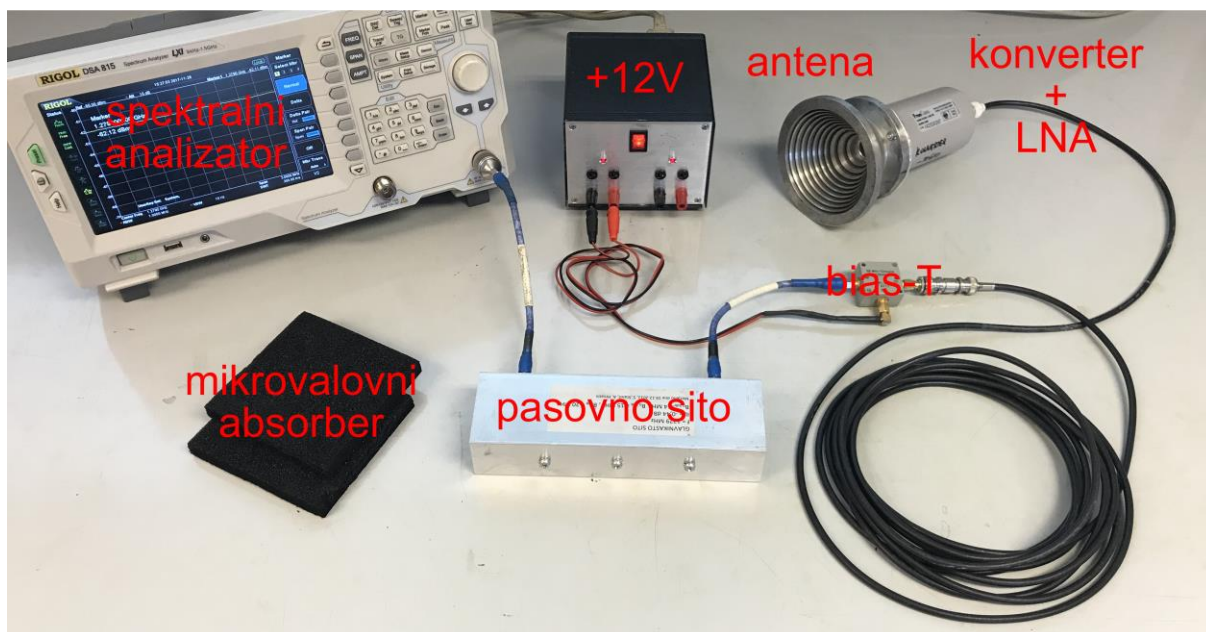
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Dve anteni za področje 11 GHz: korigiran lijak in parabolično zrcalo.
- Frekvenčni konverter z vgrajenim nizkošumnim ojačevalnikom.
- Spektralni analizator za frekvenčno območje do vsaj 1.5 GHz.
- Bias-T napajalni člen
- Pasovno prepustno sito z osrednjo frekvenco med 1 GHz in 1.5 GHz, ter širino prepustnega območja okoli 20 MHz.
- Stojalo za parabolično zrcalo.
- Priključne kable za vse povezave.

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 3, razporeditev pa Slika 4.



Slika 3: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 4: Slika vezave merilnih pripomočkov

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 $4 \cdot 10^{-15}$ W oziroma okoli -114dBm. Zato v verigo dodamo nizkošumni ojačevalnik. Da se izognemo izgubam v kablji za povezave, vgradimo ojačevalnik čim bližje izvoru, se pravi anteni.

Sodobna telekomunikacijska omrežja nam v frekvenčnem pasu, kjer je nebo najhladnejše, v meritev vnašajo precej motenj. Tu nam preglavice povzročajo predvsem močni signali mobilnih baznih postaj ter wi-fi povezanih naprav. Zato vajo preselimo na nekoliko višje frekvence, na območje satelitske televizije (11 GHz). Nizkocenovni selektivni sprejemniki (DVB-S/DVB-T ključki, ceneni spektralni analizatorji) nam seveda ne omogočajo meritev signalov na tako visokih frekvencah, poleg tega so izgube v dolgem kablu do naše zunanje antene pri takšnih frekvencah velike. Sprejeto frekvenčno območje zato s pomočjo konverterja za satelitsko televizijo preslikamo na nižje frekvence (signal premaknemo za -10 GHz).

S pomočjo bias-T člena po kablu pošljemo +12V enosmerne napetosti za napajanje našega nizkošumnega ojačevalnika in frekvenčnega pretvornika, vgrajena v monolitno ohišje, ter nameščena na anteni. Signal vodimo preko pasovno-prepustnega sita, ki poleg dušenja frekvenc izven zelenega območja zagotovo odstrani tudi enosmerno napajalno napetost, ki je nevarna za vhod spektralnega analizatorja.

Spektralni analizator nastavimo na frekvenčno območje ki ga prepušča pasovno sito, ter preverimo spekter da zajemamo samo šum. Nato izberemo čim širše medfrekvenčno sito (RBW), da zajamemo čim več šuma, ter čim ožje video sito (VBW), da povprečimo signal. Sodobni spektralni analizatorji omogočajo poljubno izbiro skale (db/razdelek) ter linearni ali logaritemski prikaz. Referenčno vrednost amplitudne skale nastavimo malo nad vrednostjo, ki jo izmerimo kadar anteno obrnemo v sonce, skalo pa nastavimo na linearni način, ali pa zmanjšamo vrednost db/razdelek.

Meritev pričnemo s korigiranim lijakom tako, da anteno oziroma vsaj njen glavni snop obrnemo proti soncu. Ker je sonce najbolj vroča točka na nebu, pričakujemo največjo izmerjeno moč šuma. Pred anteno nato namestimo kos absorberja, ki se nahaja na sobni temperaturi. Tedaj je šumna temperatura antene enaka sobni temperaturi. Anteno usmerimo še v hladno nebo in zopet pomerimo moč šuma. Pri tem pazimo, da s snopom antene res zajemamo samo nebo, ne tudi okolice.



Slika 5: Korigiran lijak z nameščenim konverterjem in nizkošumnim ojačevalnikom

Meritev ponovimo s paraboličnim zrcalom za sprejem satelitske televizije. Ker je njegov snop precej ožji od snopa korigiranega lijaka, lahko bolj točno izmerimo moč šuma sonca. Pri tem pazimo, da slučajno ne sprejemamo signala televizijskih satelitov.

Kot končni rezultat vaje izračunamo temperaturo površine Sonca na delovni frekvenci uporabljenega sprejemnika. Pri tem izračunamo neznano šumno temperaturo sprejemnika iz meritve šuma absorberja 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.

Naloga

1. Izmerite in izračunajte temperaturo površine Sonca. Pri tem izračunamo neznano šumno temperaturo sprejemnika iz meritve šuma absorberja in šuma hladnega neba. Meritev opravite z uporabo korigiranega lijaka in paraboličnega zrcala.