

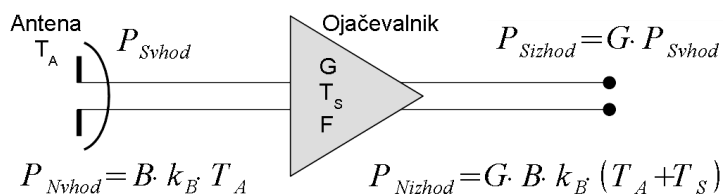
## Meritev šumnega števila ojačevalnika

### Šumno število ojačevalnika

Vsako radijsko zvezo načrtujemo za zahtevano razmerje signal/šum. Šum ima vsaj dva izvora: naravni šum  $T_A$ , ki ga sprejme antena in dodatni šum  $T_S$  radijskega sprejemnika. Šumna temperatura  $T_S$  (oziroma šumno število  $F$ ) je eden osnovnih podatkov kateregakoli radijskega sprejemnika, kot tudi posameznih stopenj sprejemnika in njihovih sestavnih delov. Šumna moč  $P_N$  je preprosto vsota vseh šumnih temperatur, preračunanih na vhodne sponke sprejemnika, pomnoženih s pasovno širino sprejemnika  $B$ , Boltzmannovo konstanto  $k_B$  in ojačenjem sprejemnika  $G$ , kot to prikazuje enačba 1.1.

$$P_N = G \cdot B \cdot k_B \cdot \sum_i T_i \quad \rightarrow \quad k_B = 1.3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad (1.1)$$

Namesto šumne temperature sprejemnika pogosto uporabljamo povsem enakovredno veličino šumno število  $F$ , kot to opisuje enačba 1.3. Šumno število je neimenovano razmerje, ki ga običajno izražamo v logaritemskih enotah  $F_{dB}$  (decibelih):



Slika 1: Šumno število ojačevalnika

$$\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{izhod} = \frac{G P_{Svhod}}{G B k_B (T_A + T_S)} = \frac{T_A}{T_A + T_S} \left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{vhod} \quad (1.2)$$

Definicija šumnega števila  $F$  oziroma  $F_{dB}$  je vezana na izbiro referenčne temperature  $T_O = 290K$ .

$$F = 1 + \frac{T_S}{T_O} \quad F_{dB} = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{T_S}{T_O}\right) \quad T_O = 290K \quad (1.3)$$

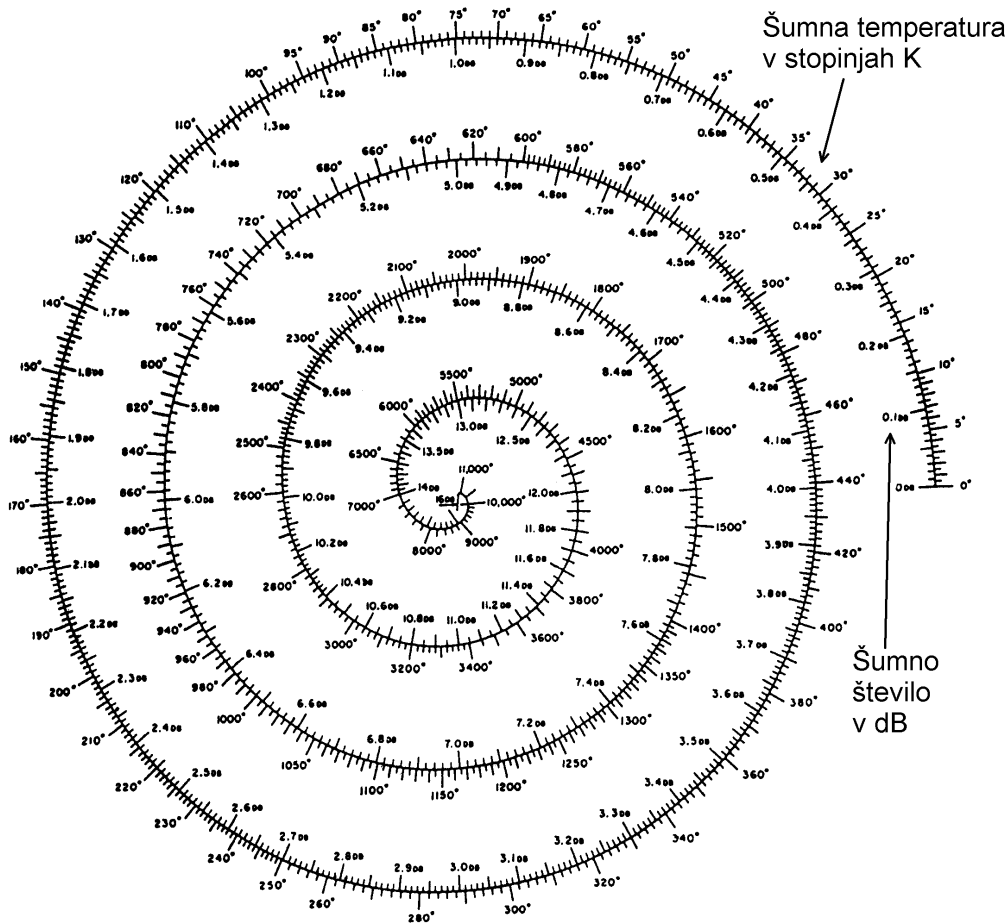
Samo v primeru, ko je šumna temperatura izvora (antene)  $T_A = T_O = 290K$  enaka referenčni (sobni) temperaturi, velja nerodna definicija, da se izhodno razmerje signal/šum poslabša ravno za faktor  $F$  (šumno število sprejemnika) glede na vhodno razmerje signal/šum:

$$\text{Samo pri } T_A = T_O \text{ velja } \left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{izhod} = \frac{1}{F} \left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{vhod} \quad (1.4)$$

V večini primerov moramo preračunati šumno število  $F$  nazaj v šumno temperaturo  $T_S$ , da nadaljujemo računanje s temperaturami:

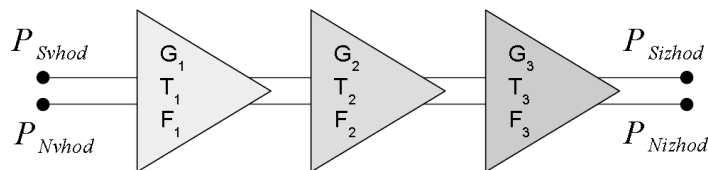
$$T_S = T_O \left(10^{\frac{F_{dB}}{10}} - 1\right) \quad T_O = 290K \quad (1.5)$$

Pretvorbo med različnimi merskimi veličinami za opis šuma v obe smeri nam olajšuje preprost nomogram, prikazan na Sliki 2.



Slika 2: Povezava med šumno temperaturo in šumnim številom

Tudi v primeru računanja šumnega števila verige ojačevalnikov v bistvu računamo s šumnimi temperaturami. Pri tem moramo paziti na merske enote danih šumnih števil: neimenovana razmerja ali decibeli?



Slika 3: Veriga ojačevalnikov

$$T = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots \tag{1.6}$$

$$F = 1 + \frac{T}{T_0} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots \quad F_i = 10^{\frac{(F_i)_{dB}}{10}} \tag{1.7}$$

Pomemben podatek ojačevalnika je tudi šumna temperatura  $T_\infty$  oziroma šumno število  $F_\infty$  neskončne verige enakih ojačevalnikov z ojačenjem  $G_e$  in šumom  $T_e$  oziroma  $F_e$ , ki nam daje oceno za šum sprejemnika z visokim ojačenjem:

$$T_\infty = \frac{T_e}{1 - \frac{1}{G_e}} \quad F_\infty = 1 + \frac{F_e - 1}{1 - \frac{1}{G_e}} \tag{1.8}$$

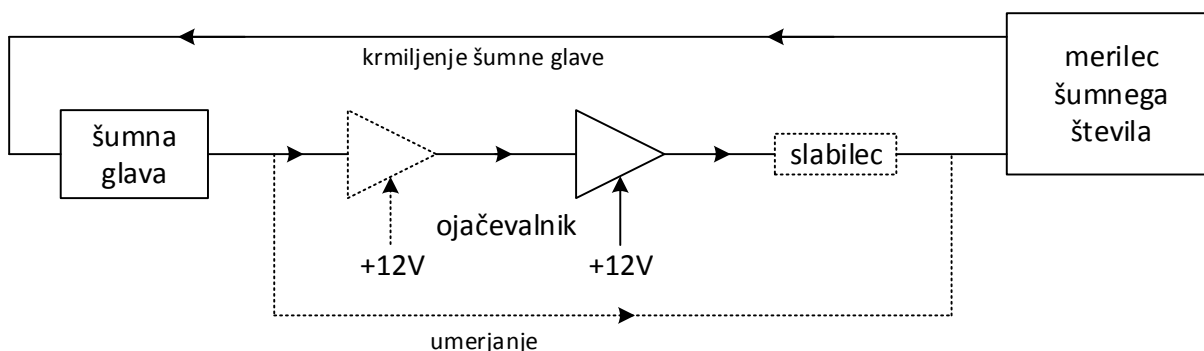


## Seznam potrebnih pripomočkov

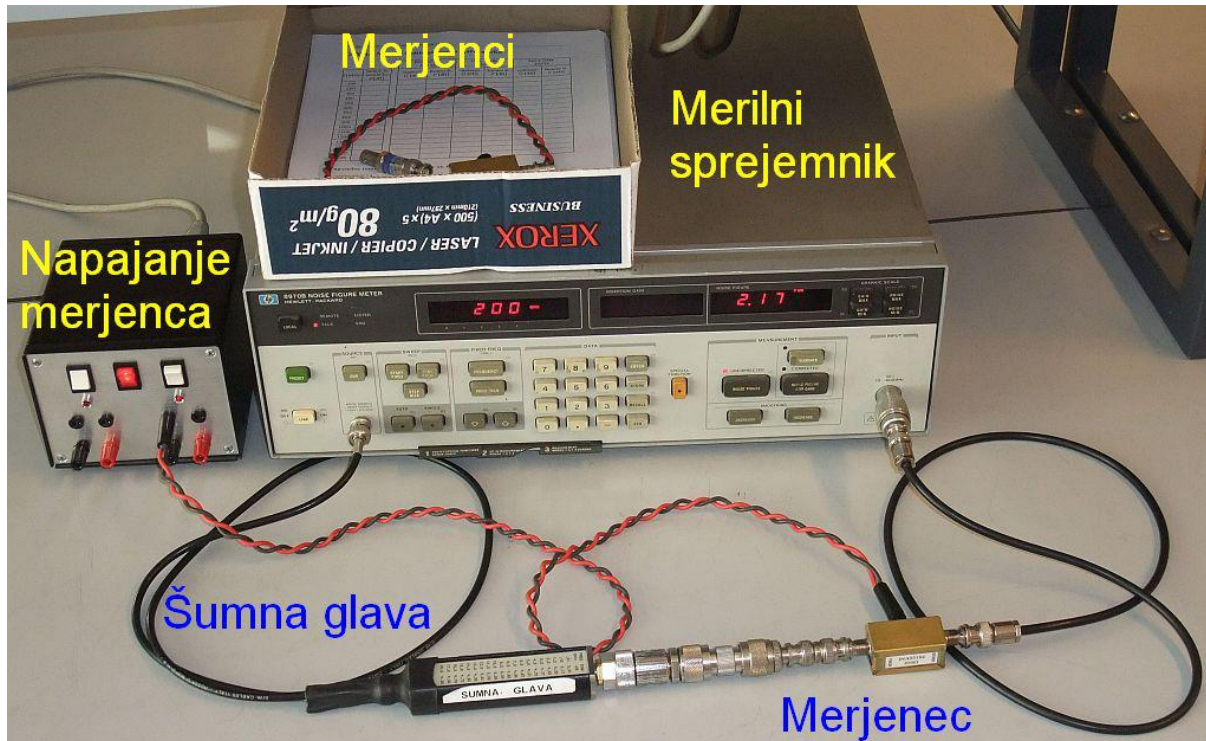
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Umerjeno šumno glavo z znanim ENR.
- Merilnik šumnega števila.
- Merjenci – visokofrekvenčno malo-šumni ojačevalniki.
- 50 Ohm slabilec.
- 12V napajalnik za merjence.
- Priključne kable za vse povezave.

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 4, rasporeditev pa Slika 5.



Slika 4: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 5: Slika vezave merilnih pripomočkov

## Opis poteka vaje

Šumno število lahko merimo na več različnih načinov. Šumno število lahko na primer izračunamo iz izmerjenega razmerja signal/šum na izhodu sprejemnika, če poznamo jakost

signala in jakost šuma na vhodu sprejemnika ter vrsto obdelave signalov v notranjosti sprejemnika. Za takšno meritev moramo torej poznati celo vrsto drugih podatkov o merjenem sprejemniku, kar vnaša vrsto možnih pogreškov v meritve.

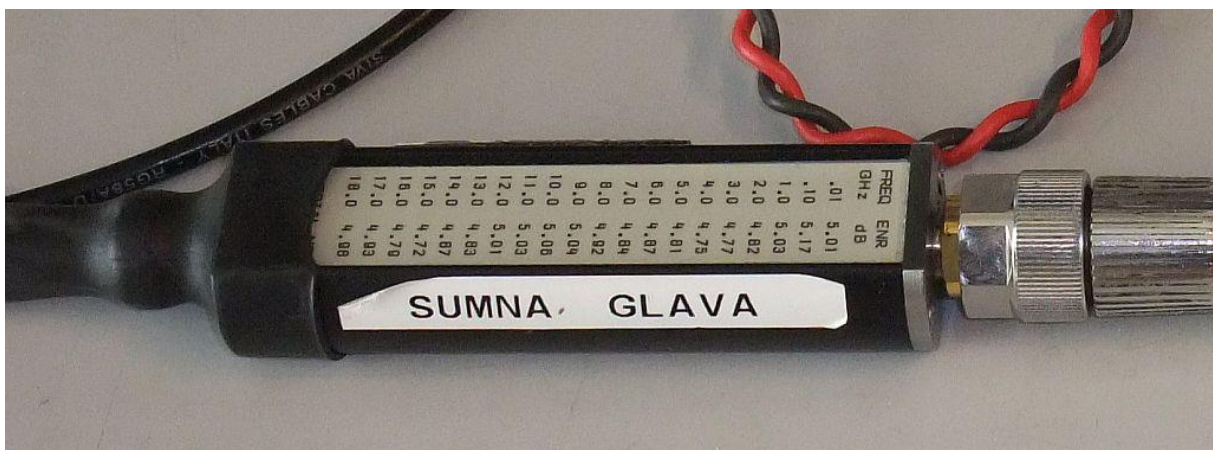
Šumno število ali šumno temperaturo najbolj natančno izmerimo tako, da uporabimo tudi kot merilni signal toplotni šum. Na ta način se cela vrsta možnih pogreškov natančno odšteje v končnem rezultatu meritve. Za takšno meritev potrebujemo dva različno močna izvora šuma znane jakosti oziroma en sam izvor šuma, ki mu šumno temperaturo lahko spreminjamo.

Če na vhodne sponke merjenca priključimo dva različna šumna izvora z dvema različnima šumnima temperaturama  $T_1$  in  $T_2$ , lahko iz izmerjenega razmerja izhodnih moči izračunamo najprej šumno temperaturo merjenca in iz nje še šumno število. Kot različna izvora šuma lahko uporabimo dva enaka upora na različnih fizičnih temperaturah ali pa anteno, ki jo obrnemo v vroče breme (absorber na sobni temperaturi) oziroma v hladno nebo.

Samodejni merilnik šumnega števila uporablja kot izvor šuma šumno glavo z vgrajeno plazovno diodo. V tem primeru je hladna temperatura  $T_1 = T_0$  kar enaka sobni temperaturi, vroča temperatura  $T_2$  pa je odvisna od vrste in priključitve plazovne diode. Plazovna dioda v šumni glavi je na izhodu že opremljena s slabilcem, da je parameter  $ENR = T_2/T_1$  umerjen in da se pri preklapljanju diode izhodna impedanca šumne glave čim manj spreminja, kar bi lahko spremenilo tudi ojačenje merjenca in s tem pokvarilo točnost meritve

Izmerjena šumna temperatura  $T$  oziroma šumno število  $F$  predstavljata šum celotne sprejemne verige, se pravi merjenca in merilnega sprejemnika, ki merjencu sledi. Če je ojačenje merjenca zelo veliko, lahko šum merilnega sprejemnika zanemarimo. Tedaj približno velja  $T_S \approx T$  oziroma  $F_S \approx F$ .

V nasprotnem primeru moramo poznati ojačenje merjenca in šum merilnega sprejemnika, da lahko izračunamo čisto šumno temperaturo  $T_S$  oziroma število  $F_S$  samega merjenca. Merilni sprejemnik lahko lastno šumno temperaturo izmeri sam, če priključimo šumno glavo neposredno na njegov vhod. Še več, iz štirih neodvisnih meritev vroče/hladno ter z/brez merjenca lahko določimo štiri neznanke: šum merilnika, ojačenje merilnika pomnoženo s pasovno širino, šum merjenca in ojačenje merjenca. Sodobni merilniki lahko po ustreznem umerjanju vso preračunavanje opravijo sami.



Slika 6: Šumna glava

Sodobni merilniki šumnega števila so opremljeni z mikroračunalnikom za preračunavanje rezultata, vrednost ENR uporabljene šumne glave pa je treba pred meritvijo vstaviti v pomnilnik računalnika. Šumna glava je opremljena s kalibracijsko tabelo, to je z vrednostmi

ENR na različnih frekvencah za dano šumno glavo. Za vajo teh vrednosti ni treba ponovno vstavljati v merilnik, ker so te vrednosti že vpisane v pomnilniku mikroračunalnika. Med delovanjem zna potem merilnik sam uporabljati pravo vrednost na dani frekvenci oziroma narediti ustrezno interpolacijo med znanimi vrednostmi v tabeli v svojem pomnilniku.

Pri meritvah šumnega števila moramo seveda paziti na celo vrsto možnih pogreškov. Ker delamo z zelo šibkimi signali, moramo paziti na radijske motnje močnih oddajnikov, ki se lahko prebijejo v merjenec in kazijo točnost meritve.

Za vajo najprej izmerimo šumno število samega merilnika na različnih frekvencah. Šumno glavo povežemo naravnost na vhod merilnika in poskusimo izvesti umerjanje (kalibracijo) merilnika, kot je to opisano v priloženih navodilih k merilniku. Merilnik tedaj izmeri ne samo svoje šumno število, pač pa tudi svoje lastno ojačenje pomnoženo s pasovno širino. Umerjanje se izvede v izbranem frekvenčnem pasu na izbranem številu frekvenc potem, ko se je merilnik ogrel na delovno temperaturo (pol ure).

Merilnik ima sedaj dovolj podatkov, da lahko sam izmeri tudi ojačenje merjenca ter preračuna njegovo resnično šumno število. Opletanje rezultata zaradi neprimernega ENR šumne glave lahko nekoliko omejimo s povprečenjem. Seveda lahko umerjeni (kalibrirani) šumomer uporabljamo tudi za meritve ojačenja oziroma slabljenja v mejah, ki jih dopušča ENR razpoložljive šumne glave. V razpredelnico vpišemo izmerjene lastnosti treh merjencev.

Končno izmerimo šumno število in ojačenje verige dveh ojačevalnikov oziroma ojačevalnika in slabilca. Slednjo meritev opravimo na eni sami frekvenci, kjer preverjeno ni radijskih motenj!

### Naloga

1. Izvedite kalibracijo merilnega sistema.
2. Izmerite ojačenje in šumno število treh različnih malo signalnih ojačevalnikov.
3. Določite vpliv slabilca v merilni verigi, ter povezovanje ojačevalnikov v verigo.