

VAJA 2. - MERITEV ŠUMNEGA ŠTEVILA OJAČEVALNIKA

=====

1. Šumno število ojačevalnika

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

Namesto šumne temperature sprejemnika pogosto uporabljamo veličino šumno število, ki je definirano na sliki 1. Šumno število je (neimenovano) razmerje, ki ga običajno izražamo v logaritemskih enotah (decibelih). Samo v slučaju, ko je šumna temperatura izvora (antene) enaka sobni temperaturi (okoli 290K) velja izraz, da se izhodno razmerje signal/šum poslabša ravno za faktor F (šumno število sprejemnika) glede na vhodno razmerje signal/šum.

V vseh ostalih slučajih moramo vedno najprej preračunati šumno število v šumno temperaturo. Tudi v slučaju računanja šumnega števila verige ojačevalnikov v bistvu računamo s šumnimi temperaturami, kot je to prikazano na sliki 2. Pri tem moramo paziti na merske enote danih šumnih števil: razmerje ali decibeli. Pomemben podatek ojačevalnika je tudi šumno število neskončne verige, ki nam daje oceno za šumno število sprejemnika z visokim ojačenjem.

Šumno število lahko merimo na več različnih načinov. Šumno število lahko naprimer 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 meritev.

Šumno število ali šumno temperaturo nabolj 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, lahko iz izmerjenega razmerja izhodnih moči Y 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.

Za samodejni merilnik šumnega števila, kot je prikazan na sliki 3, uporabimo kot izvor šuma šumno glavo z vgrajeno

plazovno diodo. V tem slučaju je hladna temperatura T_1 kar enaka sobni temperaturi, vroča temperatura T_2 pa zavisi od vrste in priključitve plazovne diode. Plazovna dioda v šumni glavi je na izhodu že opremljena s slabilcem, da je parameter ENR kalibriran in da se pri vklapljanju diode izhodna impedanca šumne glave čimmanj spreminja, kar bi lahko spremenilo tudi ojačenje merjenca in s tem pokvarilo točnost meritve.

Merilnik šumnega števila vsebuje sprejemnik z mešanjem, da lahko šumno število merimo na željeni frekvenci. Merilnik sam vklaplja in izklaplja šumno glavo in to zelo hitro (običajno 1kHz). Ob izklopljeni šumni glavi si merilnik nastavi ojačenje v medfrekvenci, pri vklopljeni šumni glavi pa potem neposredno izmeri razmerje moči Y . Iz števila Y se da potem enoveljavno izračunati šumno število F .

Izmerjeno šumno število je šumno število celotne sprejemne verige, se pravi merjenca in merilnega sprejemnika, ki merjencu sledi. Če je ojačenje merjenca zelo veliko, lahko šumno število merilnega sprejemnika zanemarimo. V nasprotnem primeru moramo določiti ojačenje merjenca in šumno število merilnega sprejemnika, da lahko izračunamo čisto šumno število samega merjenca. Sodobni merilniki lahko po ustreznem umerjanju vse preračunavanje opravijo sami.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Umerjeno šumno glavo z znanim ENR.
- (2) Merjenci - visokofrekvenčni malošumni ojačevalniki.
- (3) 50ohmski nastavljivi slabilec.
- (4) Napajalnike za malošumne ojačevalnike.
- (5) Merilnik šumnega števila.
- (6) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih inštrumentov je prikazana na sliki 4.

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

V merilniku šumnega števila je treba izmerjeno veličino Y pretvoriti v končni rezultat F . Analogni merilniki šumnega števila imajo v ta namen le primerno izrisano skalo na merilnem inštrumentu. Ena sama skala seveda velja le za povsem določeno vrednost ENR šumne glave. 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. Pri

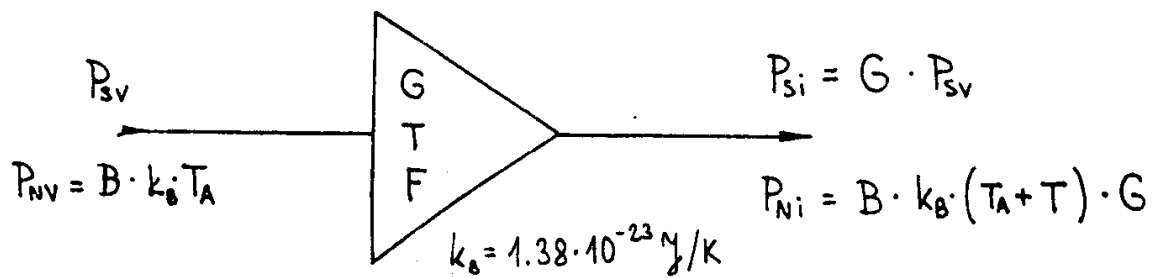
merjenju zelo nizkih šumnih števil moramo biti posebno pozorni na vhodno impedanco, ker imajo nizkošumni ojačevalniki vhodno odbojnost običajno večjo od enote. Točnost meritve moti v tem slučaju že malenkostna sprememba impedance šumnega izvora, naprimer ob vklopu plazovne diode. Za merenje nizkih šumnih števil zato uporabljamo glave z nizkim ENR=5dB (namesto bolj običajnih 15dB) oziroma sami dodamo slabilec. Najhujše napake povzroči nelinearnost merjenca, naprimer ojačevalnika ali sprejemnika z visokim celotnim ojačenjem. V tem primeru si pomagamo z dodatnim slabilcem na izhodu sprejemnika.

4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo najprej izmerimo šumno število samega merilnika na nekaj različnih frekvencah. Nato vstavimo merjenec, ojačevalnik, in meritev ponovimo. V obeh slučajih si lahko ogledamo učinek slabilcev, bodisi pred ali za ojačevalnikom. Če poznamo ojačenje ojačevalnika, lahko izračunamo tudi njegovo točno šumno število. Pri visokih ojačenjih (nad 30dB) bo pogrešek majhen, kar lahko preverimo s slabilcem med izhodom ojačevalnika in merilnikom.

Nato povežemo šumno glavo spet naravnost na vhod merilnika in poskusimo izvesti 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. Merilnik ima sedaj dovolj podatkov, da lahko sam izmeri tudi ojačenje ojačevalnika ter preračuna njegovo resnično šumno število. Seveda lahko kalibrirani šumomer uporabljamo tudi za meritve ojačenja.

Končno izmerimo šumno število in ojačenje verige dveh ojačevalnikov in rezultate primerjamo z izrazi na sliki 2. Pri pretvorbi šumnega števila v šumno temperaturo in obratno si lahko pomagamo tudi s priročnim grafom na sliki 5.

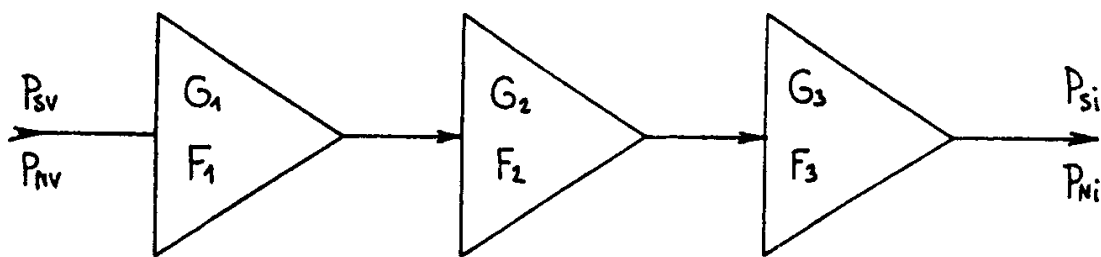


$$\frac{P_{si}}{P_{ni}} = \frac{T_A}{T_A + T} \cdot \frac{P_{sv}}{P_{nv}} = \frac{1}{1 + \frac{T}{T_A}} \cdot \frac{P_{sv}}{P_{nv}}$$

Definicija: $F = 1 + \frac{T}{T_0}$; $F_{dB} = 10 \log \left(1 + \frac{T}{T_0} \right)$; $T_0 \approx 290K$

Samo v slučaju $T_A = T_0$ velja: $\frac{P_{si}}{P_{ni}} = \frac{1}{F} \cdot \frac{P_{sv}}{P_{nv}}$

Slika 1 - Šumno število ojačevalnika.



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

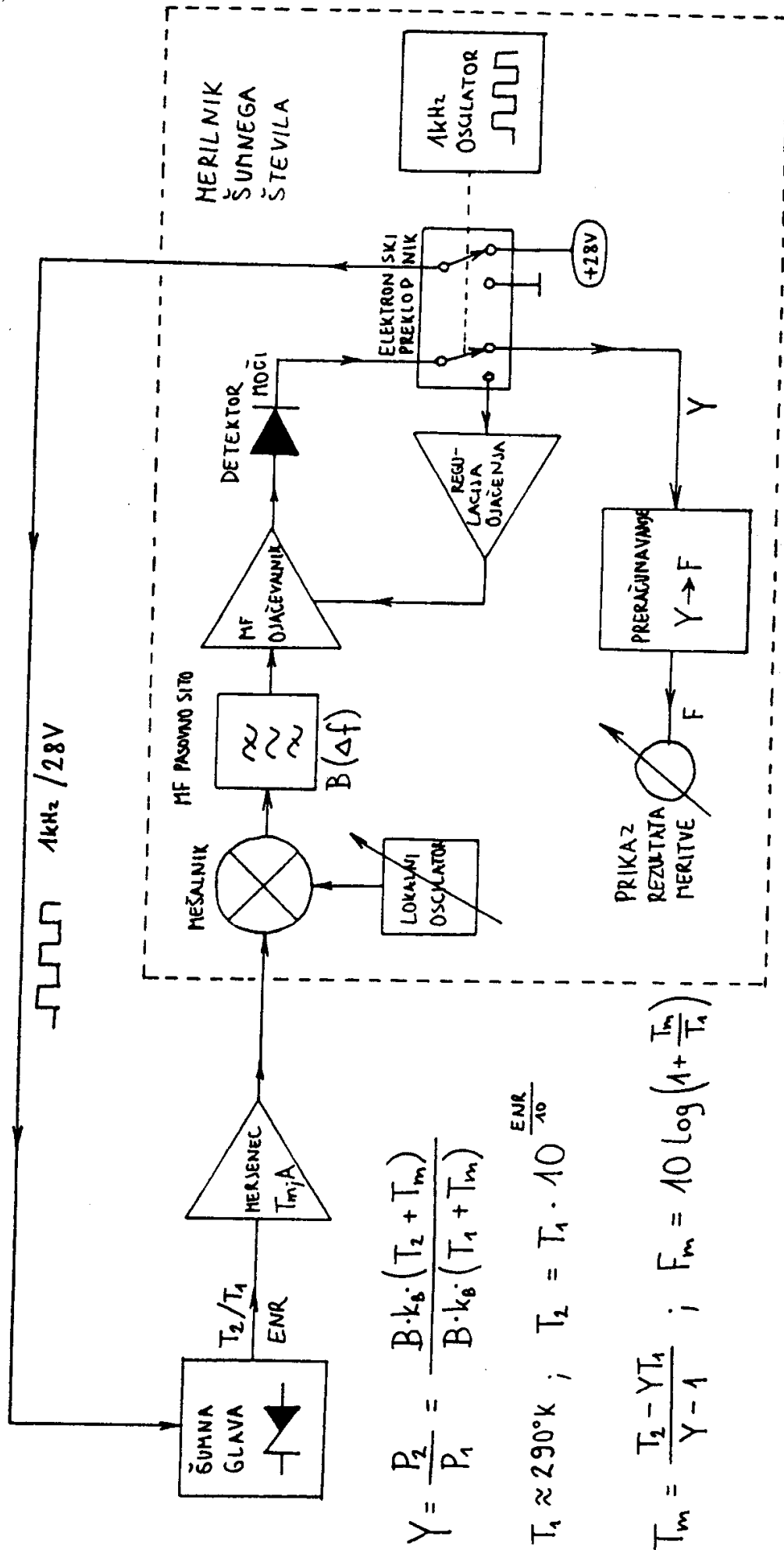
$$F = 1 + \frac{T}{T_0} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

$F_1, F_2, F_3, \dots \equiv$ šumna števila v linearnih enotah moči!

$$F = 10^{\frac{F_{dB}}{10}} ; F_{dB} = 10 \log F$$

Neskončna veriga enakih ojačevalnikov $F'; G'$: $F = 1 + (F' - 1) \cdot \frac{G'}{G' - 1}$

Slika 2 - Šumno število verige ojačevalnikov.

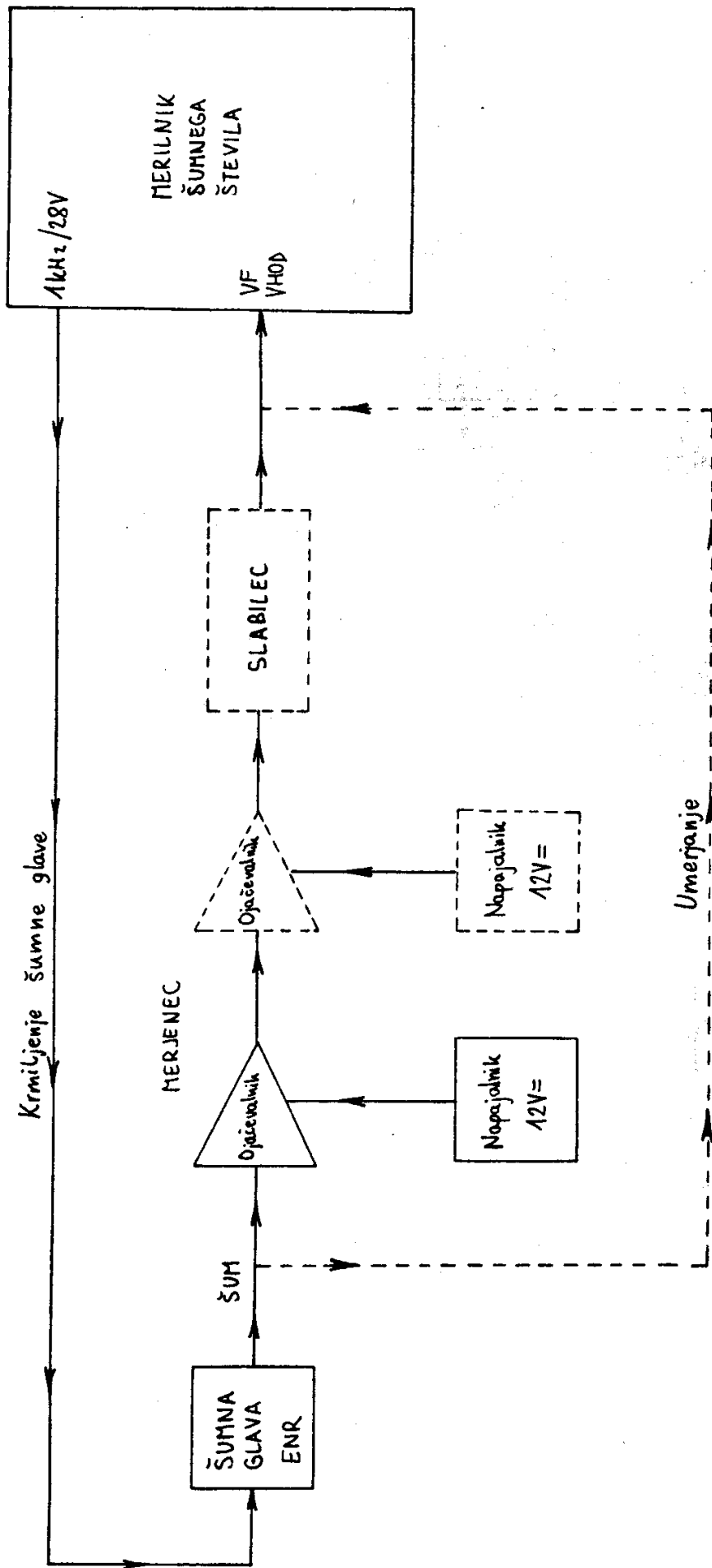


$$Y = \frac{P_2}{P_1} = \frac{B \cdot k_B \cdot (T_2 + T_m)}{B \cdot k_B \cdot (T_1 + T_m)}$$

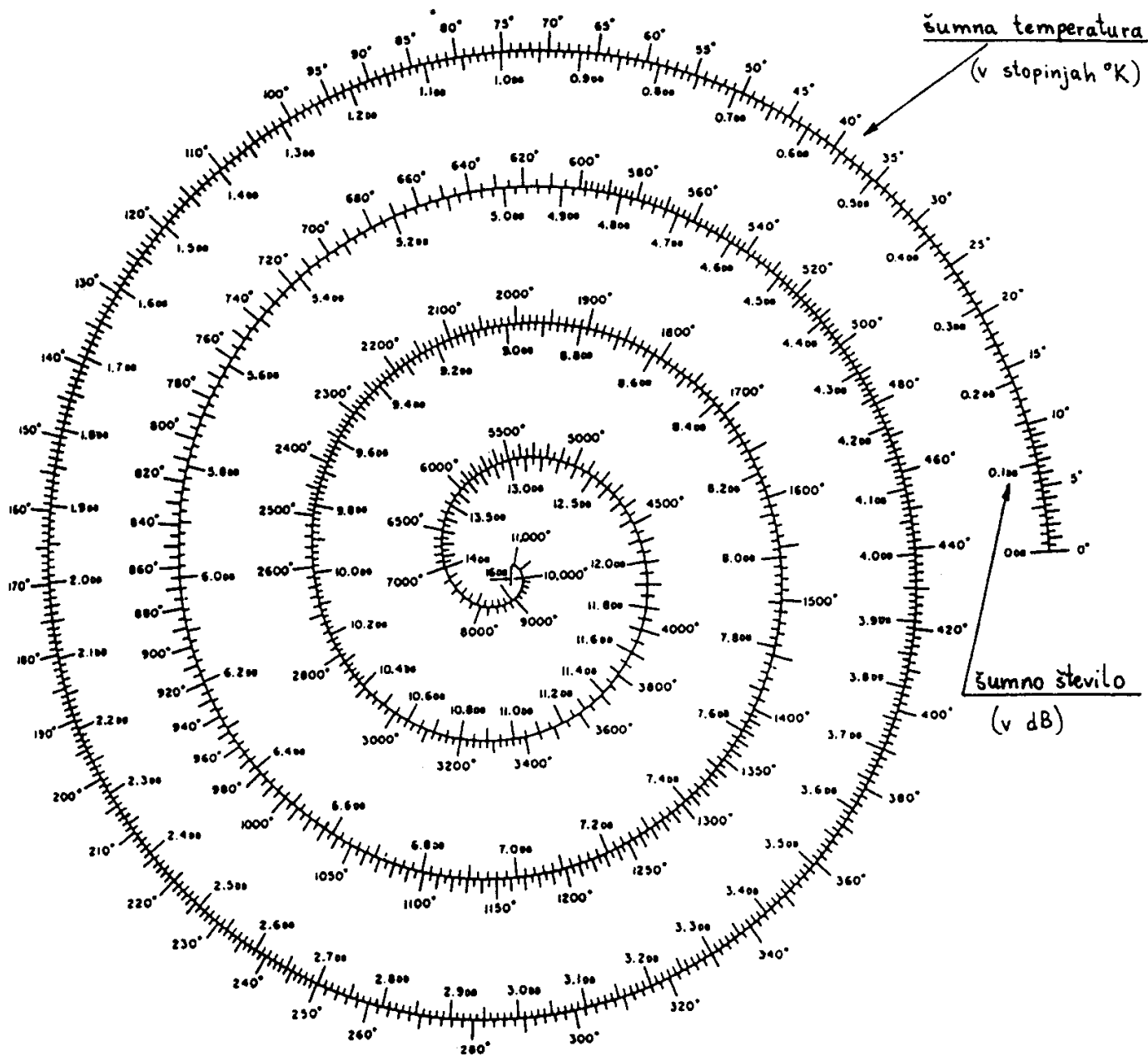
$$T_1 \approx 290^\circ K ; T_2 = T_1 \cdot 10^{\frac{ENR}{10}}$$

$$T_m = \frac{T_2 - Y T_1}{Y - 1} ; F_m = 10 \log \left(1 + \frac{T_m}{T_1} \right)$$

Slika 3 - Delovanje merilnika šumnega števila.



Slika 4 - Razporeditev in vezava merilnih inštrumentov.



$$F[\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{T}{290^\circ\text{K}} \right)$$

$$T[^\circ\text{K}] = 290^\circ\text{K} \cdot \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right)$$

Slika 5 - Povezava med šumno temperaturo in šumnim številom.