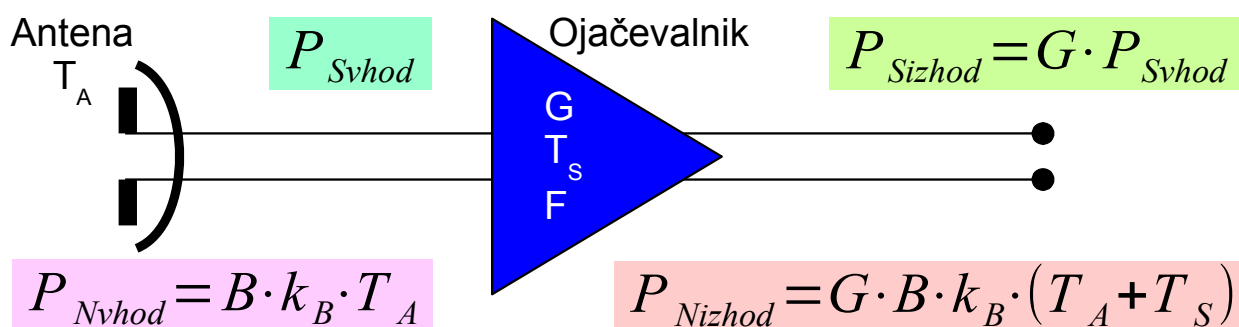


## 10. Meritev šumnega števila ojačevalnika

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 ojačanjem sprejemnika  $G$ :

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

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



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

$$F = 1 + \frac{T_S}{T_0} \quad F_{dB} = 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{T_S}{T_0} \right) \quad T_0 = 290 \text{ K}$$

*Samo pri  $T_A = T_0$  velja*  $\left( \frac{P_S}{P_N} \right)_{izhod} = \frac{1}{F} \cdot \left( \frac{P_S}{P_N} \right)_{vhod}$   
Šumno število ojačevalnika

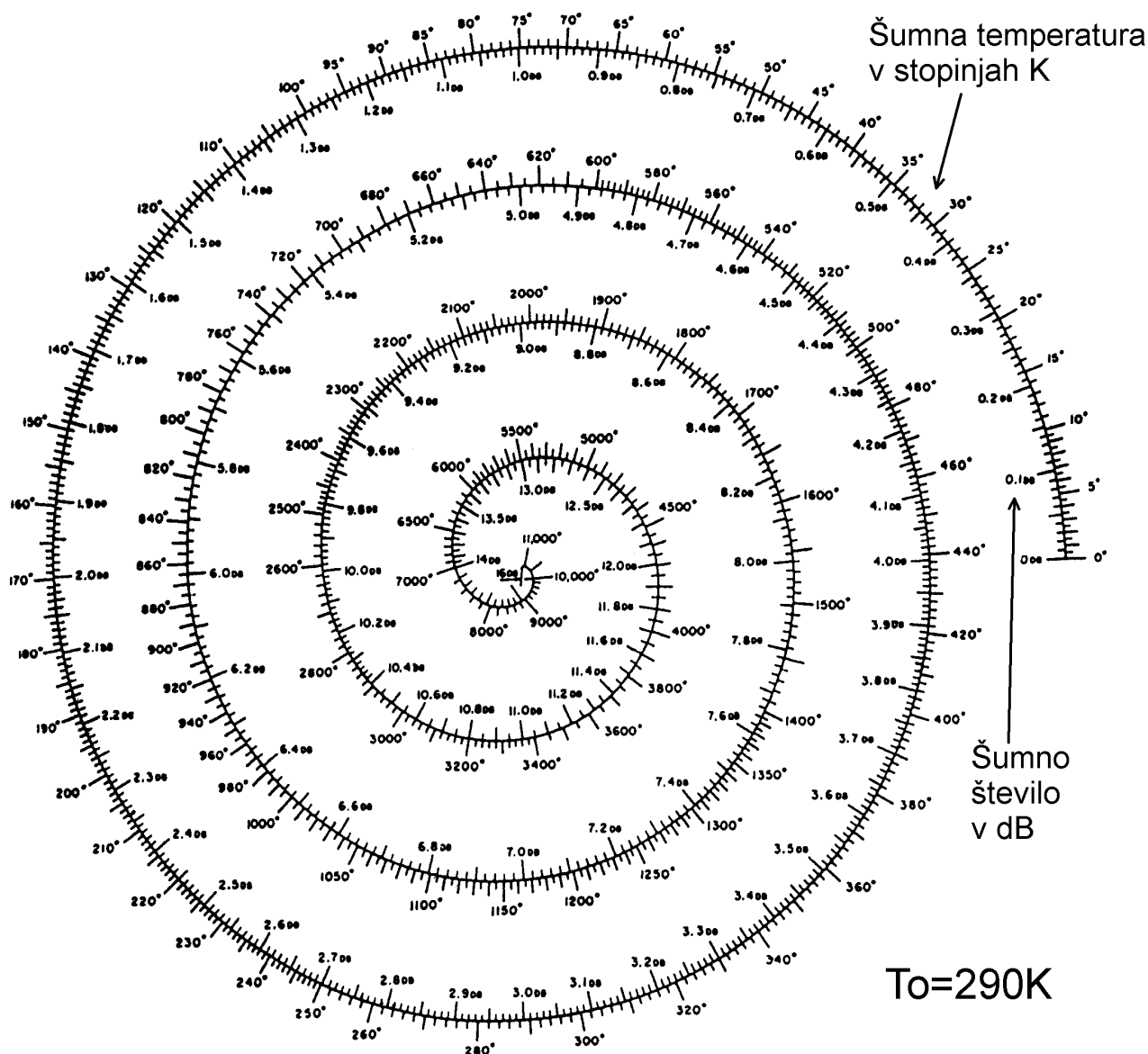
Definicija šumnega števila  $F$  oziroma  $F_{dB}$  je vezana na izbiro referenčne

temperature  $T_0=290\text{K}$ . Samo v primeru, ko je šumna temperatura izvora (antene)  $T_A=T_0=290\text{K}$  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.

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

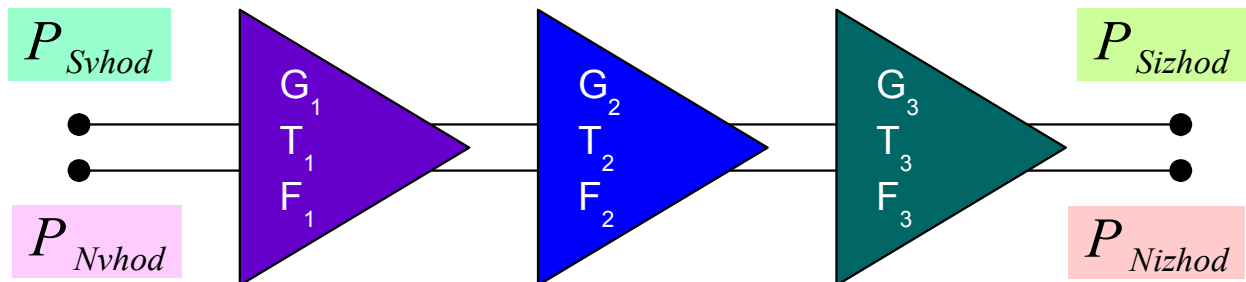
$$T_s = T_0 \cdot \left( 10^{\frac{F_{dB}}{10}} - 1 \right) \quad T_0 = 290 \text{ K}$$

Pretvorbo med različnimi merskimi veličinami za opis šuma v obe smeri nam olajšuje preprost nomogram:



Tudi v primeru računanja šumnega števila  $F$  verige ojačevalnikov v

bistvu računamo s šumnimi temperaturami  $T_i$ . Pri tem moramo paziti na merske enote danih šumnih števil  $F_i$ : neimenovana razmerja ali decibeli? Pomemben podatek ojačevalnika je tudi šumna temperatura  $T_\infty$  oziroma šumno število  $F_\infty$  neskončne verige enakih ojačevalnikov z ojačanjem  $G_e$  in šumom  $T_e$  oziroma  $F_e$ , ki nam daje oceno za šum sprejemnika z visokim ojačanjem:



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

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

Neskončna veriga  
enakih ojačevalnikov  
 $G_e, T_e, F_e$

$$T_\infty = \frac{T_e}{1 - \frac{1}{G_e}}$$

$$F_\infty = 1 + \frac{F_e - 1}{1 - \frac{1}{G_e}}$$

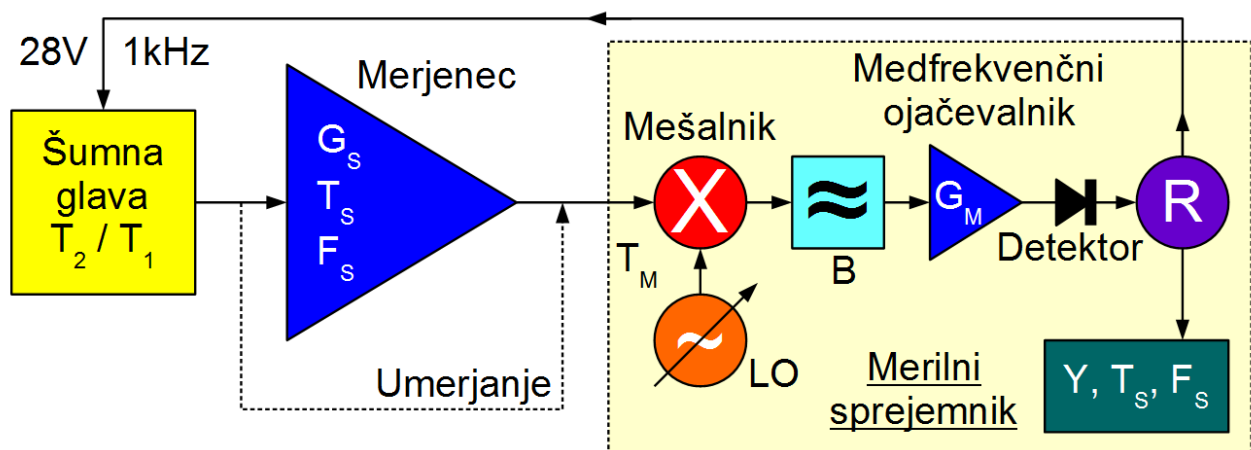
Šumno število verige ojačevalnikov

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 meritev.

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  $Y=P_2/P_1$  izračunamo najprej šumno temperaturo merjenca  $T_S$  in iz nje še šumno število  $F$ . Kot različna izvora šuma lahko uporabimo dva enaka upora na različnih fizičnih temperaturah  $T_1$  in  $T_2$  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 ojačanje merjenca in s tem pokvarilo točnost meritve:



$$Y = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 + T_S + T_M / G_S}{T_1 + T_S + T_M / G_S}$$

$$T_S = \frac{T_2 - Y \cdot T_1}{Y - 1} - \frac{T_M}{G_S}$$

$$(F_S)_{dB} = 10 \log_{10} \left[ 1 + \frac{1}{T_0} \cdot \left( \frac{T_2 - Y \cdot T_1}{Y - 1} - \frac{T_M}{G_S} \right) \right]$$

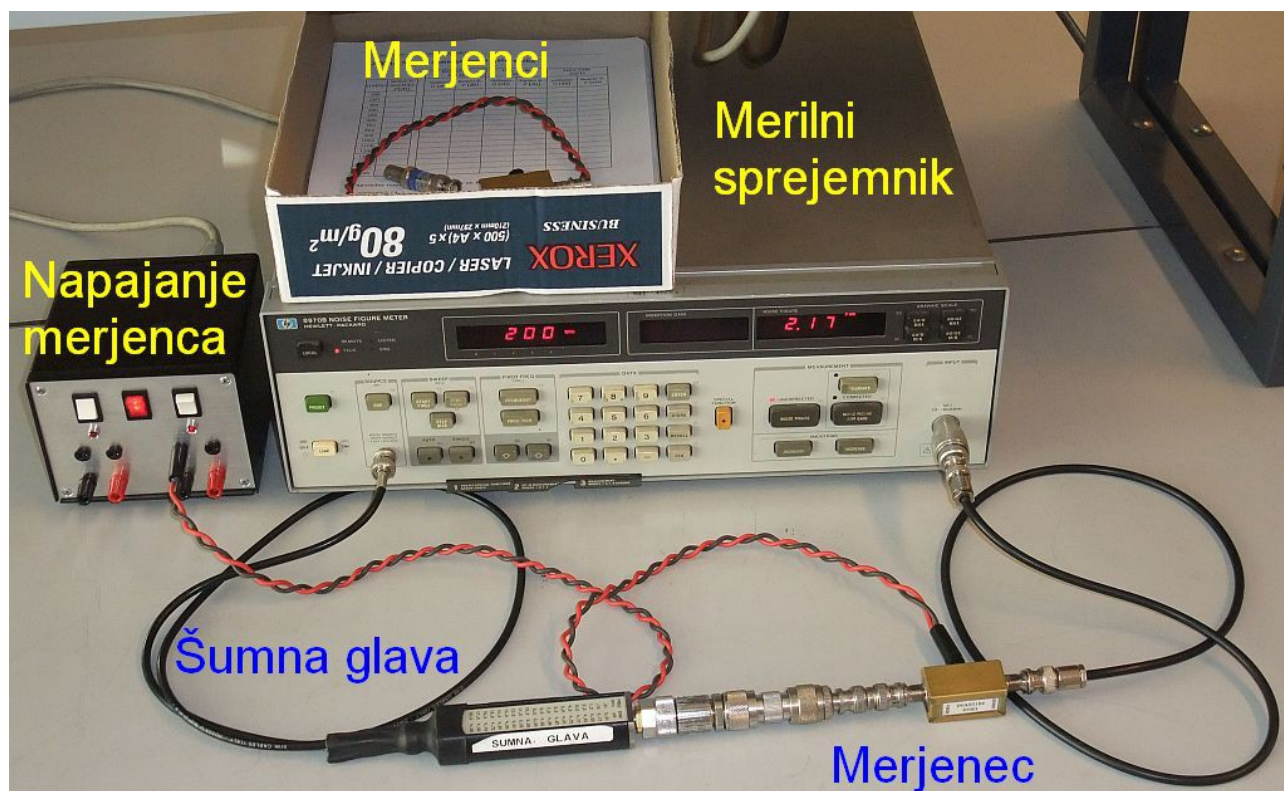
Delovanje merilnika šumnega števila

Merilnik šumnega števila vsebuje uglasljiv sprejemnik z mešanjem, da lahko šumno število merimo na izbrani frekvenci. Merilnik sam vklaplja in izklaplja šumno glavo in to zelo hitro (običajno 28V 1kHz). Računalnik (R) si

zapomni izmerjeni moči  $P_1$  ob izklopljeni šumni glavi in  $P_2$  pri vklopljeni šumni glavi. Iz obeh izračuna razmerje moči  $Y$ . Iz števila  $Y$  se da potem enoveljavno izračunati šumno temperaturo  $T$  oziroma šumno število  $F$ .

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

V nasprotnem primeru moramo poznati ojačanje merjenca  $G_S$  in šum merilnega sprejemnika  $T_M$ , da lahko izračunamo čisto šumno temperaturo  $T_S$  oziroma število  $F_S$  samega merjenca. Merilni sprejemnik lahko lastno šumno temperaturo  $T_M$  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  $T_M$ , ojačanje merilnika pomnoženo s pasovno širino  $G_M \cdot B$ , šum merjenca  $T_S$  in ojačanje merjenca  $G_S$ . Sodobni merilniki lahko po ustreznem umerjanju vse preračunavanje opravijo sami:



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 pogrškov. 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 nizkošumni ojačevalniki običajno niso brezpogojno stabilni ter imajo vhodno odbojnost običajno večjo od enote. Točnost meritve moti v tem slučaju že malenkostna sprememba impedance šumnega izvora, na primer ob vklopu plazovne diode.

Za merjenje nizkih šumnih števil zato uporabljamo glave z nizkim ENR=5dB (namesto bolj običajnih ENR=15dB) oziroma sami dodamo slabilec. Najhujše napake povzroči nelinearnost merjenca, na primer ojačevalnika ali sprejemnika z visokim celotnim ojačanjem. V tem primeru si pomagamo z dodatnim slabilec na izhodu sprejemnika.

Za vajo najprej izmerimo šumno število  $F_M$  samega merilnika na različnih frekvencah. Nato vstavimo merjenec, ojačevalnik, in meritev ponovimo. V obeh slučajih si lahko ogledamo učinek slabilcev, bodisi pred ali za ojačevalnikom. Če poznamo ojačanje merjenca  $G_S$ , lahko izračunamo tudi njegovo točno šumno število  $F_S$ . Pri visokih ojačanjih ( $G_S > 30\text{dB}$ ) bo pogršek

majhen, kar lahko preverimo s slabilcem med izhodom ojačevalnika in merilnikom.

Nato povežemo šumno glavo spet 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  $F_M$ , pač pa tudi svoje lastno ojačanje  $G_M$ . B 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 ojačanje merjenca  $G_S$  ter preračuna njegovo resnično šumno število  $F_S$ . Opletanje rezultata zaradi neprimerne ENR šumne glave lahko nekoliko omejimo s povprečenjem. Seveda lahko umerjeni (kalibrirani) šumomer uporabljamo tudi za meritve ojačanja oziroma slabljenja v mejah, ki jih dopušča ENR razpoložljive šumne glave. V razpredelnico vpišemo izmerjene lastnosti treh merjencev:

Merilnik		INA-03184		INA-10386		MSA-0386	
f[MHz]	$F_M$ [dB]	$G_S$ [dB]	$F_S$ [dB]	$G_S$ [dB]	$F_S$ [dB]	$G_S$ [dB]	$F_S$ [dB]
100							
200							
300							
400							
500							
600							
700							
800							
900							
1000							
1100							
1200							
1300							
1400							
1500							
1600							

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

Frekvenca $f=$ MHz		Šum merilnika $F_M=$ dB	
Prvi člen verige	Drugi člen verige	Skupni G[dB]	Skupni F[dB]
Ojačevalnik #1	Ojačevalnik #2		
Ojačevalnik #2	Ojačevalnik #1		
Ojačevalnik #1	Slabilec -10dB		
Slabilec -10dB	Ojačevalnik #1		