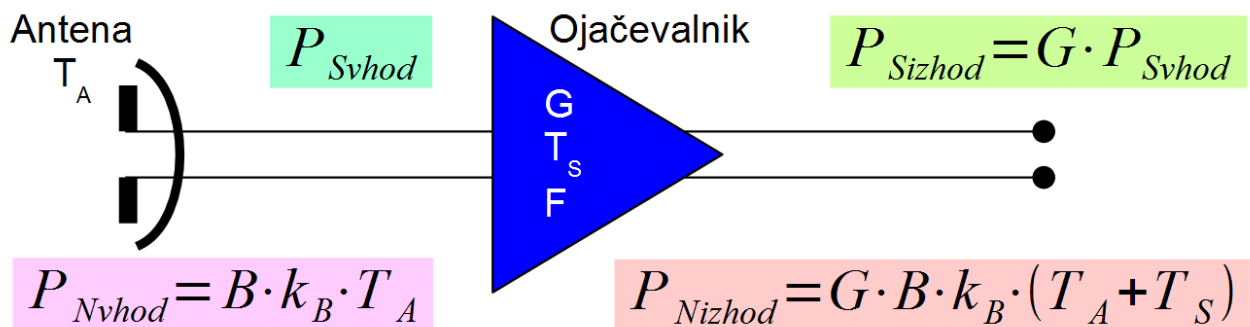


Meritev šumnega števila ojačevalnika

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):



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

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

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

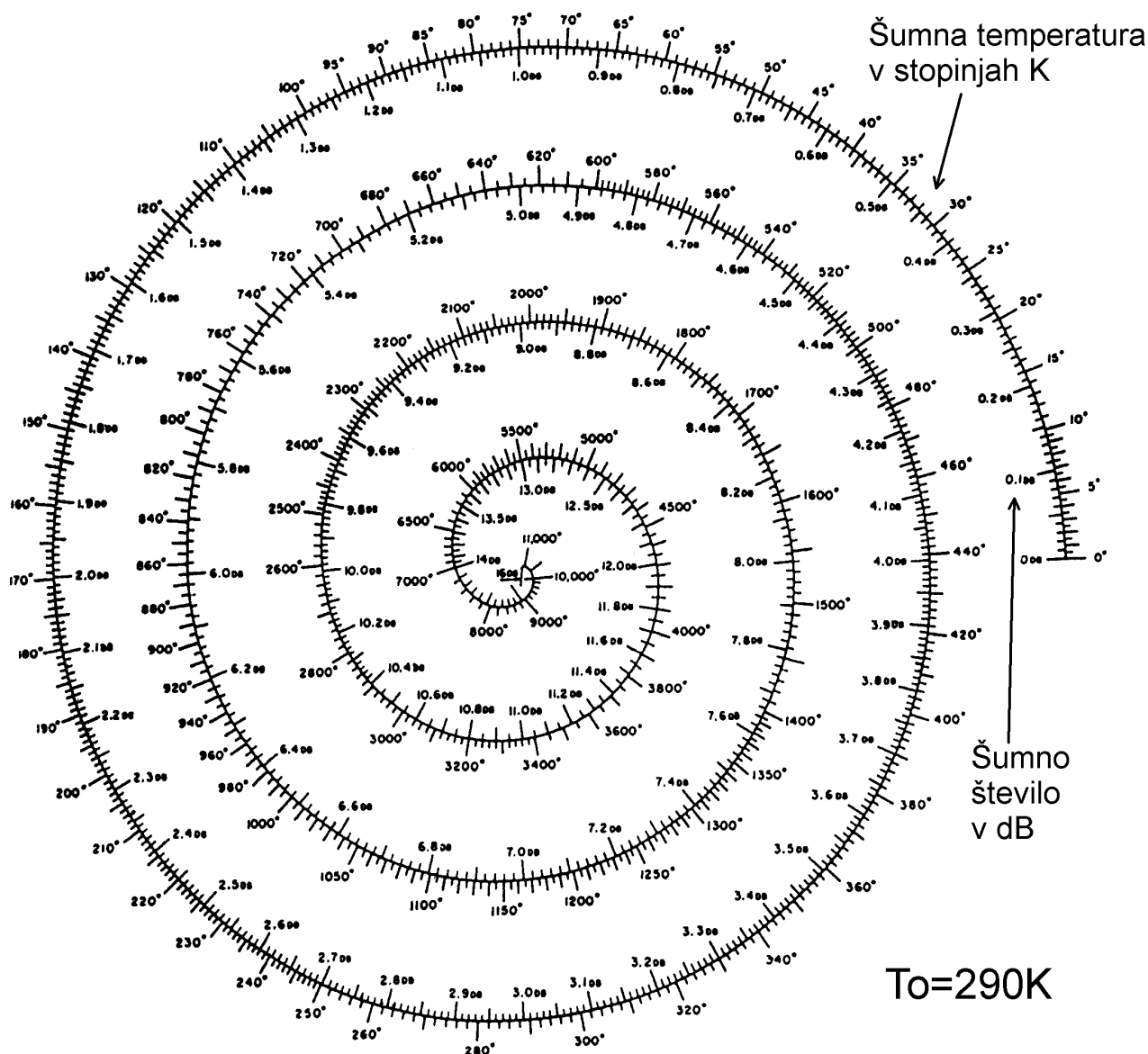
Definicija šumnega števila F oziroma F_{dB} je vezana na izbiro referenčne

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:

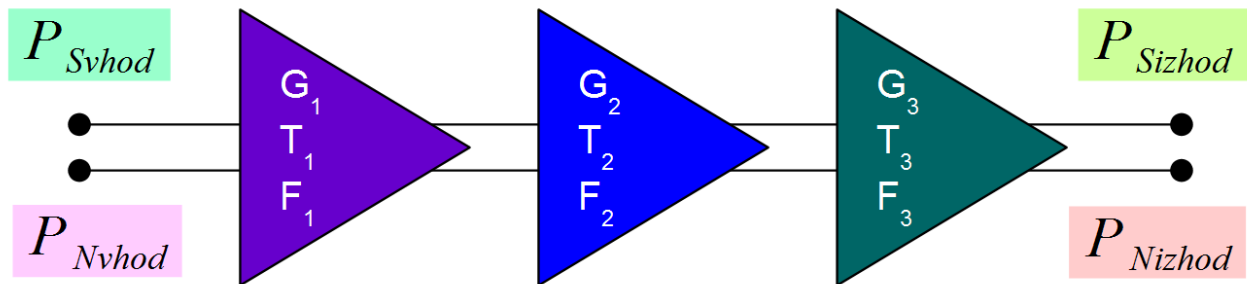
$$T_s = T_0 \cdot \left(10^{\frac{F_{dB}}{10}} - 1 \right) \quad T_0 = 290 \text{ K}$$

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_∞ oziroma šumno število F_∞ 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

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

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

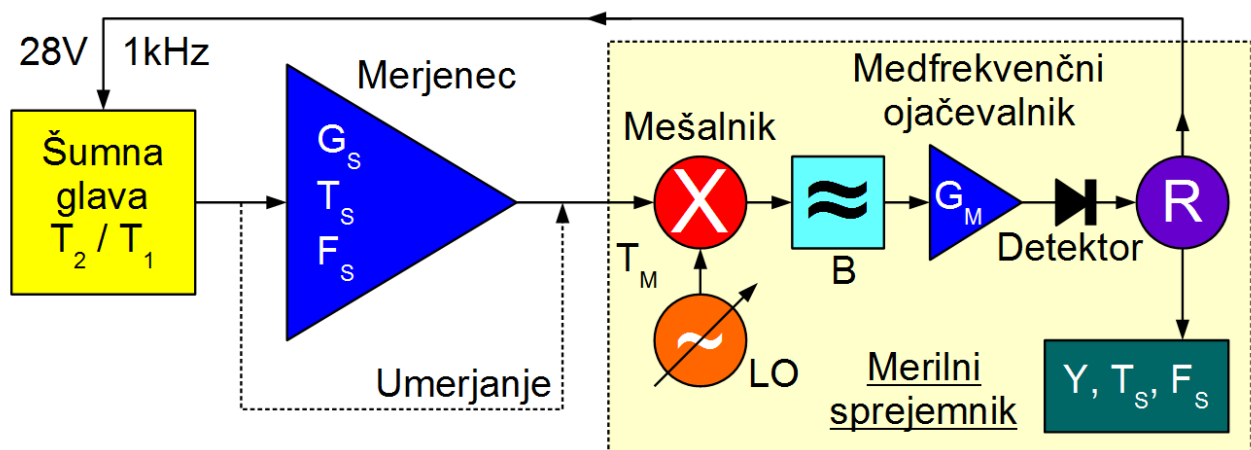
Šumno število verige ojačevalnikov

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 vходу 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:



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

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

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

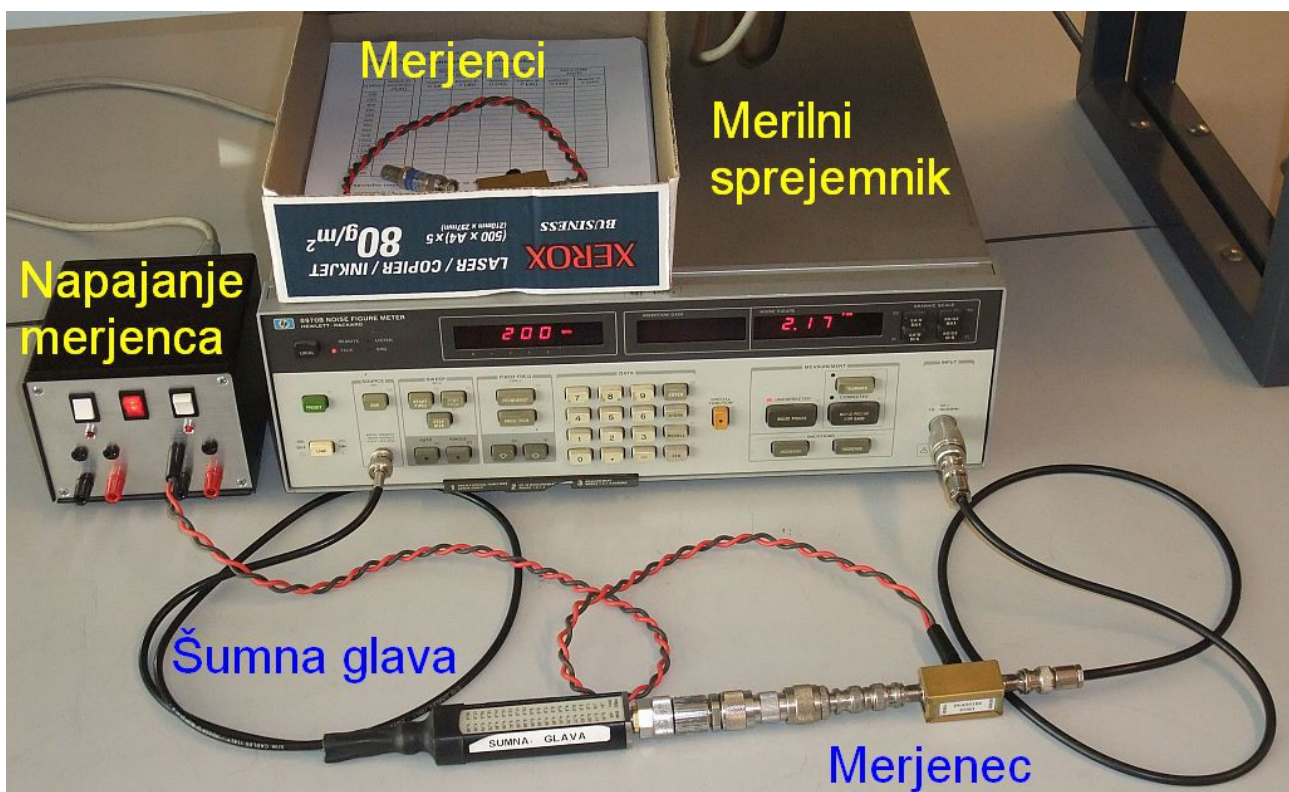
Delovanje merilnika šumnega števila

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 šumna temperatura T oziroma šumno število F .

Izmerjeno šum T oziroma F je 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 mikroročunalnika. 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 slabilcem 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		