

VAJA 9. - MERITEV ŠUMNIH PARAMETROV TRANZISTORJA

1. Šumni parametri četveropola

Električne lastnosti četveropolov (ojačevalnikov) opišemo na več načinov. Če uporabljamo ojačevalnik v linearnem režimu, obnašanje ojačevalnika opišemo z eno od (enakovrednih) matrik za opis linearnih četveropolov (Z-matrika ali Y-matrika ali verižna matrika ali na visokih frekvencah običajno matrika S-parametrov). Pri krmiljenju z velikimi signali moramo upoštevati še nelinearnosti, ki se najprej pokažejo v intermodulacijskih produktih.

Pri delovanju ojačevalnika z zelo majhnimi signali moramo upoštevati tudi šum ojačevalnika. V večini slučajev navedemo le šumno število F ojačevalnika, vendar ta podatek še ne opisuje v celoti šumnih lastnosti ojačevalnika. Popoln opis šumnih lastnosti dajejo trije šumni parametri F_{min} , G_{ama-o} in r_n (ali R_n), ki so prikazani na sliki 1.

Najnižje šumno število ojačevalnika F_{min} dosežemo le takrat, ko je odbojnost (impedanca) izvora enaka optimalni odbojnosti G_{ama-o} . Optimalna odbojnost G_{ama-o} je pri tem povsem neodvisna veličina od linearnih S-parametrov ojačevalnika. Tretji šumni parameter, šumna upornost R_n oziroma normirana šumna upornost r_n nam pove, kako hitro se šumno število poslabša, ko odbojnost izvora ni več enaka optimalni odbojnosti.

Ker so šumni parametri četveropola neodvisni od linearnih S-parametrov, pri večini ojačevalnikov prilagoditev za največje ojačenje običajno ne sovпада s prilagoditvijo odbojnosti (impedanc) za najnižje šumno število. Pri največjem ojačenju dobimo slabše šumno število in pri najnižjem šumnem številu dobimo nekoliko manjše ojačenje. Nekateri ojačevalniki, še posebno tisti z zelo nizkimi šumnimi števili, so lahko tudi potencialno nestabilni.

Pri načrtovanju ojačevalnika moramo v večini slučajev izbrati srednjo pot med najnižjim šumnim številom in dovolj velikim ojačenjem. Majhno ojačenje pomeni tudi velik dodatek šuma druge in naslednjih ojačevalnih stopenj v verigi. Še bolj pomembno pa je določiti dopustna odstopanja odbojnosti izvora (antene) oziroma odstopanja pri izdelavi prilagodilnega vezja na vhodu ojačevalnika.

Podobno kot linearne S-parametre dobimo tudi šumne parametre izmerjene in objavljene za določeno delovno točko aktivnega sestavnega dela v ojačevalniku. Postopek določanja šumnih parametrov je prikazan na sliki 2. Najprej izmerimo šumno število F_{50ohm} brez vsakršne prilagoditve impedance med šumno glavo merilnika in vhodom merjenca.

Nato med šumno glavo in vhod merjenca vstavimo impedančno prilagodilno enoto in jo uglašujemo toliko časa, da dobimo minimalno šumno število F_{min} . Iz preslikave impedance tedaj določimo še G_{ama-o} . Končno iz izmerjenih veličin izračunamo še (normirano) šumno upornost R_n (ali r_n).

Opisani postopek daje zelo netočne rezultate, ko je

optimalna odbojnost izvora Gama-o blizu nič, in popolnoma odpove, ko je Gama-o enak nič. V teh zelo redkih slučajih moramo seveda izmeriti šumno število še pri neki drugi impedanci izvora, da lahko iz izrazov na sliki 1 določimo šumno upornost R_n oziroma r_n .

Pred meritvijo šumnih parametrov moramo najprej izbrati ustrezen šumni izvor glede na pričakovano velikost šumnih števil. Šumna števila nekaterih običajnih aktivnih sestavnih delov so prikazana na sliki 3. Nato moramo izdelati ustrezno merilno vezje, ki poskrbi za enosmerno delovno točko merjenca in čimbolj verno preslika visokofrekvenčne impedance na zunanje sponke. Enostavno merilno vezje za šumne parametre bipolarnega tranzistorja je prikazano na sliki 4.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Umerjeno šumno glavo z znanim ENR.
- (2) Impedančno prilagodilno enoto (tuner) z nastavljivimi štrclji.
- (3) Merjenca - visokofrekvenčni tranzistor v nosilnem vezju.
- (4) Napajalnik za ojačevalnik s tranzistorjem.
- (5) Merilnik šumnega števila.
- (6) Merilnik impedance (mostiček ali analizator vezij, z ustreznim merilnim izvorom za dano frekvenčno področje).
- (7) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih inštrumentov je prikazana na sliki 5.

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

V vaji moramo izvesti tri meritve. Najprej moramo izmeriti šumno število merjenca v 50-ohmskem sistemu brez prilagoditev impedance. Nato moramo poiskati takšno prilagoditev impedance, da dobimo minimalno šumno število F_{min} . Končno moramo izmeriti odbojnost (impedanco), pri kateri smo dosegli F_{min} .

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. Močen izvor motenj je lahko tudi visokofrekvenčni izvor za krmiljenje analizatorja vezij (ali mostička za merjenje impedance), ki ga moramo med meritvijo šumnega števila zato nujno izključiti ali vsaj uglasiti na drugačno frekvenco.

Pred merjenjem šumnega števila merjenca izvedemo umerjanje merilnega sprejemnika. Na merilnem sprejemniku moramo najprej nastaviti frekvenčni pas, v katerem izvedemo umerjanje. ENR tabele šumne glave nam ni treba ponovno vstavljati, ker je že vpisana v pomnilnik računalnika. Na sprejemniku tudi nastavimo primeren faktor povprečenja, da dobimo točnejši rezultat.

Najprej izvedemo meritve šumnega števila v 50-ohmskem sistemu. Umerjena šumna glava z nizkim ENR (5dB ali 15dB) vsebuje v svoji notranjosti dobro prilagojen uporovni slabilec, zato je njena izhodna impedanca zelo blizu 50ohm. Šumno glavo torej priključimo neposredno na vhod merjenca brez impedančne prilagodilne enote ter izmerimo F_{50ohm} .

Nato vstavimo impedančno prilagodilno enoto (tuner) med šumno glavo in merjenec. Oba kratkosklenjena štrclja nastavimo

na približno četrto valovne dolžine, kar bi moralo dati približno isto šumno število kot pri meritvi v 50-ohmskem sistemu. S premikanjem kratkostičnikov nato iščemo čim nižje šumno število. Ker je šum naključno spremenljiv signal, je že ena sama meritev šumnega števila počasna, iskanje minimuma s štrclji je zato še počasnejše. Ko najdemo minimum, položaje štrcljev utrdimo z ustreznimi maticami in odčitamo F_{min} na merilnem sprejemniku.

Končno moramo določiti še optimalno odbojnost G_{ama-o} . G_{ama-o} bi sicer lahko izračunali iz najdenega položaja kratkosklenjenih štrcljev, vendar je na poti do vhodnih sponk ojačevalnika še precej neznank, ki bi kazile točnost rezultata. Najdeni G_{ama-o} zato izmerimo z analizatorjem vezij ali mostičkom za merjenje impedance. Pri tem pustimo šumno glavo priključeno na impedančno prilagodilno enoto, merjenec pa odklopimo in na njegovo mesto priključimo merilnik odbojnosti. Pri meritvi odbojnosti (impedance) pazimo seveda na to, da pravilno vračunamo vse dolžine vodov.

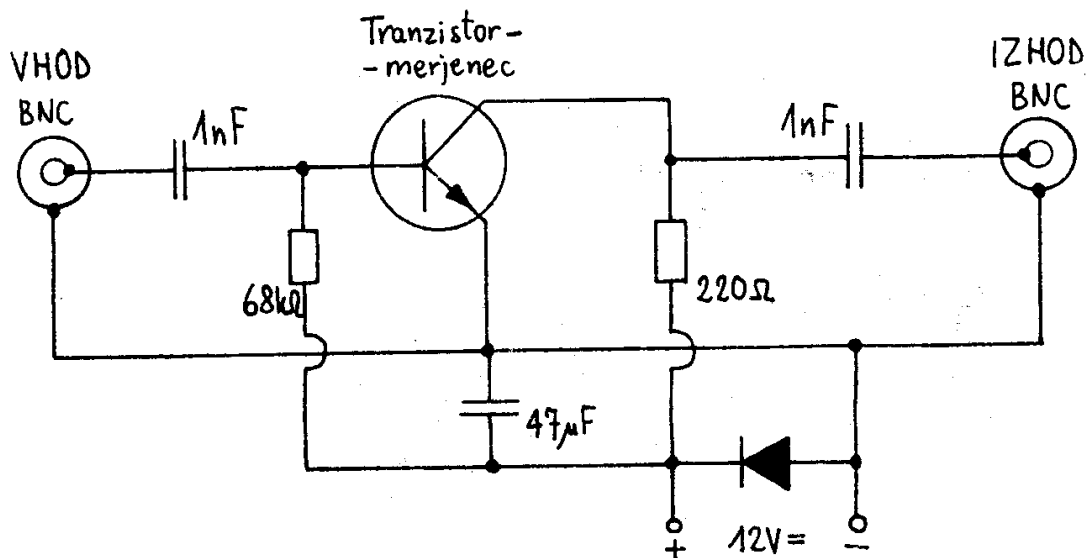
4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo izmerimo merjenec, tranzistor BFQ69 v merilnem vezju, v danem frekvenčnem področju od 1000MHz do 1600MHz s korakom po 200MHz. Najprej umerimo sam merilnik šumnega števila v danem področju. Nato izmerimo šumno število v celotnem frekvenčnem pasu v 50-ohmskem sistemu.

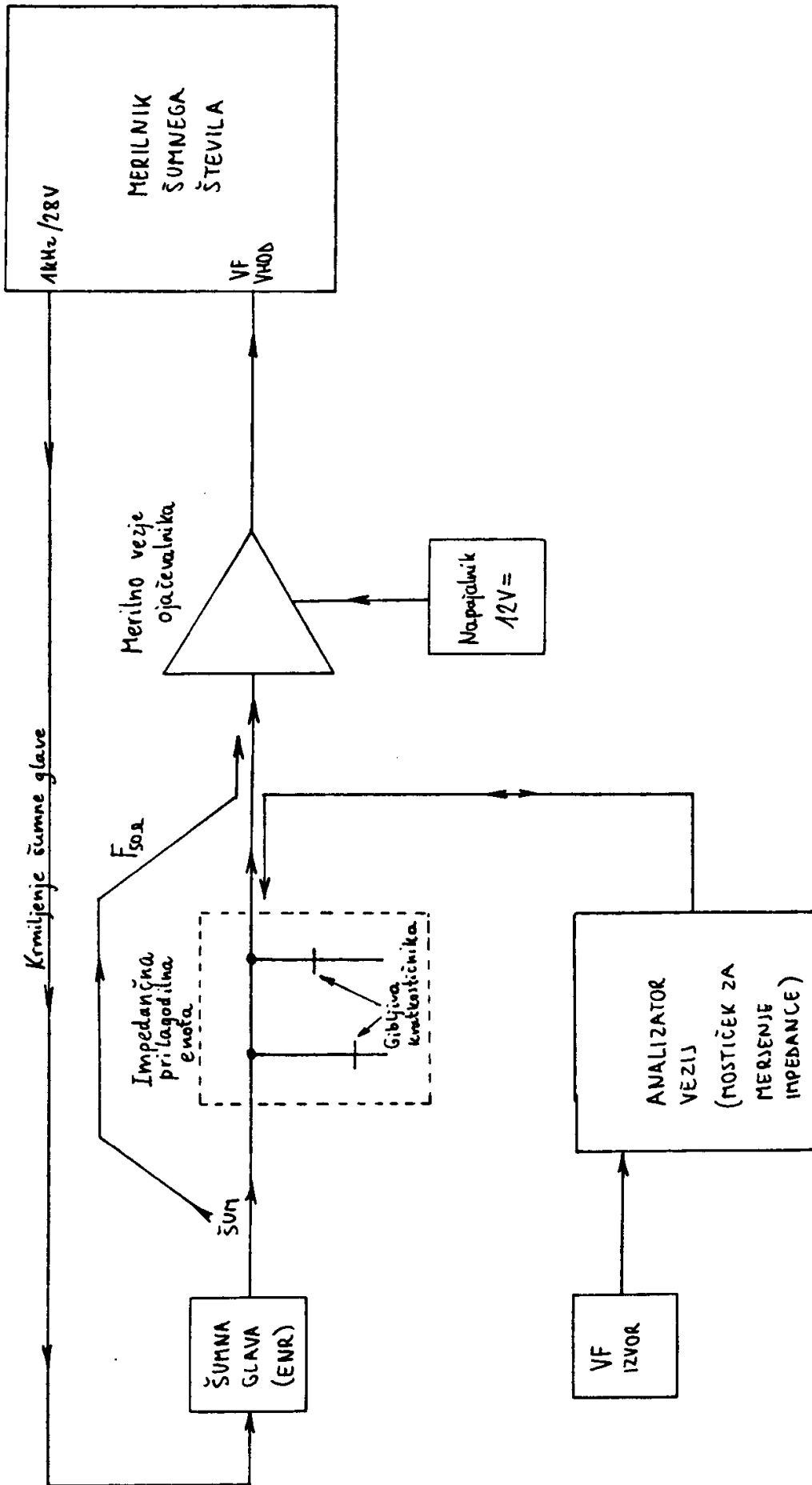
Končno izmerimo F_{min} in G_{ama-o} za vsako frekvenco posebej. Ta meritev je najbolj zamudna, ker moramo za vsako frekvenco najprej poiskati nastavitve štrcljev, odčitati šumno število, priključiti merilnik odbojnosti in nazadnje še izmeriti odbojnost.

Vrsta ojačevalnika	Ojačenje G [dB]	Šumna temp. T [K]	Šumno število F [dB]
Elektronka s lamilno mrežico (trioda, pentoda)	10 ÷ 20	2000 ÷ 9000	9 ÷ 15
Elektronka z modulacijo hitrosti (klistron, TWT)	20 ÷ 50	3000 ÷ 30000	10 ÷ 20
Parametrični ojačevalnik (na sobni temperaturi)	10 ÷ 15	75 ÷ 300	1 ÷ 3
Si bipolarni tranzistor Si MOS FET	10 ÷ 20	75 ÷ 300	1 ÷ 3
GaAs FET HEMT	10 ÷ 15	20 ÷ 120	0.3 ÷ 1.5
MMIC ojačevalnik (Si ali GaAs)	10 ÷ 25	170 ÷ 1600	2 ÷ 8
Operacijski ojačevalnik	60 ÷ 100	$10^4 \div 10^9$	16 ÷ 66

Slika 3 - Ojačenja in šumi aktivnih sestavnih delov.



Slika 4 - Merilno vezje za šumne parametre tranzistorja.



Slika 5 - Razporeditev in vezava merilnih instrumentov.