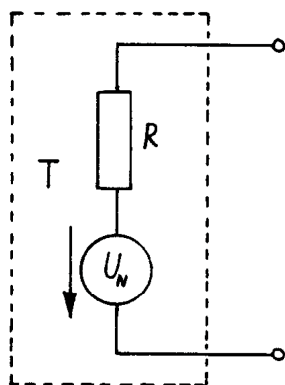


VAJA 25: Umerjanje toplotnega izvora šuma

1. Toplotni šum uporov in ojačevalnikov

Vsak električni upor, ki se nahaja na temperaturi različni od absolutne ničle, se obnaša tudi kot električni izvor, bolj točno kot izvor električnega šuma. Jakost takšnega izvora lahko opišemo z navideznim napetostnim (tokovnim) izvorom šuma, ki je vezan zaporedno (vzporedno) idealnemu brezšumnemu (mrzlemu) upor, kot je to prikazano na Sliki 1.



Šumni napetostni izvor:

$$U_N = 4 \cdot R \cdot B \cdot k_B \cdot T \quad [V_{eff}]$$

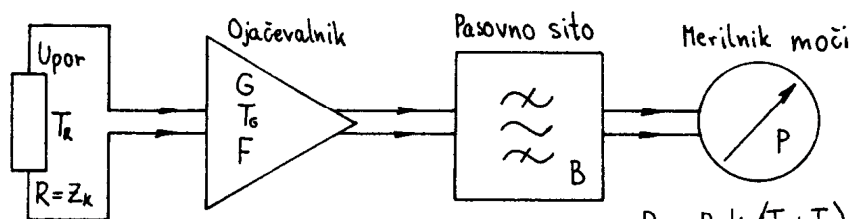
$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} ; B \equiv \text{pasovna širina}$$

$$P_N = B \cdot k_B \cdot T \quad (\text{na prilagojenem bremenu})$$

Slika 1: Šum upora na temperaturi T

Jakost izvora toplotnega šuma je v radijskem in mikrovalovnem delu frekvenčnega spektra zelo majhna. V tem delu frekvenčnega spektra je šumna moč enakomerno porazdeljena po frekvenčnem spektru. Izmerjena moč je torej premosorazmerna pasovni širini B uporabljenega merilnika moči.

Pri praktični meritvi toplotnega šuma moramo šumno moč najprej ojačati, kot je to prikazano na Sliki 2. Ojačevalnik seveda dodaja nekaj lastnega šuma in ta dodatek opišemo s šumno temperaturo ojačevalnika T_0 oziroma šumnim številom F . Končno omejimo izbrani frekvenčni pas s pasovnim sitom in izhodno moč P merimo z merilnikom moči.



$$P_N = B \cdot k_B \cdot (T_k + T_0) \cdot G$$

$$P_N = B \cdot k_B \cdot (T_k + T_0 (F - 1)) \cdot G$$

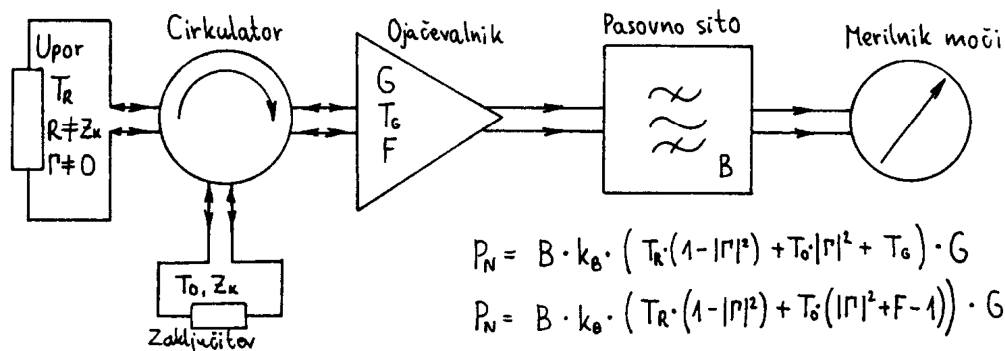
Slika 2: Merjenje šuma prilagojenega upora

Pri merjenju šumne moči se moramo zavedati, da je merjeni signal povsem naključen. Dosegljiva točnost meritve zato zavisi od časa meritve (integracijski čas merilnika) in od pasovne širine sita B . V slučaju uporabe spektralnega analizatorja zato uporabljamo čim širše MF sito (velik B) in čim ožje video sito (dolga čas integracije).

Pri merjenju naključnih signalov moramo hkrati paziti, da ne prekrmilimo ojačevalnika oziroma drugih nelinearnih sestavnih delov v merilnem vezju. Jakost naključnih signalov mora biti zato vsaj 10 dB manjša (10-krat manjša moč) od meje zasičenja oziroma največje izhodne moči za sinusne signale.

Če želimo meriti šum upora R z vrednostjo različno od karakteristične impedance sistema Z_k (običajno $50\ \Omega$), se meritev dodatno zakomplicira. Za večino merilnih ojačevalnikov ne poznamo, oziroma ne poznamo dovolj točno vseh šumnih parametrov, kar onemogoča točen izračun izhodnega šuma.

V slučaju poljubne vrednosti upora R nam meritev poenostavi uporaba cirkulatorja z bremenom oziroma izolatorja, kot je to prikazano na Sliki 3. Cirkulator z zaključnim bremenom poskrbi, da ojačevalnik vedno vidi Z_k kot vhodno impedanco. V tem slučaju zadošča, da poznamo šumno število F oziroma šumno temperaturo T_g , ostali šumni parametri ojačevalnika ($\Gamma_{optimalni}$ in R_n) pa so nepomembni.

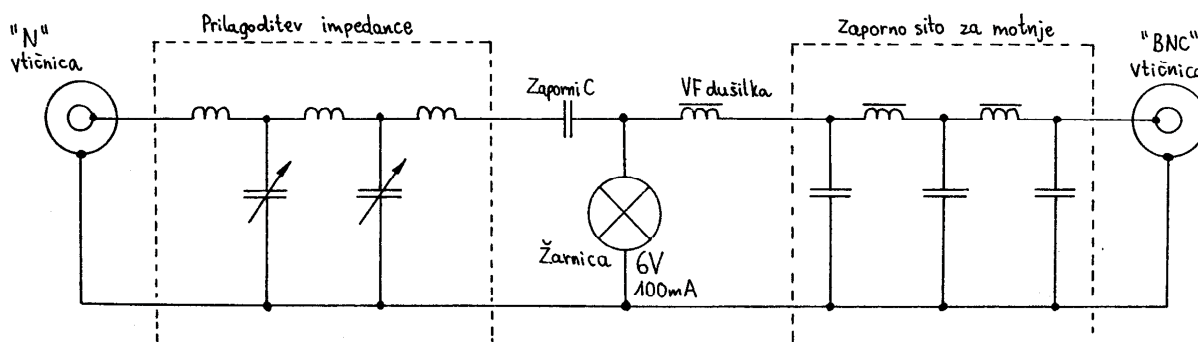


Slika 3: Merjenje šuma neprilagojenega upora

Pri uporabi cirkulatorja predpostavimo, da je sam cirkulator brezizgubno vezje, ki ne vnaša nobenega šuma. Toplotni šum dobimo v tem slučaju le od obeh uporov: merjenca R in zaključitve Z_k , ter od ojačevalnika, kot to opisujeta enačbi na Sliki 3. Točnost meritve bo seveda tem boljša, čim bližje je vrednost R karakteristični impedanci Z_k oziroma čimmanjša je odbojnost Γ bremena R .

Kot izvor toplotnega šuma pogosto uporabljamo žarnico. Upor predstavlja nitka žarnice, ki jo z enosmernim tokom lahko segrejemo od sobne temperature vse do nekaj tisoč stopinj. Pri segrevanju nitke se seveda povečuje njena upornost R . Ker R v splošnem ne bo enak Z_k , uporabimo merilno vezje s cirkulatorjem.

Vezava žarnice kot izvora toplotnega šuma je prikazana na Sliki 4. Enosmerno napetost za segrevanje nitke privedemo preko visokofrekvenčne dušilke, izhodni izmenični šumni signal pa odvezujemo preko zapornega kondenzatorja C . Impedanco nitke v grobem prilagodimo na Z_k s pomočjo LC vezja. Zaporno sito v dovodu enosmerne napetosti poskrbi, da motnje različnega izvora ne pridejo do žarnice oziroma naprej do visokofrekvenčnega priključka.



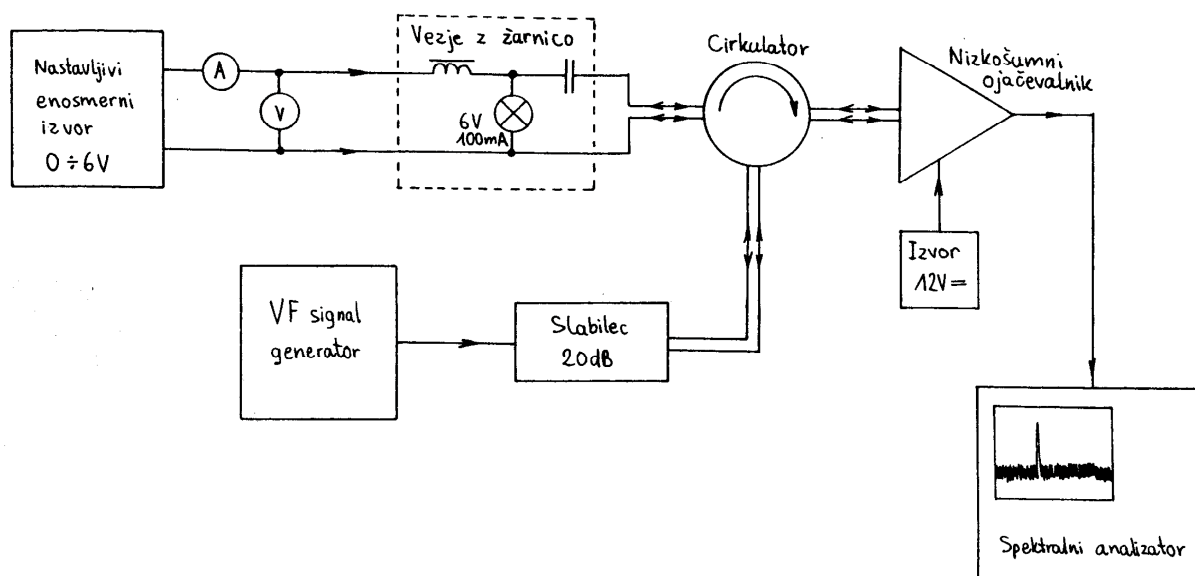
Slika 4: Vezava žarnice kot izvora toplotnega šuma

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor toplotnega šuma (žarnica z nitko) opremljen z napajalnim in prilagodilnim vezjem.
- Nastavljivi enosmerni napajalnik za žarnico, opremljen z ampermetrom in voltmetrom.
- Cirkulator za frekvenčno področje 450 MHz.
- Nizkošumni ojačevalnik ($F = 3$ dB, $G = 50$ dB) za 450 MHz.
- Merilni sprejemnik (spektralni analizator) za 450 MHz.
- Sintetizirani signal generator z umerjenim slabilec za 450 MHz (sledilni izvor (*angl. tracking generator*) na spektralnem analizatorju).
- Uporovni slabilec 20dB.
- Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 5.



Slika 5: Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Pred izvedbo meritev moramo najprej izbrati primerno frekvenco. Frekvenčno področje nam v grobem določa cirkulator, ki je običajno ozkopasoven sestavni del. Točno frekvenco poiščemo na spektralnem analizatorju tam, kjer ne opazimo nikakršnih visokofrekvenčnih signalov razen toplotnega šuma ("trava" na zaslonu). Pri tem poskusu mora biti visokofrekvenčni signal generator ugasnjen!

Spektralni analizator bomo v vaji uporabili na dva načina. V prvem delu vaje moramo izmeriti odbojnost (impedanco) nitke žarnice pri različnih temperaturah. V tem slučaju nastavimo na spektralnem analizatorju široko MF sito ter povsem izključimo video sito. Hkrati vključimo signal generator in ga nastavimo na želeno frekvenco meritve.

Vezje z žarnico najprej odklopimo od cirkulatorja. Odprt visokofrekvenčni konektor nam tedaj daje referenčni signal za odbojnost ena. Na spektralnem analizatorju izberemo linearno skalo (če merilnik z njo razpolaga) ter nastavimo jakost VF izvora za polni odklon žarka.

Nato priključimo vezje z žarnico. Signal na spektralnem analizatorju se zmanjša točno v razmerju odbojnosti žarnice. Če uporabljamo linearno pokončno skalo na spektralnem analizatorju, lahko neposredno odčitamo odbojnost. V slučaju logaritemske skale je treba seveda preračunati decibele v linearne enote.

Odbojnost žarnice se seveda spreminja z enosmernim tokom skozi nitko žarnice. Odbojnost moramo zato izmeriti v celotnem območju tokov oziroma napetosti na žarnici, ker potrebujemo rezultat kasneje pri preračunavanju temperatur. Pri napetosti na žarnici pazimo, da ne prekoračimo 6V, ker je zamenjava pregorele žarnice zelo zamudno opravilo!

Ko imamo izmerjeno odbojnost žarnice v celotnem področju delovanja, izključimo VF signal generator. 20-dB slabilec ostane v vezju in deluje kot zaključitev cirkulatorja. Na spektralnem analizatorju še enkrat preverimo, da nimamo nobenih motilnih signalov (uporabimo logaritemsko skalo 10 dB/razdelek). Visokofrekvenčni slabilec in medfrekvenčno ojačenje spektralnega analizatorja nato nastavimo tako, da lahko opazujemo toplotni šum tudi na skali 2 dB/razdelek oziroma na linearni skali.

Za točno meritev šumnih signalov moramo bistveno zožati video sito. Po potrebi zožamo tudi področje preletavanja spektralnega analizatorja in podaljšamo čas preleta žarka. Končno izmerimo in zapišemo jakost šuma v celotnem območju enosmerne napetosti oziroma temperature nitke žarnice.

4. Prikaz značilnih rezultatov

Iz rezultatov meritev na koncu izračunamo zanimive veličine za 15 do 20 točk od 0 V do polne napetosti 6 V na žarnici. Iz toka in napetosti na žarnici izračunamo enosmerno upornost nitke žarnice. Iz izmerjene jakosti šuma izračunamo šumno temperaturo celotnega izvora šuma s cirkulatorjem vred ter ENR (*Excess Noise Ratio*) takšnega šumnega izvora v decibelih (dB).

Iz izmerjene jakosti šuma in odbojnosti končno dobimo resnično temperaturo nitke žarnice. Iz temperature nitke žarnice in njene enosmerne upornosti narišemo graf, ki nam ponazarja potek specifične upornosti kovine.