

VAJA 16. - UMERJANJE ŠUMNEGA IZVORA Z VAKUUMSKO DIODO  
=====

1. Merilni izvori šuma  
-----

Čeprav se kot izvor električnega šuma obnaša vsak upor na temperaturi različni od absolutne ničle, imamo za merilni izvor šuma še nekaj zahtev. Običajnih uporov ne moremo segreti na poljubno visoko temperaturo, še težje pa je upore hladiti v bližino absolutne ničle. Segrevanje oziroma hlajenje uporov pomeni razmeroma počasno meritev šumnih števil, kjer potrebujemo dve različni šumni temperaturi.

Kot nadomestilo za vroč upor zato uporabljamo kar nekaj različnih merilnih izvorov šuma, ki so navedeni na sliki 1. Hlajeni upor uporabljamo le za najtočnejše meritve šumnih števil oziroma za umerjanje (kalibracijo) drugih izvorov šuma. Od vseh naštetih izvorov je najlažje uporabljati plazovno diodo, ki jo pa moramo pred uporabo umeriti, saj žal ne obstaja nobena enostavna fizikalna povezava, iz katere bi lahko izračunali jakost plazovnega šuma.

V mikrovalovnem področju uporabljamo plinsko šumno diodo, kjer je šumna temperatura točno določena s temperaturo ioniziranega plina. Na nižjih frekvencah uporabimo vakuumsko diodo (elektronko), pri kateri vsebuje anodni tok v področju nasičenja katode natančno določeno šumno komponento zaradi zrnatosti (kvantnega značaja) konvektivnega enosmernega toka, sestavljenega iz posamičnih elektronov.

Šumni izvor z vakuumsko diodo je prikazan na sliki 2. Šumna komponenta toka  $I_n$  je natančno določena z enosmernim tokom  $I_{as}$  skozi diodo, zato takšen izvor načeloma ne potrebuje umerjanja, če le znamo meriti enosmerni tok skozi diodo. Z nastavljanjem toka skozi diodo lahko tudi zvezno spreminjamo jakost proizvedenega šuma vse do navidezne šumne temperature okoli 10000K, če upoštevamo delovno impedanco v področju 50-75ohm in največji tok skozi diodo nekaj deset mA.

Ker mora vakuumška dioda delovati v nasičenju, nastavljamo tok skozi diodo s spreminjanjem temperature katode. Dioda ima zato vgrajeno enostavno wolframovo katodo, ki ima razmeroma majhno emisijo elektronov in deluje šele pri zelo visokih temperaturah. Življenska doba takšne diode je zato omejena na komaj nekaj sto ur pri največjem anodnem toku. Anodne napetosti  $U_a$  med delovanjem ne spreminjamo, mora pa biti zadosti visoka, da anoda pritegne prav vse elektrone, ki jih je izsevala katoda (150-250V).

Vakuumska šumna dioda v nasičenju ima neskončno veliko diferencialno notranjo upornost, zato se obnaša kot tokovni izvor šumnega toka z neskončno veliko notranjo impedanco. V radiofrekvenčnem področju seveda ne moremo zanemariti kapacitivnosti med anodo in katodo diode, zato je šumna dioda vgrajena v koaksialni vod znotraj šumnega izvora, da deluje kapacitivnost diode kot del kapacitivnosti prenosnega voda. En konec koaksialnega voda je v notranjosti merilnika običajno zaključen na breme s karakteristično impedanco voda na sobni temperaturi.

Najnižja šumna temperatura izvora z vakuumsko diodo je enaka sobni temperaturi, najvišja temperatura pa je določena z največjim tokom skozi diodo. V nekaterih primerih lahko tudi odstranimo vgrajeni bremenski upor in šumni izvor z vakuumsko diodo vgradimo naprimer v antenski vod med anteno in sprejemnik. V tem slučaju moramo seveda poskrbeti tudi za pot enosmernemu toku skozi šumno diodo s primerno dušilko.

## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

-----

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Šumni izvor z vakuumsko diodo 1-1000MHz.
- (2) Več cirkulatorjev z zaključitvenimi bremenimi (izolatorji) za frekvence 400MHz, 600MHz, 800MHz in 1GHz.
- (3) Nizkošumni ojačevalnik ( $F=3\text{dB}$  ali boljše,  $G=40\text{dB}$  ali več).
- (4) 12V napajalnik za ojačevalnik.
- (5) Merilni sprejemnik ali spektralni analizator.
- (6) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 3.

## 3. Obrazložitev in opis poteka vaje

-----

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). V merilnem sprejemniku ustrezno nastavimo faktor povprečenja.

Ker je ojačenje nizkošumnih ojačevalnikov močno odvisno od vhodne impedance, vstavimo med šumni izvor in vhod ojačevalnika cirkulator z zaključitvenim bremenom (izolator). Cirkulator - izolator zagotavlja prilagoditev vhodne impedance ojačevalnika ne glede na impedanco šumnega izvora. Na ta način lahko natančno določimo šum izvora, ki je izdelan za impedanco različno od nazivnih 50ohmov.

Pred samo meritvijo moramo seveda poznati oziroma izmeriti šumno število uporabljenga ojačevalnika. Pri računanju šumne temperature delujoče vakuumске diode in ENR izvora moramo seveda upoštevati neprilagoditev impedance na vhodu, če je izvor šuma izdelan za impedanco različno od 50ohm. V vsakem slučaju moramo seveda paziti, da sprejemamo le željene šumne signale in ne krakršnikoli motenj.

Končno pazimo tudi na to, da nikoli ne prekoračimo največjega dopustnega toka skozi šumno diodo. Po končani meritvi čimprej znižamo tok (temperaturo katode) na minimum, da podaljšamo življenjsko dobo katode šumne diode. Celotnega šumnega izvora med vajo seveda ne izključujemo!

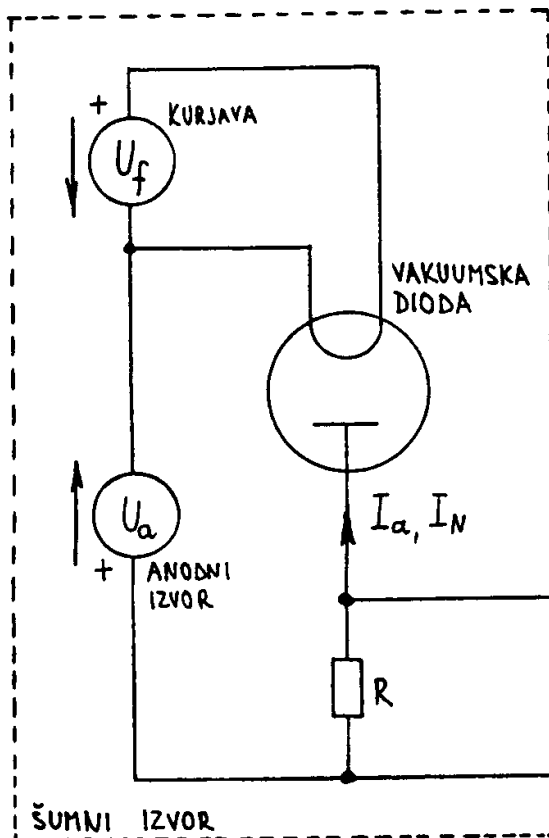
## 4. Prikaz značilnih rezultatov

-----

Za vajo izmerimo odvisnost šumne temperature izvora od enosmernega toka skozi vakuumsko diodo. Enosmerni tok skozi vakuumsko diodo pomerimo tako, da namesto cirkulatorja priključimo voltmeter in izmerimo padec napetosti na vgrajenem zaključitvenem uporu. Za vajo narišemo štiri takšne diagrame za frekvence 400MHz, 600MHz, 800MHz in 1000MHz.

Vrsta šumnega izvora	$T_1$ (hladno)	$T_2$ (vroče)	ENR [dB]
Vakuumska šumna dioda	290K	$\sim 10^4$ K (nastavljivo)	$\sim 15$ dB (nastavljivo)
Plinska šumna dioda	290K	$\sim 10^4$ K	$\sim 15$ dB
Plazovna dioda ( $U_2 = 18$ V)	290K	$\sim 10^6$ K	$\sim 36$ dB
Hlajeni upor (tekoči $N_2$ )	77 K	290K	-5.8 dB

Slika 1 - Merilni šumni izvori.



$$I_N = \sqrt{2|Q|I_{as}B} \quad ; \quad Q = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$I_{as} \equiv$  anodni tok v nasičenju

$B \equiv$  pasovna širina

$I_N \equiv$  efektivna vrednost šumnega toka

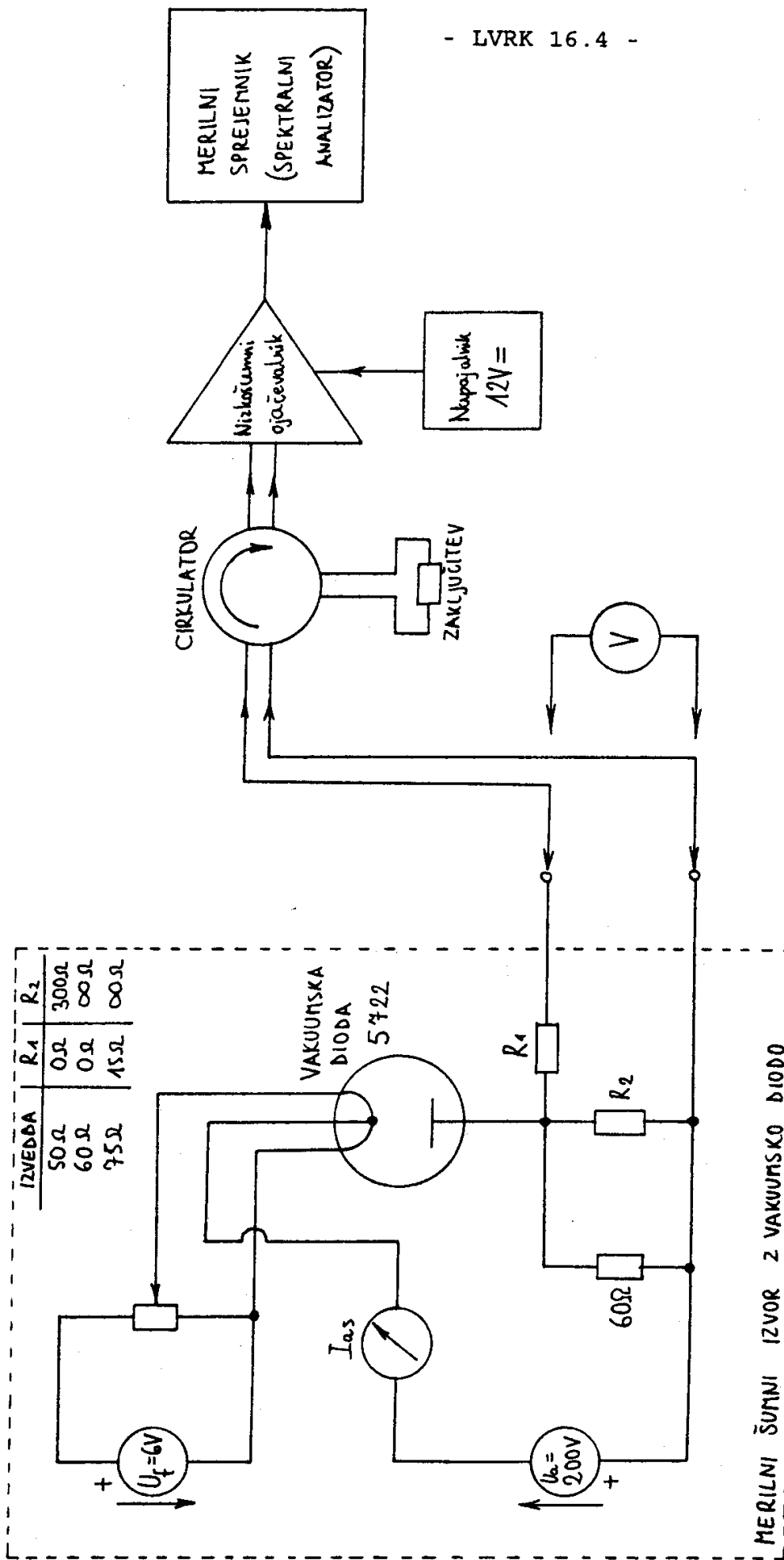
$$\Delta P_N = \frac{1}{4} I_N^2 R$$

$$\Delta P_N = \frac{|Q|I_{as}BR}{2}$$

$$T = \frac{|Q|I_{as}R}{2k_B} + 290 \text{ K}$$

$$R = 50 \Omega ; I_{as} \approx 35 \text{ mA} \longrightarrow T \approx 10^4 \text{ K}$$

Slika 2 - Šumni izvor z vakuumsko diodo.



Slika 3 - Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.