

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



Osnove mikrovalovne tehnike

8. naloga pri Fizikalnem praktikumu V

Avtor: Marko Urbanč (28191096)
Asistent: Martin Rigler

8.1.2022

Kazalo

1	Uvod	2
2	Potrebsčine	3
3	Naloge	3
4	Meritve	4
5	Obdelava podatkov	4
6	Izračuni	5
6.1	Frekvenca mikrovalov	5
6.2	Meritve ubranosti	5
6.3	Rodovi klistrona	6

1 Uvod

Mikrovalovi so elektromagnetno valovanje z valovno dolžino nekaj cm in frekvenco nekaj GHz. Kot izvor mikrovalovov služijo **klistroni**. To so elektronke, ki imajo za pospeševalno mrežico še dve mrežici, povezani s poloma resonančne votline (ki je tudi priključena na pospeševalno napetost in ob vklopu zaradi naključnih oscilacij napetosti vzbudi začetno nihanje v votlini), ki ustvarjata med mrežicama izmenično napetost, ki enakomerni curek elektronov hitostno modulira. Hitrost elektronov med mrežicama se namreč poveča, če kaže elektročno polje med mrežicama v nasprotni smeri curka, bodisi zmanjšana, če polje kaže v smeri curka. Zaradi hitrostne modulacije nastanej po preletu mrežic v elektronskem curku zgoščine in razredčine. V refleksnem klistronu je za mrežicama resonančne votline odbojna elektroda, ki neenakomerni elektronski curek usmeri nazaj proti mrežicama in katodi. Če je odbojna napetost izbrana pravilno, se hitrostno modulirani curek vrne med mrežici s tako fazo, da električno polje gruč elektronov ojači lastno nihanje EM polja v resonančni votlini in klistron deluje kot oscilator. Pogoj za pozitivno povratno zvezo, s katero lastno nihanje v resonančni votlini je izpolnjen za diskretne vrednosti napetosti, torej klistron deluje v različnih **rodovih**.

Značilna in lahko merljiva količina za stojno valovanje v vodniku je razmerje med minimalno in maksimalno amplitudo napetosti ali toka, ki ga imenujemo **ubranost**:

$$s = \frac{|U_{\min}|}{|U_{\max}|} \quad (1)$$

Reaktanco bremena normirano na karakteristično upornost lahko po precej zoperni izpeljavi zapišemo kot:

$$\frac{\eta_R}{Z_0} = \frac{(s^2 - 1) \tan(\beta x_{\min})}{1 + s^2 \tan^2(\beta x_{\min})} \quad (2)$$

Enako normirana rezistenca pa je:

$$\frac{\xi_R}{Z_0} = \left(1 - \frac{\eta_R}{Z_0} \tan(\beta x_{\min})\right) s \quad (3)$$

Frekvenco mikrovalov lahko merimo z resonatorjem, ki ga ugradimo v valovod. Umerimo ga s premikanjem dna. Ko je uglašen se tudi v njem pojavi valovanje, tako da se del moči valovanja na valovodu porabi (za kake 60%). Če je vijak umerjen v frekvenčni skali lahko hitro določimo frekvenco valovanja v valovodu.

Moč merimo najpogosteje s termoelektričnimi elementi, ki se zaradi obsevanja segrejejo in se jim zato spremeni upornost. Takim elementom prabimo **bolometri**. Če z bolometrom izmerimo moč P_m dobimo celotno vpadno moč kot:

$$P = \frac{P_m}{1 - |r_R|^2}; \quad |r_R|^2 = \left(\frac{1 - s}{1 + s}\right)^2 \quad (4)$$

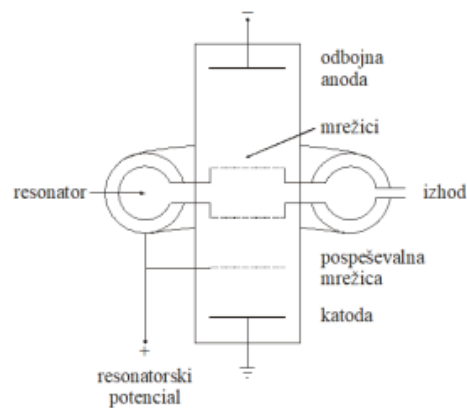
Termistorji so izdelani iz polprevodnikov, ki so pomešani z bakrenim prahom za boljšo prevodnost. Zveza med močjo in spremembo upornosti ni popolnoma linearna za razliko od **bareterjev**, ki so iz tanke platinaste žičke. Slednji so občutljivi na preobremenitve, kar termistorji niso.

2 Potrebščine

- Klistron
- Ubiralka
- Dušilka
- Resonator
- Merilni vod
- Kratkostična stena
- Antena
- Bolometer
- Osciloskop in voltmeter

3 Naloge

- Prilagodite valovod na generator mikrovalov
- Izmerite frekvenco valovanja s pomočjo resonatorja
- Posnemite rodove klistronovega delovanja v odvisnosti od odbojne napetosti
- Izmerite moči, ki jih porablja termistor v vrhovih najmočnejših rodov
- Z osciloskopom posnemite krivulji ubranost za valovod, ki je zaključen z bremenom in za kratko sklenjeni valovod.



Slika 1: Shema refleksnega klistrona

4 Meritve

Meritve sem zapisal v svoj laboratorijski dnevnik, nekaj pa jih je v obliki .csv datotek. Ker imam težave z dotikanjem zvezka, ki je bil na faksu, sem se odločil poskusiti narediti poročilo v .pdf obliki.

W) Ubravljen 1,2 cm
Vipal ubir. all down
 $U_{max} = -712 \text{ mV}$

MikroVolts

Pozicija 4,144
↑ 4,044
→ $U_{ma} = -160 \text{ mV}$

4 mis črtice
14 na navedeni
En obod 2
1/4 celk 2,5
25,0,5
11...0,
↑ 25?

b)

N	U[V]	U_{max} [mV]	P[mW]
1	-46,4	-56	
2	-49,76	-104 mV	
3	-65,25	-96	
4	-83,5	-200	
5	-91,5	-176	
6	-124,3	-360	
7	-146,4	-288	
8	-215,1	-568	
9	-230,8	-368	
10	-343,4	-611	
11	-366,2	-280	

Slika 2: Meritve v laboratorijskem dnevniku

c)

N	U[V]	P[mW]
1	-33,05	0,66
2	-44,87	0,13
3	-85,0	0,26
4	-137,8	0,47
5	-214,1	0,81
6	-351,1	0,91

1) Cisto desno 2,2 cm
Cisto levo 7,9 cm

$T_{total} = 26V$

Mer 1 z bolometer
Mer 2 brez (z avtomatsko sken.)
Mer 3 z bolometer 60K mer. dep.

2.12.21
R. P. /

Slika 3: Meritve v laboratorijskem dnevniku

5 Obdelava podatkov

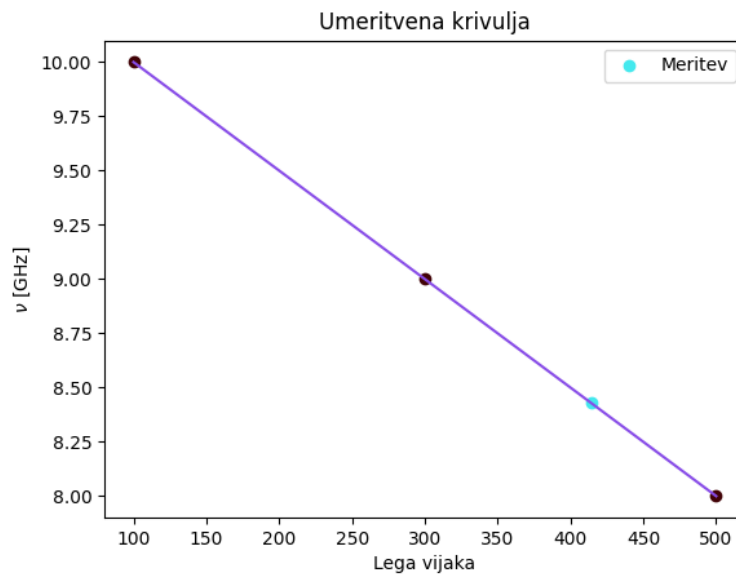
Meritve sem prepisal v excel in jih izvozil kot .csv, kar sem nadaljno obdelal v Pythonu z standardnim setom paketov matplotlib in NumPy.

6 Izračuni

6.1 Frekvenca mikrovalov

Frekvenco sem izmeril z uglasenjem resonatorja vgrajenega v valovod. Pri meritvi lege vijaka sem dobil 414, iz česar po umeritveni krivulji (Slika 4) sledi, da je frekvenca mikrovalovov:

$$\nu = (8.43 \pm 0.01) \text{ GHz}$$



Slika 4: Umeritvena krivulja za mikrometerski vijak resonatorja

6.2 Meritve ubranosti

Z drsnim merilnikom sem lahko izmeril stojno valovanje (Slika 5). Ubranost izračunamo lahko tudi po zvezi:

$$s = \sqrt{\frac{h_{\min}}{h_{\max}}} \quad (5)$$

Korenjenje dobimo zaradi kvadratne karakteristike diode, vrednosti h pa preberemo iz grafov. Dobil sem

- Bolometer: $s = (0.66 \pm 0.03)$
- Kratkostična stena: $s = 0$

Razdalja med dvema minimuma na krivulji, ki opisuje kratkosklenjen valovod je enaka polovici valovne dolžine valovanja v valovodu. Dobim:

$$\lambda' = (3.46 \pm 0.2) \text{ cm}$$

Razlika med lego izbranega minima krivulje, ki opisuje valovod z bremenom, in ustreznega minima krivljuje kratko sklenjenega valovoda je x'_{\min} . Velja:

$$\beta x_{\min} = 2\pi \frac{x'_{\min}}{\lambda'}$$

Izmeril sem $x'_{\min} = (1.5 \pm 0.1)$ cm. Iz tega podatka dobim, da je:

$$\beta x_{\min} = (2.74 \pm 0.15)$$

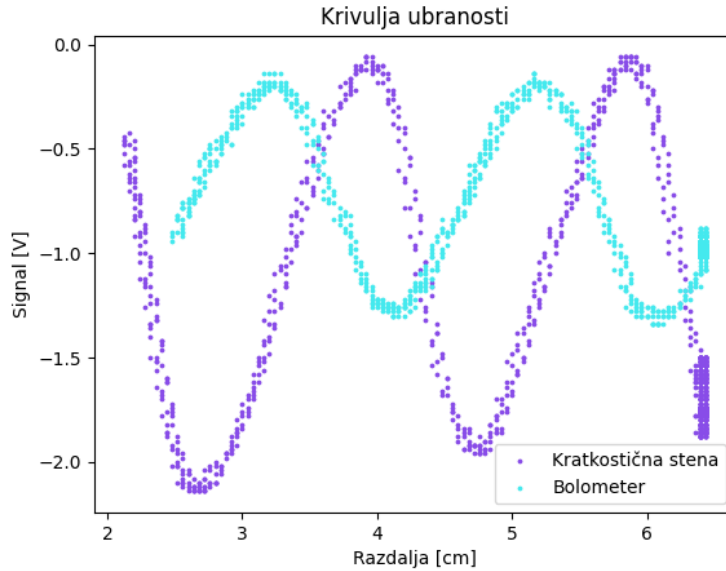
Po zgornji zvezi (4) lahko tako izračunam refleksijski koeficient. Slednji predstavlja razmerje med amplitudo odbitega ter vpadnega valovanja. Dobim:

- Bolometer $|r_R|^2 = (0.042 \pm 0.005)$
- Kratkostična stena $|r_R|^2 = 1$

Iz tega lahko izračunam še impedanco $Z_R = \xi_R + i\eta_R$. Za posamezni komponenti po enačbah (2) in (3) dobim:

$$\frac{\eta_R}{Z_0} = (0.22 \pm 0.02)$$

$$\frac{\xi_R}{Z_0} = (0.72 \pm 0.05)$$

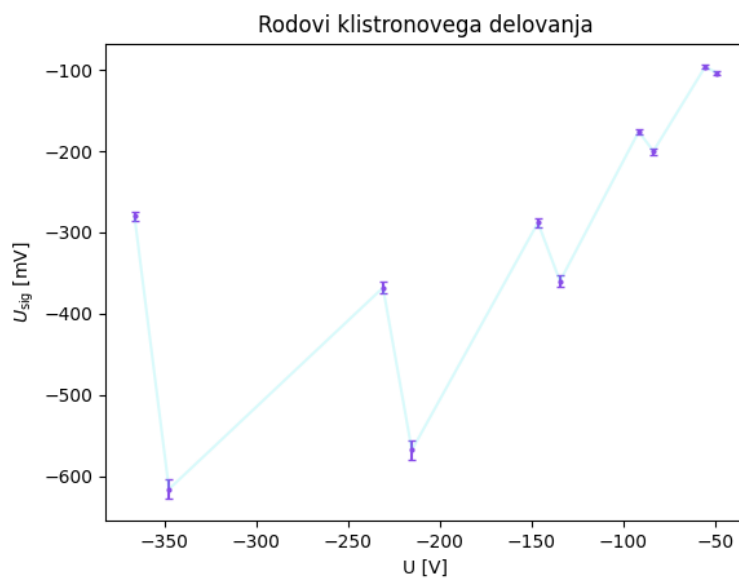


Slika 5: Krivulja ubranosti

6.3 Rodovi klistrona

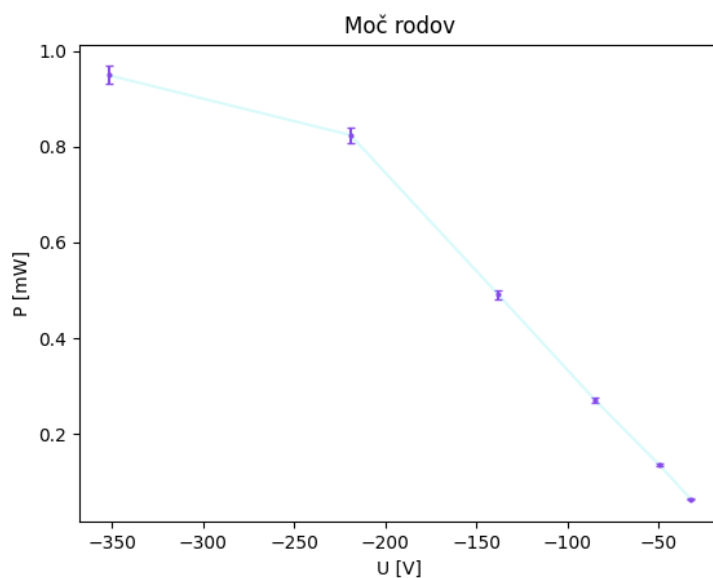
Narisal sem rodove klistrona v odvisnosti od odbojne napetosti. Zanimivo mi je bilo kako se pojavijo nekakšni “zobčki”. Nisem prepričan ali so to res pravi

rodovi ali ne, ampak sem jih vseeno vključil. Vsak gotov rod je imel tak manjši “*podrod*” (kar ne vem, če je čisto smiselno)



Slika 6: Rodovi

Po enačbi (4) sem izračunal še moči iz izmerjene moči z bolometrom. To sem naredil samo za tiste točke, za katere sem bil prepričan, da so res rodovi.



Slika 7: Moči rodov