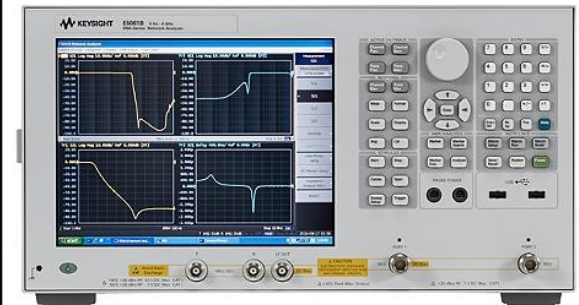
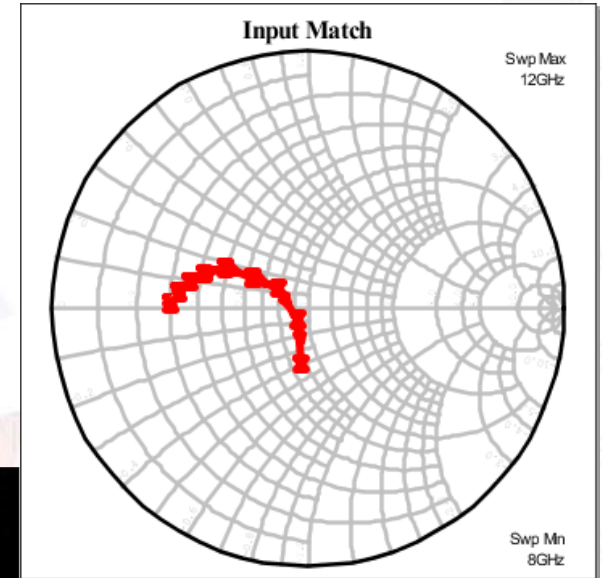
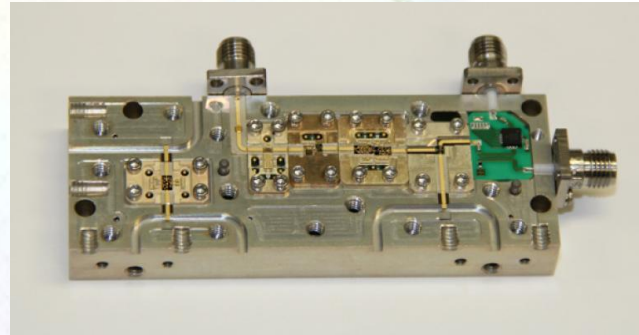


Микроталасна техника



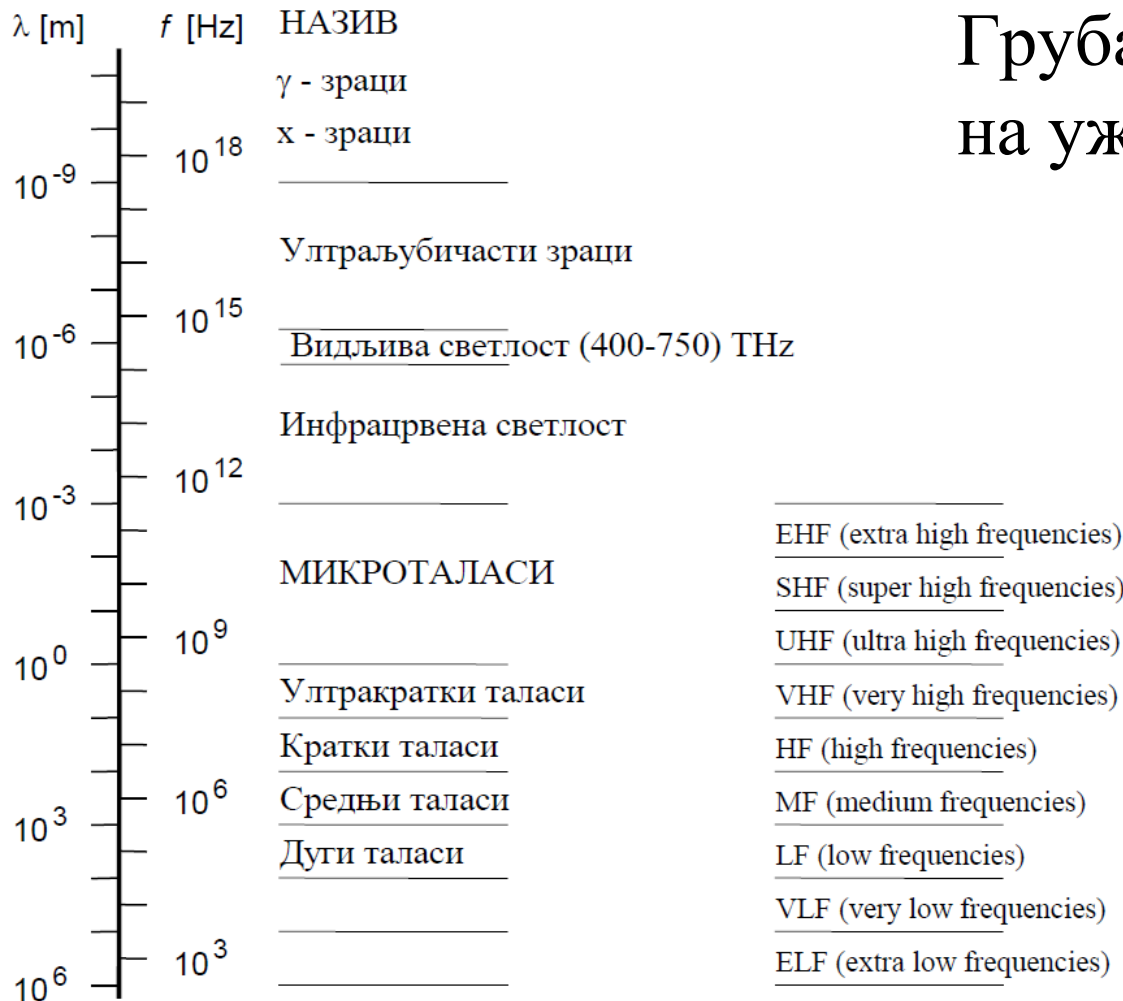
Увод

- Микроталасна техника је део електротехнике у коме се проучавају и пројектују компоненте, уређаји и системи у области учестаности од **300 MHz** до **300 GHz**
 - Таласне дужине у слободном простору су од **1 m** до **1 mm**
 - Таласне дужине су истог реда величине као и димензије елемената микроталасних кола
 - Време простирања од компоненте до компоненте истог је реда величине као и период осцилација простопериодичних величина
 - Не може се примењивати класична теорија (електричних) кола са концентрисаним параметрима
 - У анализу се морају укључити и ефекти простирања
 - Строга анализа микроталасних кола ради се методама (нумеричке) електромагнетике
 - Резултати се комбинују са анализом кола са расподељеним параметрима (водовима)

Увод

- Микроталасна активна кола садрже посебне полупроводничке компоненте
 - У неким применама заступљене су и цеви
- Пројектовање кола и система се у великој мери заснива на примени рачунара и нумеричких метода
 - Микроталасна техника блиско је повезана са електромагнетиком, електроником, телекомуникацијама, нумеричком анализом, прецизном механиком и технологијом електротехничких материјала
 - Ослања се и на физику материјала, квантну физику као и на физику плазме

Подела микроталасних учестаности



Груба подела микроталаса на уже области

- UHF, 300 MHz – 3 GHz
– $\lambda = 1 \text{ m} - 1 \text{ dm}$, дециметарски
- SHF, 3 GHz – 30 GHz
– $\lambda = 1 \text{ dm} - 1 \text{ cm}$, центиметарски
- EHF, 30 GHz – 300 GHz
– $\lambda = 1 \text{ cm} - 1 \text{ mm}$, милиметарски

Слика 1.1. Спектар електромагнетских таласа.

Подела микроталасних учестаности

- Стара подела из времена WW2
 - Званично не важи, још увек се доста користи

Таблица 1.2. Америчке војне поделе микроталаса на опсеге.

а) Стара подела

Назив опсега	Опсег учестаности [GHz]	Назив опсега	Опсег учестаности [GHz]
P	0,225–0,390	K	10,9–36
L	0,39–1,55	Q	36–46
S	1,55–3,9	V	46–56
C	3,9–6,2	W	56–100
X	6,2–10,9		

б) Нова подела

Назив опсега	Опсег учестаности [GHz]	Назив опсега	Опсег учестаности [GHz]
A	0,1–0,25	H	6–8
B	0,25–0,5	I	8–10
C	0,5–1	J	10–20
D	1–2	K	20–40
E	2–3	L	40–60
F	3–4	M	60–100
G	4–6		

Таблица 1.1. Стара подела микроталаса на опсеге.

Назив опсега	Опсег учестаности [GHz]	Назив опсега	Опсег учестаности [GHz]
UHF	0,3–1,12	Ka	26,5–40
L	1,12–1,7	Q	33–50
LS	1,7–2,69	U	40–60
S	2,6–3,95	M	50–75
C	3,95–5,85	E	60–90
XC	5,85–8,2	F	90–140
X	8,2–12,4	G	140–220
Ku	12,4–18,0	R	220–325
K	18,0–26,5		

- Америчке војне поделе
 - Стара и нова

Примене микроталаса

- Микроталаси пружају веома широк спектар за пренос информација
 - 999 пута шири спектар од укупног спектра дугих, средњих, кратких и ултракратких таласа
 - Практично све радиорелејне везе раде у области микроталаса
 - Приликом комуникација на малим растојањима иде се и на опсег учестаности око 60 GHz
 - Велико слабљење атмосфере практично штити везу од ометања или прислушкивања са даљине

Примене микроталаса

- Радио таласи на учестаностима испод неколико десетина **MHz** не могу се пробити кроз јоносферу
- За микроталасе је јоносфера практично прозирна и не утиче на њихово простирање
 - Микроталаси се користе за **сателитске радио везе** и у **земаљској радио астрономији**
 - Одређен део интерконтиненталних преноса телефонских и телевизијских сигнала, као и преноса са краја на крај великих континената, иде преко **сателита**
 - **Сателитски системи** за дифузију телевизијског програма, системи за **сателитске мобилне везе** и глобални навигациони системи (**GPS**) раде у области микроталаса

Примене микроталаса

- Код **радара** је неопходна велика усмереност зрачећих антена
 - Ово је практично могуће остварити тек при микроталасним учестаностима
 - Већина радара ради у области микроталасних учестаности
 - Резолуција радара је утолико већа, уколико је таласна дужина мања
 - **Центиметарски таласи** се користе за радаре који би требало да препознају **циљеве чије су димензије реда 1 m**

Примене микроталаса

- Цивилни и војни радари
 - Радари за избегавање судара аутомобила раде у микроталасној области
 - Детектују препреку испред себе и по потреби активирају кочнице
 - Радари за покривање “слепих углова у вожњи”
 - Приликом укључивања показивача правца кретања (“мигавац”), ако постоји возило у “слепом углу”, возач се обавештава звучном или светлосном сигнализацијом
 - Радари за аутономна возила
 - Више микроталасних радара повезаних у сложен систем омогућавају возилима да се самостално крећу (без асистенције возача)

Примене микроталаса

- Авионавиогациони уређаји
 - Системи за навигацију путничких и војних авиона користе микроталасни опсег учестаности
- Системи за аутоматско слетање (**5 GHz**)
 - Микроталасни систем за слетање (microwave landing system – MLS) је систем за помоћ приликом слетање
 - Ради у свим временским условима и има велику прецизност
 - Системи базирани на систему за глобално позиционирање (GPS) полако га потискују
 - NASA је користила сличан систем за слетање спејс-шатлова

Примене микроталаса

- Микроталаси се користе и за **загревање**
 - Загревање се заснива на **диелектричним** и **кондукционим губицима** у загреваним материјалима
- Микроталаси се могу користити за загревање само појединих делова материјала (селективно загревање), али продиру и довољно дубоко да могу равномерно загревати и дубље делове материјала
- Микроталаси се користе и за испитивање материјала
 - Пермитивност, проводност и пермеабилност материјала могу се мерити убацавањем узорака у резонаторе или таласоводе или помоћу посебних микроталасних антена-апликатора

Примене микроталаса

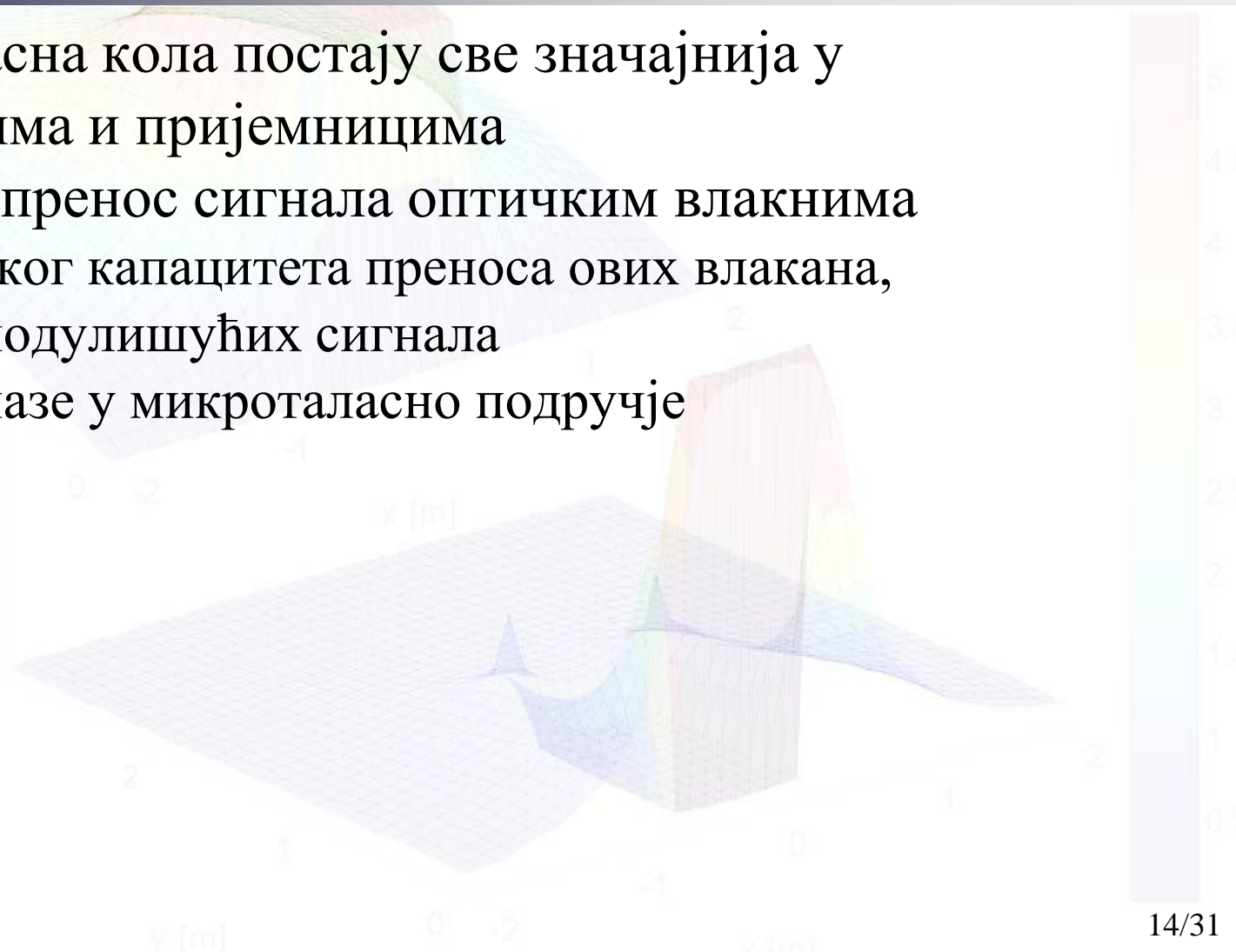
- За дуготрајну изложеност људског тела микроталасима, дозвољени нивои зрачења су реда величине **10 W/m²**
 - До сада са сигурношћу установљени ефекти микроталасног поља на организме су **само термичке природе**
 - По руским стандардима, не дозвољава се ниво већи од **0,1 W/m²** због сумње да микроталаси могу имати и друга дејства (на пример, генетска)

Примене микроталаса

- Микроталаси се користе и у конструкцији оружја
 - Микроталасна бомба прави јак електромагнетски импулс (чији је спектар у микроталасној области) користећи се енергијом класичне или нуклеарне експлозије
 - Намењена је за онеспособљавање електронске опреме, тако што микроталаси лако продиру у уређаје и спаљују осетљиве компоненте
 - Микроталасни топ је намењен за привремено онеспособљавање људи
 - На људе се упери снажан сноп електромагнетских таласа учестаности око **95 GHz**, који доводи до интензивног загревања поткожног ткива и изазива јак бол (Active Denial System - ADS)

Примене микроталаса

- Микроталасна кола постају све значајнија у предајницима и пријемницима система за пренос сигнала оптичким влакнима – Због великог капацитета преноса ових влакана, спектри модулишућих сигнала дубоко улазе у микроталасно подручје



Примене микроталаса

- Периоди осцилација у области микроталаса су у опсегу између **3 ns** и **3 ps**
 - У овој области су и времена прекидања савремених брзих дигиталних кола (тактови процесора персоналних рачунара превазилазе **3 GHz**)
 - Спектар импулса ових кола залази дубоко у микроталасну област
- При простирању импулса по везама између врло брзих кола (по носачима чипова, штампаним везама и кабловима), као и у самим интегрисаним колима, јављају се проблеми изобличења и преслушавања сигнала, који се могу решити методама микроталасне технике

Специфичности микроталаса

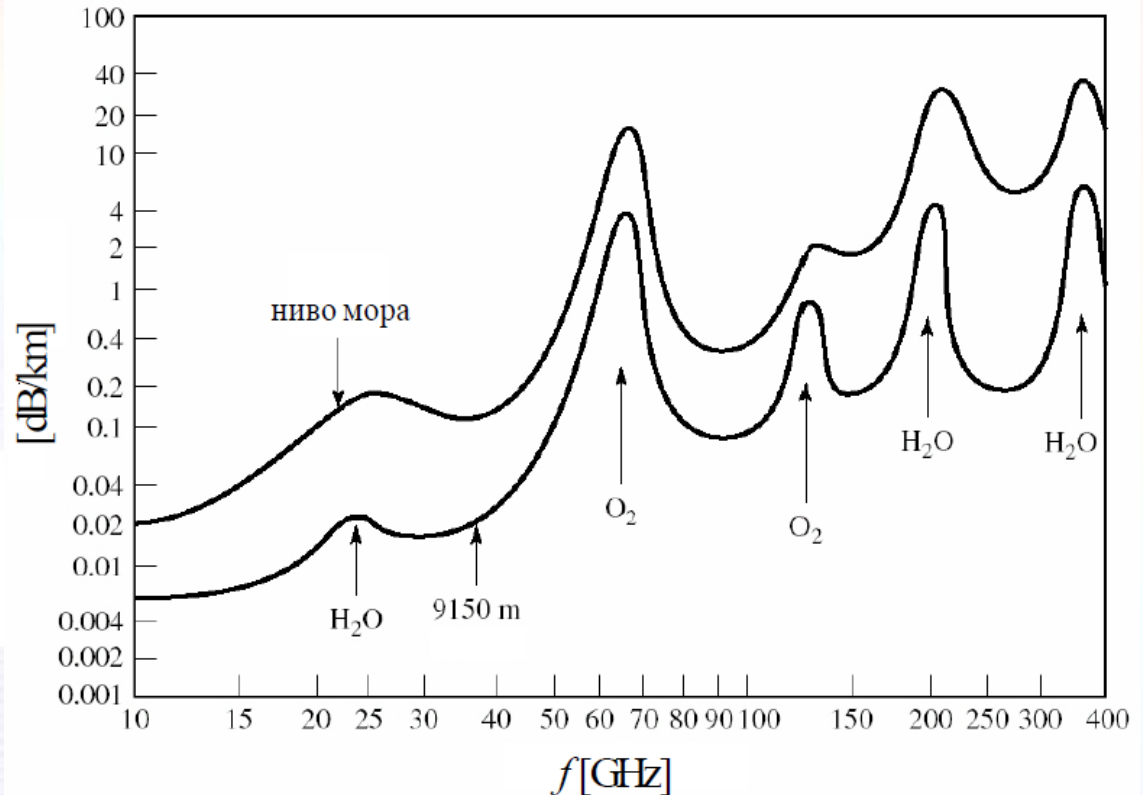
- У поређењу са техником нижих учестаности, микроталасна техника има низ специфичности због врло високих учестаности
 - Те специфичности се испољавају у погледу зрачења и простирања електромагнетских таласа, као и понашања пасивних и активних компоненти и кола
- Микроталасна техника се заснива на другачијим принципима анализе и пројектовања у поређењу са класичном радиотехником, електроником и теоријом кола

Специфичности микроталаса

- Утицај атмосфере на простирање микроталаса је релативно мали за таласе чија је учестаност до десетак **GHz**
 - При вишим учестаностима разне компоненте ваздуха (кисеоник, азот, водена пара, угљен диоксид) и суспендоване честице (водене капљице, кристали леда, прашина, дим) имају већи утицај, који се манифестују повећаном апсорпцијом таласа, деполаризацијом, као и сцинтилацијом (“светлуцањем”) и федингом (“тамњењем”), односно брзим или спорим променама интензитета таласа на месту пријема

Специфичности микроталаса

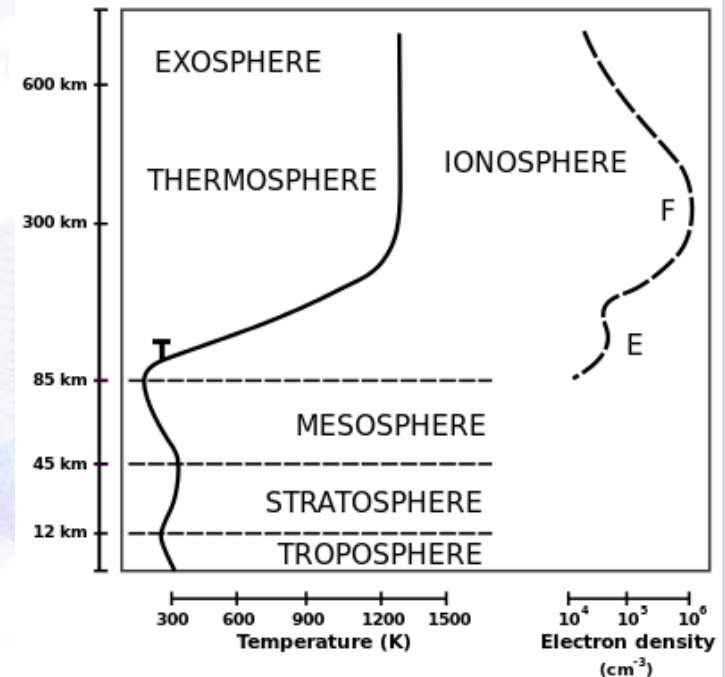
Слабљење услед
апсорпције
униформног
равног таласа
при простирању
у чистом ваздуху



Слика 1.2. Слабљење таласа у атмосфери на нивоу мора, при 20°C и садржају водене паре од 7,5 g/m³, и на надморској висини од 9150 m, при 0°C и садржају водене паре од 1 g/m³.

Специфичности микроталаса

- Микроталаси при простирању имају квазиоптичка својства, али се могу простирати и знатно иза оптичког хоризонта захваљујући преламању у тропосфери
 - Због промене густине ваздуха, односно индекса преламања са висином
- Домет таласа (радиохоризонт) се повећава и преко вредности одређене преламањем у тропосфери због дисперзије микроталаса на нехомогеним вишим слојевима ваздуха
 - Овакве везе нису поуздане због промене стања у тропосфери



Специфичности микроталаса

- Ниво шума које микроталасна антена прима из околног простора умногоме зависи од терена или објекта ка коме је антена усмерена
 - За антену која је уперена у небо (али не према Сунцу) ниво шума има изражен минимум у опсегу **1 – 10 GHz**, где еквивалентна температура шума пада испод **10 K**

Специфичности микроталаса

- Кола са концентрисаним параметрима (тј. кола са дискретним елементима, као што су отпорници, калемови и кондензатори) се тешко могу примењивати у микроталасној техници (осим ако су врло малих димензија)
 - Кондензатор са доводним жицама може да се понаша као калем
 - Отпорник може да се понаша као кратак спој
 - Калем се може понашати као кондензатор

Специфичности микроталаса

- У микроталасној техници се најчешће користе водови и таласоводи као елементи кола
 - У старијим конструкцијама, као и у уређајима великих снага, доминирају таласоводи (правоугаони, кружни, елиптички)
 - У новијим уређајима, посебно оним мањих снага, примењују се водови, најчешће начињени у техници штампаних кола (микротракасти вод, копланарни вод, копланарни таласовод, прорезни вод, тракасти вод са издигнутом подлогом), као и минијатурни коаксијални водови
- У техници водова и таласовода праве се “осцилаторна кола” (резонатори), филтри, делитељи снаге, елементи за прилагођење ...

Специфичности микроталаса

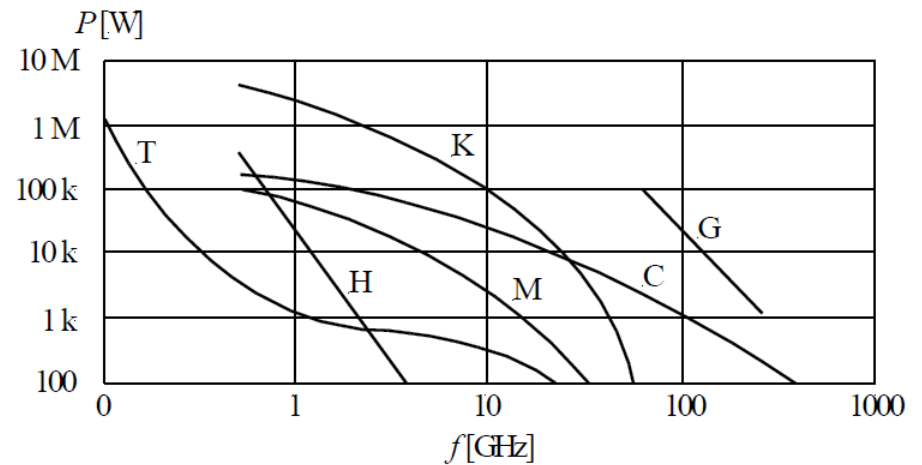
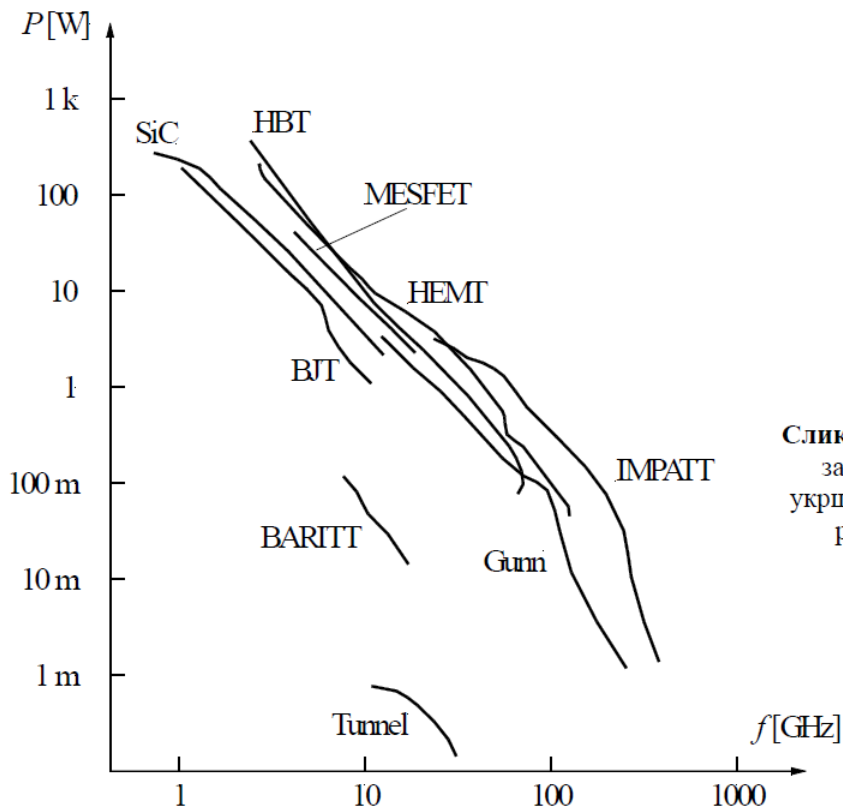
- Класичне цеви (на пример, триоде) се врло тешко могу применити у микроталасима
 - Време прелета електрона са катоде на аноду је блиско трајању периода микроталасних осцилација
 - Појачање и ефикасност класичних цеви при учестаностима преко, грубо говорећи, **1 GHz** су врло мали
- Специјалне цеви које се користе у микроталасима заснивају се на принципима брзинске и густинске модулације електронског млаза приликом његовог кретања и на интеракцији овог млаза и високофреквентног поља
 - Магнетрон, клистриони и цеви са прогресивним таласом

Специфичности микроталаса

- У микроталасној техници се користе и други активни електронски елементи
- Диоде (које могу радити као осцилатори или појачавачи):
 - Ган диода
 - Тунел диода
 - Лавинске диоде
- Остале диоде:
 - Диода са тачкастим спојем (детектор или мешач)
 - Варактор диода (нелинеарна реактанса)
 - Пин диода (прекидачки елемент и променљива отпорност)
- Биполарни силицијумски и GaAs MESFET транзистори

Специфичности микроталаса

Нивои снага активних компоненти



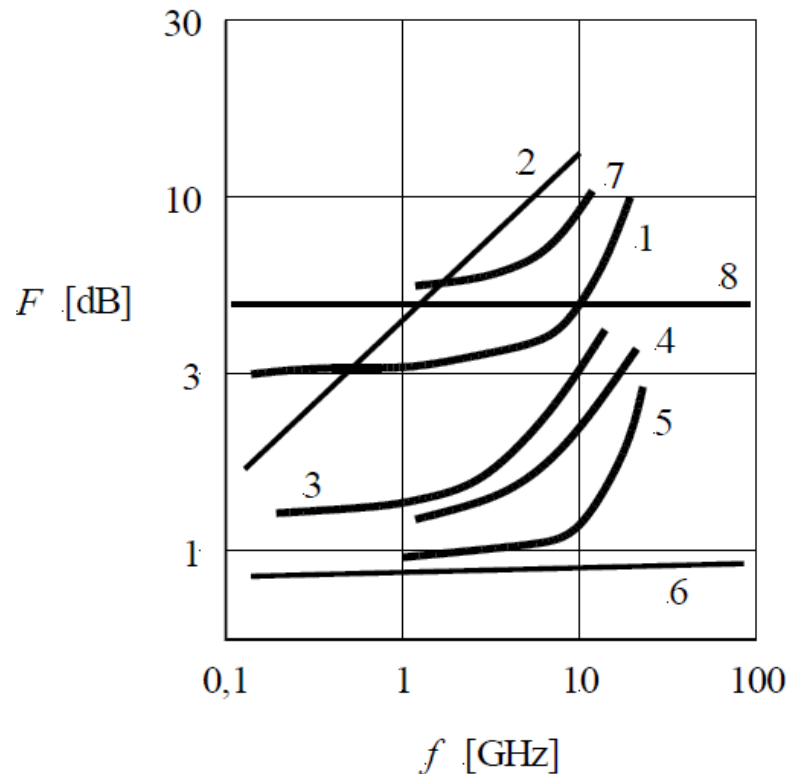
Слика 1.3. Средња снага најјачих комерцијално расположивих микроталасних цеви у зависности од учестаности: Т – класичне цеви, М – магнетрони и појачавачи са укрштеним пољем, К – клистрони, С – цеви са прогресивним таласом са спрегнутим резонантним шупљинама, Н – цеви са прогресивним таласом са хеликоидом, Г – жиротрони.



Слика 1.4. Средња снага најјачих комерцијално расположивих полупроводничких микроталасних направа у зависности од учестаности.

Специфичности микроталаса

Фактор шума



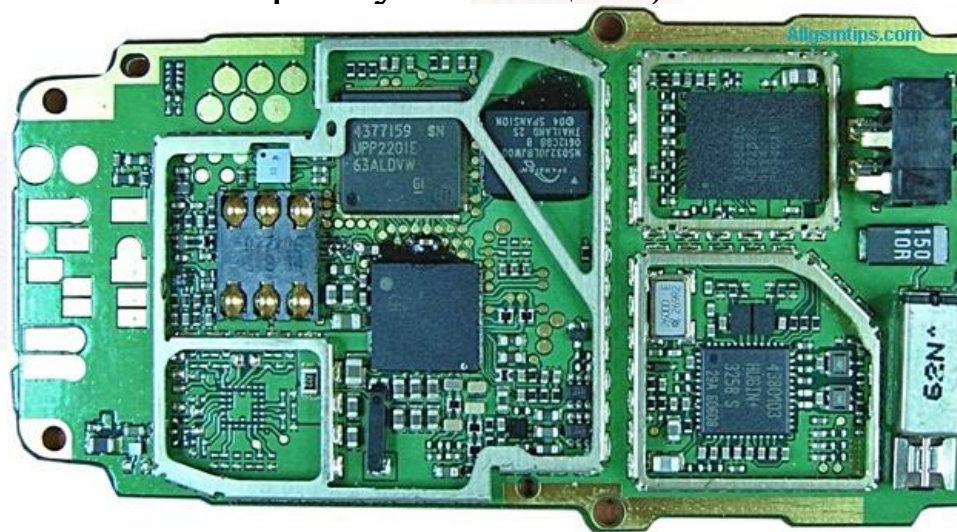
Слика 1.5. Фактор шума микроталасних појачавача, осцилатора и мешача:
1 – цев са прогресивним таласом, 2 – вакуумска триода, 3 – биполарни транзистор,
4 – MESFET, 5 – параметарски појачавач, 6 – масер,
7 – мешач са диодама са тачкастим спојем, 8 – мешач са шотки диодама.

Актуелност микроталасне технике

- Велики број интернет корисника условио је потребу за новим магистралним оптичким системима широког фреквенцијског опсега
 - Савремени телекомуникациони оптички системи веза сада имају на својим крајевима и микроталасне склопове чије брзине премашују **10 GB/s**

Актуелност микроталасне технике

- Мобилни телефони морају задовољити захтеве за све већим дометом везе, већом брзином преноса информација и малом потрошњом електричне енергије
 - Микроталасна техника у овом случају игра важну улогу
 - Треба да реши сложене и често конфликтне захтеве (мали габарит – висок квалитет – приступачна цена)



Актуелност микроталасне технике

- Интернет инфраструктура се често имплементира посредством бежичних веза
 - WLAN (Wireless Local Area Network), **2 – 10 GHz**
- Микроталасне комуникације кратког (малог домета) користе се код бежичних (wireless) система, као што су бежичне рачунарске периферије (мрежне картице, тастатуре, мишеви)
- Бежичне комуникације блиских преносних уређаја (Bluetooth), **2,4 GHz**



Актуелност микроталасне технике

- Пројектовање матичних плоча брзих процесора (који се очекују у будућности) као и интегрисаних кола (чипова) морају користити теорију и праксу микроталасне технике
- Пројектовање ултра брзих рачунарских магистрала неизоставно се ослања на методе микроталасне технике за прорачун вишепроводничких водова
- Савремене графичке меморије (GDDR5 SDRAM) користе такт од око **2,5 GHz**

Актуелност микроталасне технике

- Примена микроталасне технике, генерално, преузима све већи део тржишта потрошачке електронике
- Већ данас, већина домаћинстава има кућне уређаје за мултимедијалне интернет сервисе, радио програм, телевизијски програм, и управљање осталим кућним уређајима
- Саобраћање са таквим уређајима је бежично, на микроталасним фреквенцијама

