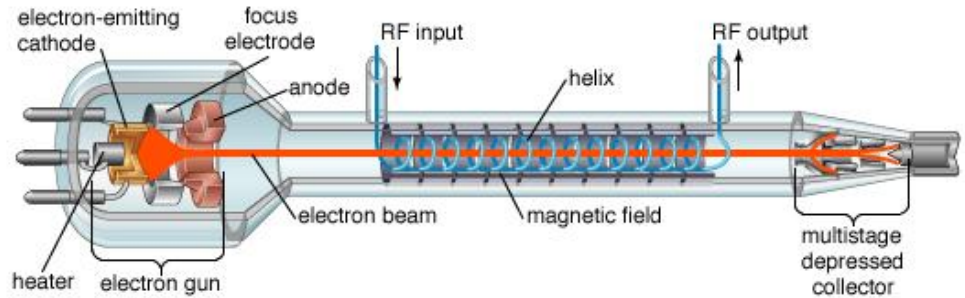
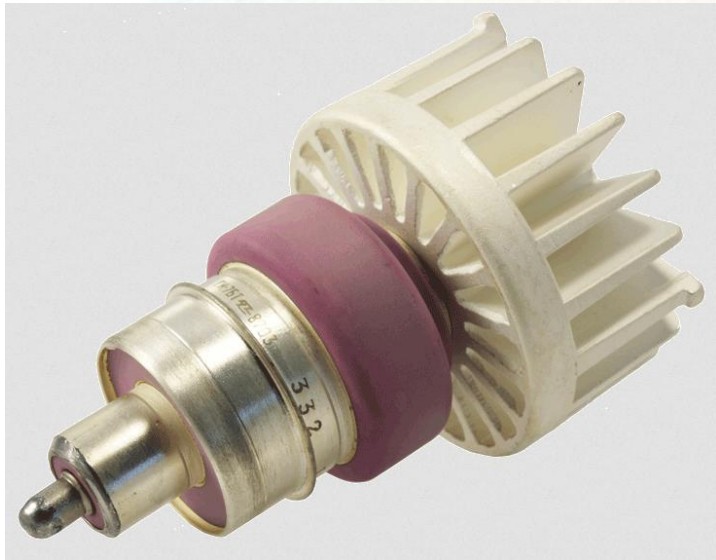
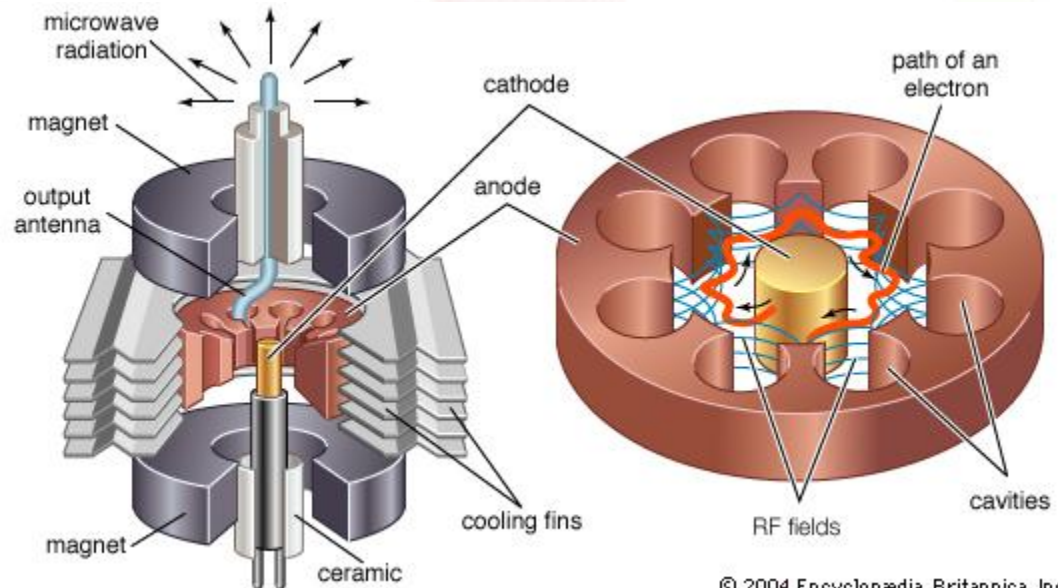


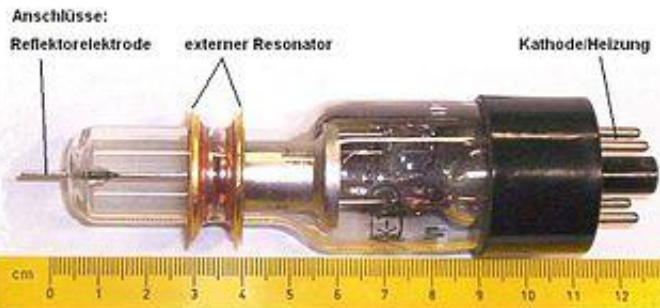
Микроталасне цеви



© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.



© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.



Микроталасне цеви

- Упркос великом развоју полупроводничких компоненти, за генерисање великих снага и данас се примењују електронске цеви
 - Излазни степени радио предајника чије су снаге преко реда величине 1 kW претежно се раде у цевној техници
- У микроталасној техници граница снага изнад којих се не користе полупроводници, већ цеви, опада са порастом учестаности
- За континуални режим (cw) те границе су
 - При 1 GHz десетине W
 - При 10 GHz неколико W
 - При 100 GHz неколико стотина mW

Класичне цеви

- Класичне електронске цеви у радиотехници (триоде, тетроде, пентоде) су у стању да произведу снагу у cw режиму реда величине MW
- Са порастом учестаности расту проблеми са класичним цевима
 - Паразитне капацитивности између електрода (самоосциловање)
 - При вишим учестаностима користе се (првенствено) триоде
 - Паразитне индуктивности прикључака и самих електрода (смањују појачање са порастом учестаности)
 - Непремостив проблем је коначно време прелета са катоде до аноде

Класичне цеви – фреквенцијска ограничења

- За напон између аноде и катоде од $U = 10 \text{ kV}$ и растојање између катоде и аноде 10 mm , време за које електрони прелете од катоде до аноде је око 333 ps
- Ово време одговара периоду сигнала учестаности од око 3 GHz
- Уколико се између решетке и катоде триоде доведе високофреквентни сигнал чији је период реда величине времена прелета, или мањи, појачање цеви је врло мало, јер поље између решетке и катоде не може да контролише анодну струју

Микроталасне цеви

- Због наведених проблема, у микроталасној техници се практично не користе класичне цеви, осим до око **1 GHz**
- Постоје посебне микроталасне цеви чији је принцип рада другачији од класичних цеви, а које су данас главни извори великих снага
- Рад свих ових цеви заснован је на коначној брзини кретања електрона и на интеракцији електрона са високофреквентним пољем
- Основни типови микроталасних цеви су
 - Клистрон
 - Магнетрон
 - Цев са прогресивним таласом

Микроталасне цеви – радарски системи и микроталасно загревање

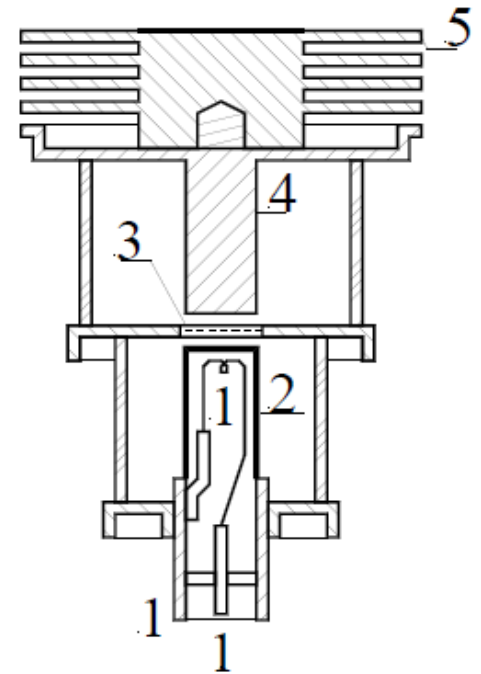
- Снажни извори микроталаса су потребни пре свега у радарским системима, где се постижу снаге импулса чак реда величине **100 MW**, као и за микроталасно загревање
- Код микроталасних комуникационих система, снаге предајника су релативно мале, реда величине вата, тако да се ту могу примењивати полупроводничке компоненте

Микроталасне цеви – излазни степен радио и радарских предајника

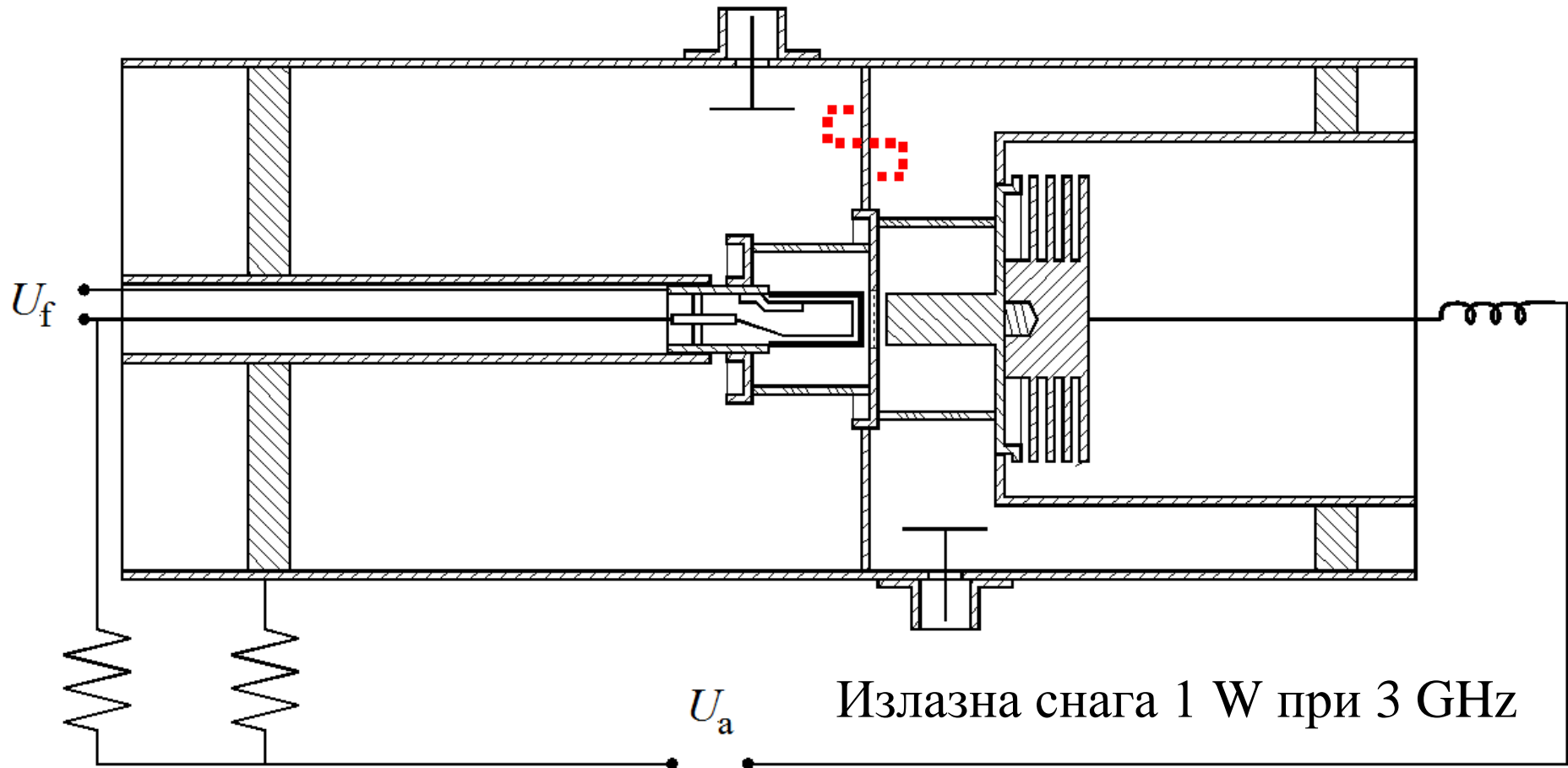
- Излазни степен радио и радарских предајника могу се поделити у две класе
- Први чине самопобудни осцилатори
 - Излазни (активни) елемент (**магнетрон**) је осцилатор
 - Ради на учестаности носиоца
 - Модулација се обавља на излазном степену
- Код друге класе, предајник ради са малим нивоима снаге
 - На тим нивоима снаге врши се модулација
 - Сигнал се појачава помоћу једног или више степена, од којих последњи степен даје потребну снагу
 - Код снажних предајника се у излазном степену као **појачавачи** користе **клистроци** и **цеви са прогресивним таласом**

Микроталасне триоде

- Класичне триоде се практично не користе изнад **1 GHz**
- Микроталасне триоде су посебно конструисане са тежњом да се што више смање паразитни ефекти електрода и време прелета електрона
- Планарна триода
 - Активни део цеви чине равни завршеци коаксијалних прикључака
 - Катода, решетка и анода имају плочасту структуру
 - Електрони се крећу у правцу осе коаксијалне структуре
 - Одстојање између електрода је мало, реда величине 0,1 mm (смањује време прелета)
 - Типични анодни напони су величине неколико стотина волти



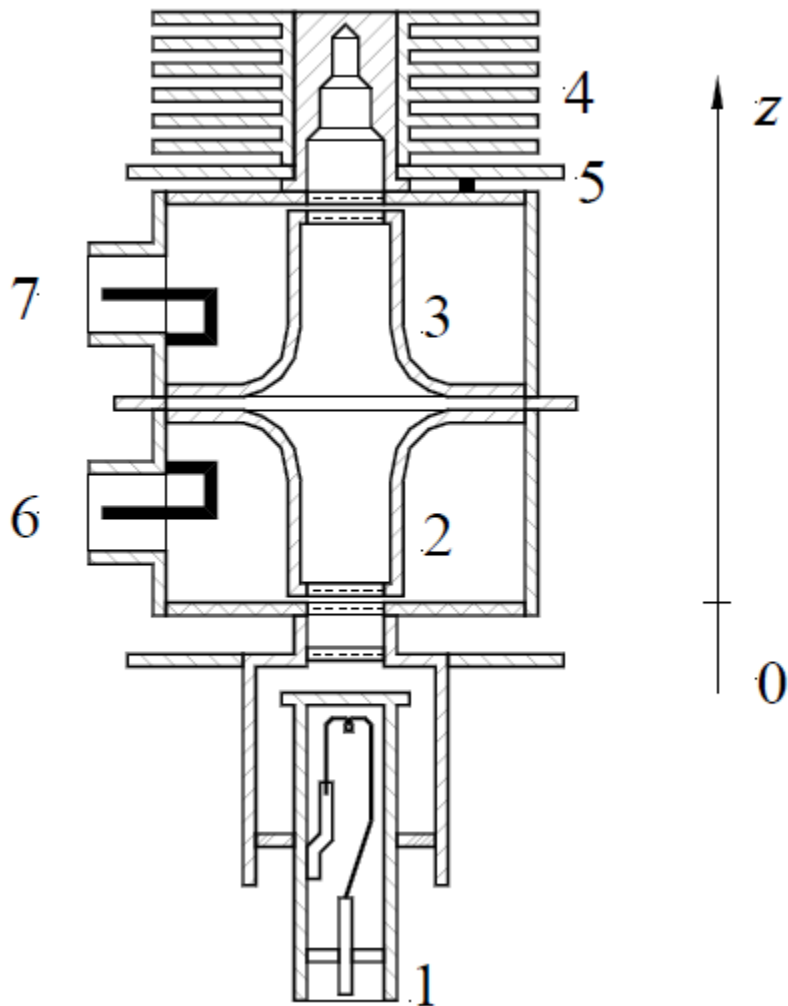
Микроталасне триоде - појачавач



Клистроци

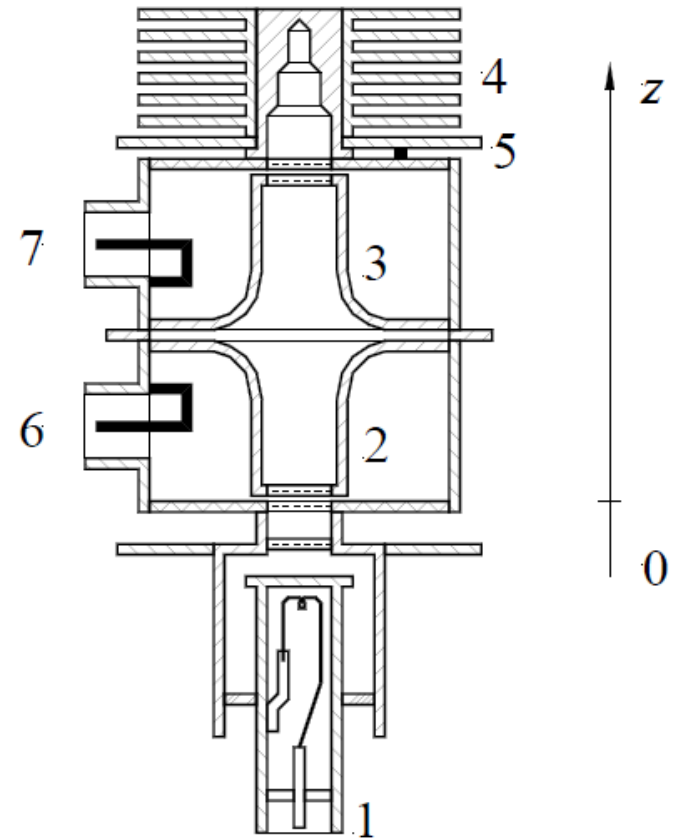
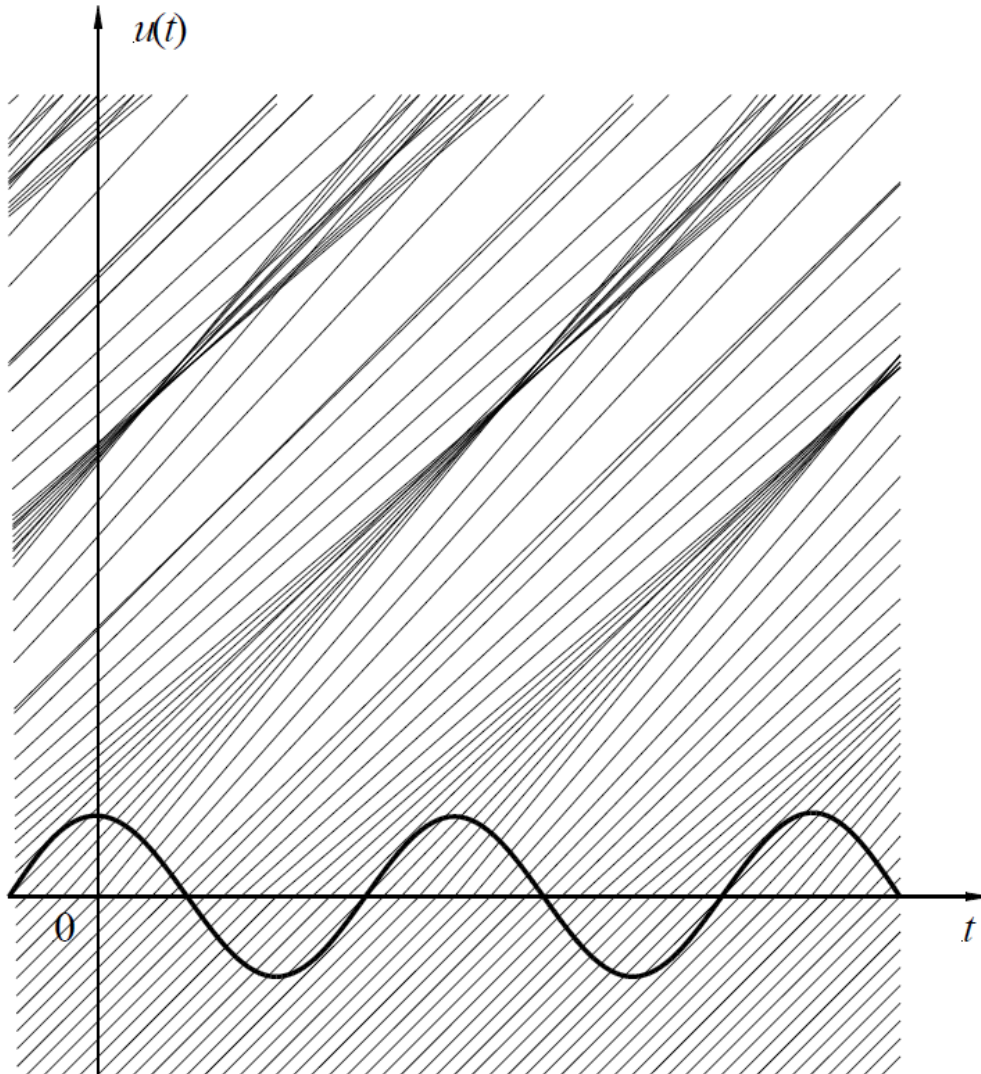
- Користе се као појачавачи микроталасних сигнала (пре свега у излазним степенима) и као осцилатори
- Рад им је заснован на брзинској модулацији електронског млаза
- Подручје примене клистрона је од 1 до 100 GHz
 - Објављена су истраживања у којима је клистрон радио као осцилатор на око 1 THz
- У континуалном режиму рада снага најјачих клистрона се креће до око 100 kW при 1 GHz
 - Опада до око 1 W при 100 GHz
- Клистронски појачавач има и добро појачање снаге (10–70 dB) (осредњи пропусни опсег, 2-15 %)

Клистриони - појачавачи



- 1 – електронски топ
- 2 – улазни резонатор
- 3 – излазни резонатор
- 4 – колектор
- 5 – завртања за подешавање резонантне учестаности
- 6 – улазни конектор
- 7 – излазни конектор

Клистроны - појачавачи

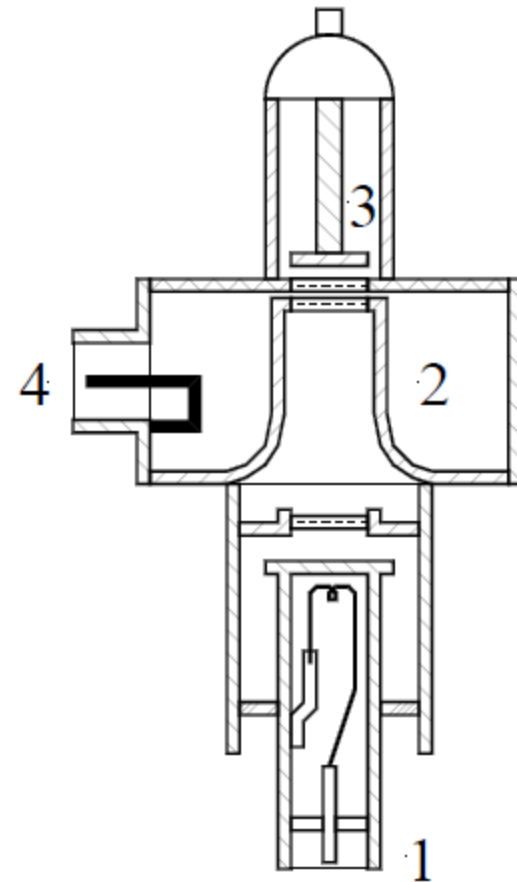


Клистроци - појачавачи

- Коефицијент искоришћења дворезонаторског клистрона је до око 50%, а појачање 10-15 dB
 - Појачање се може повећати ако се на путу електронског млаза, између улазног и излазног резонатора, постави још неколико неоптерећених резонатора, који побољшавају пакетирање млаза
 - Сваки резонатор повећава појачање за двадесетак dB, али је због самоосциловања тешко остварити појачања преко 80 dB
- Излазни резонатор клистрона не мора имати исту резонантну учестаност као улазни, већ може бити подешен на неки хармоник

Рефлексионни клистри

- Ако се у дворезонаторском клистрону улаз прикључи на излаз преко одговарајућег померача фазе, могуће је добити снажан осцилатор
 - У пракси се за овакве сврхе обично користи магнетрон, јер има много боље искоришћење
 - Као осцилатор мале снаге некада се користио рефлексни клистрон



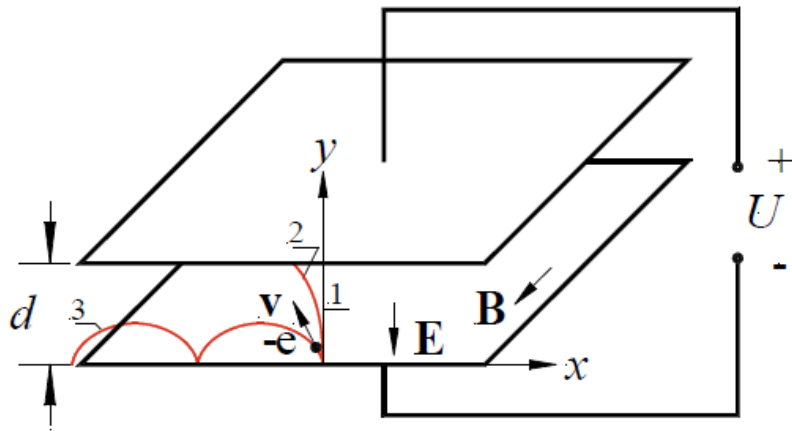
Магнетрони

- Магнетрони су, историјски гледано, прве микроталасне цеви које су могле да дају велику снагу
- Чак и данас, то су најефикаснији микроталасни генератори (осцилатори) са коефицијентом искоришћења од типично 50%, па чак и преко 80%
- У импулсном раду, снаге најјачих магнетрона достижу 100 MW при учестаностима до 10 GHz, а 100 kW при 100 GHz, док су снаге у континуалном режиму око 1000 пута мање
- Користе се првенствено у радарима великих снага који раде при једној учестаности
- Магнетрони су практично искључиви извори код микроталасног загревања (на 2,45 GHz)

Магнетрони – ТИПОВИ

- Током развоја магнетрона постојале су различите варијанте ове цеви
 - Данас се практично искључиво користе магнетрони са више резонантних шупљина
- За разумевање рада магнетрона потребно је размотрити
 - Кретање електрона у укрштеном електричном и магнетском пољу, као и
 - Структуре за вођење успореног таласа

Кретање електрона у укрштеном електричном и магнетском пољу



- Да електрон не би ударио у аноду $B > B_k = \sqrt{\frac{2mE}{ed}}$
- Практично, катода емитује мноштво електрона и испуњен је услов $B \gg B_k$
- Електрони образују облак који се креће уз катоду (Брилуенов облак) средњом брзином која је реда величине $c_0/10$

- Доња електрода (катода) емитује један електрон
- Закривљеност путање зависи од интензитета магнетског поља

$$x(t) = \frac{-eE}{m\omega_c^2}(t\omega_c - \sin(\omega_c t))$$

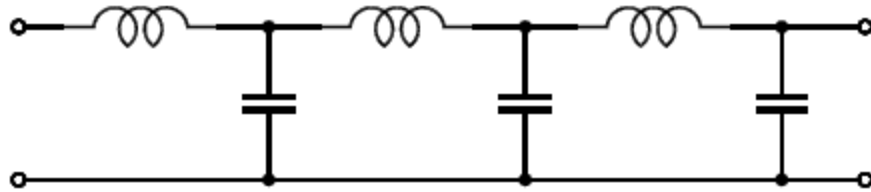
$$y(t) = \frac{eE}{m\omega_c^2}(1 - \cos(\omega_c t)) \quad \omega_c = \frac{eB}{m}$$

Циклотронска учестаност

Структуре за вођење успореног таласа

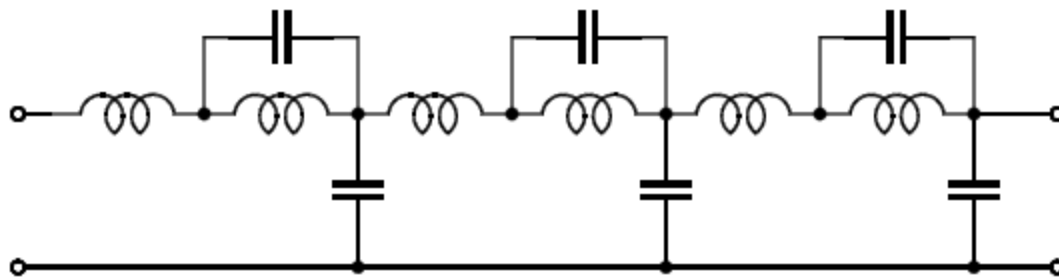
- Замислимо сада да је димензија плоча кондензатора управна на x -осу коначна
 - Добијамо две паралелне траке које чине вод
 - Овај вод може водити простопериодичан ТЕМ талас у правцу x -осе фазном (и групном) брзином једнаком c_0 , што је брже од електронског облака
- Да би дошло до ефикасне интеракције између електрона у облаку и поља таласа, електрон мора “видети” поље које се за њега практично не мења, односно брзина простирања фазе таласа мора бити блиска брзини кретања облака

Вод апроксимиран лествичастом мрежом



$$c_{\phi} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{\Delta l}{\sqrt{LC}}$$

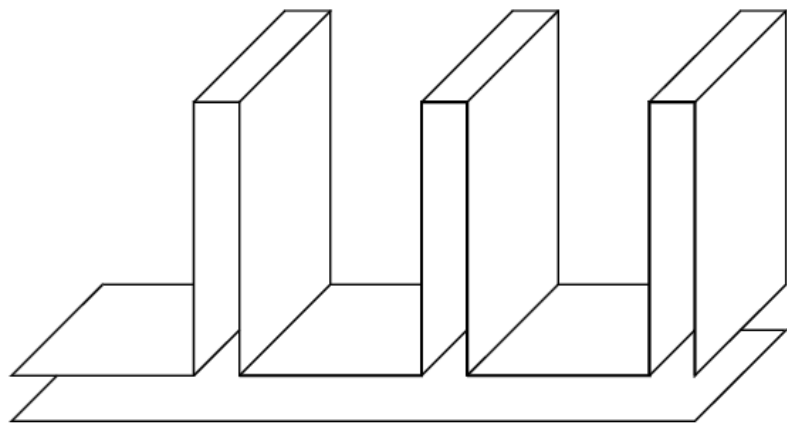
- Брзина простирања фазе може се смањити (нпр.) повећањем L' или C' (диелектрици или ферити не долазе у обзир) или
- Додавањем паралелног осцилаторног кола



- Радна учестаност нижа од резонантне
- Осцилаторно коло је претежно индуктивно
- Брзина простирања фазе у лествичастој мрежи може бити произвољно мала

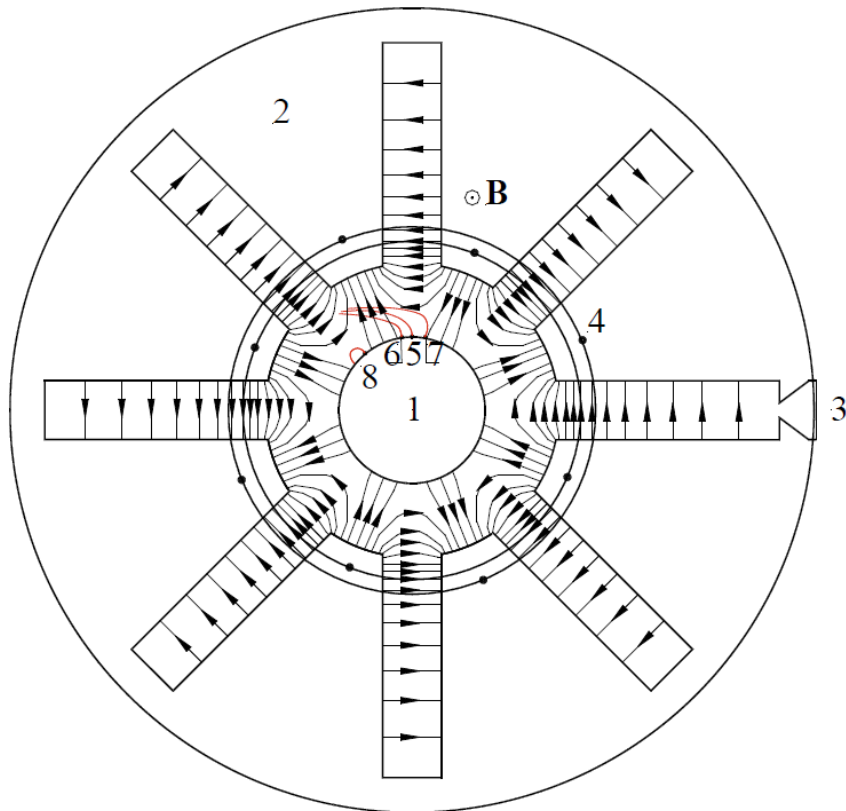
Структуре за вођење успореног таласа

- Паралелно осцилаторно коло (антирезонантно коло) се може реализовати у облику секције вода кратко спојеног на једном крају, чија је дужина мало мања од четвртине таласне дужине (да би се добила индуктивна реактанса)



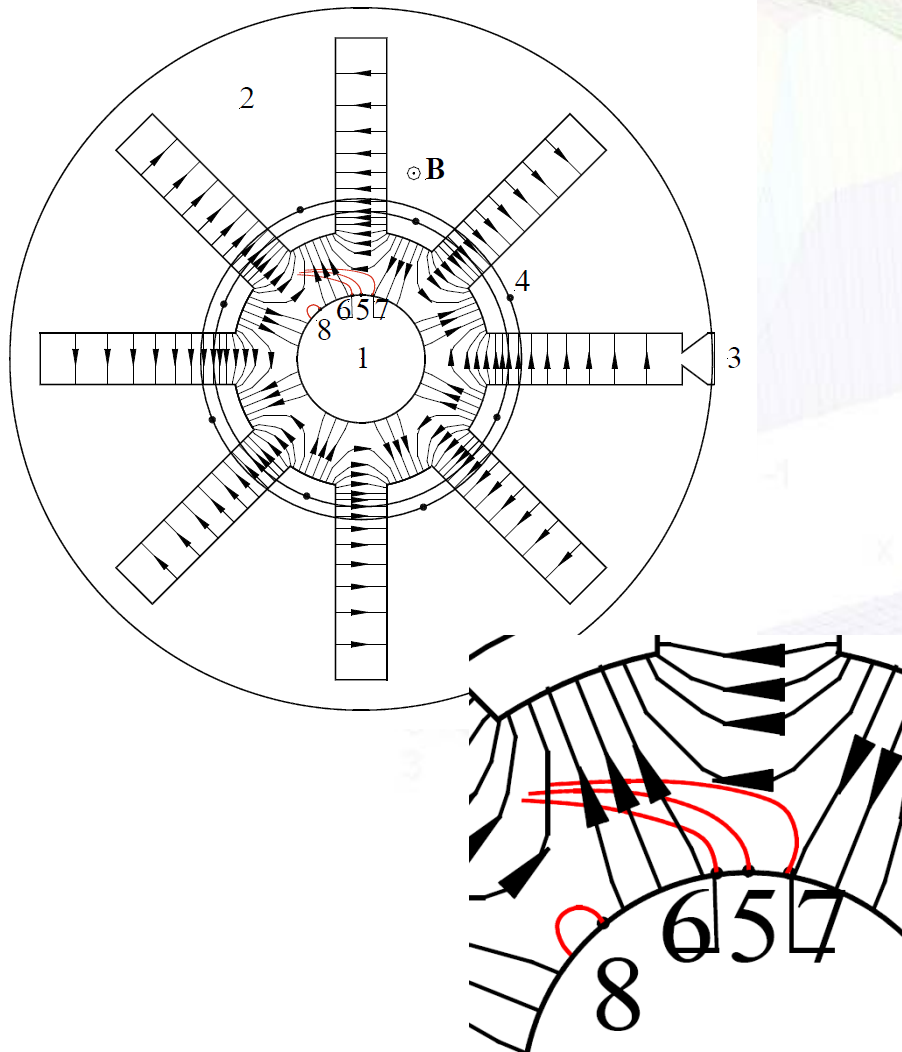
- Структура представља систем за вођење успореног таласа (таласа са малом брзином простирања фазе)

Магнетрони – принцип рада



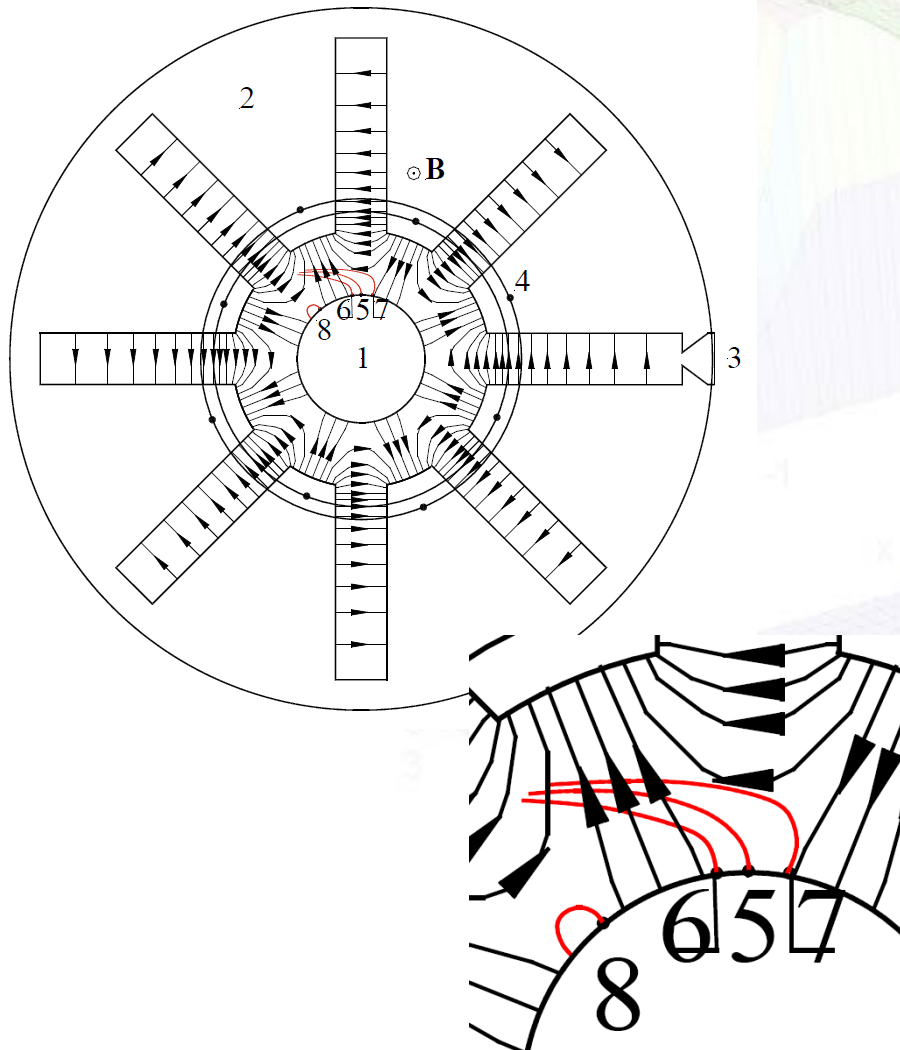
- Уз површ катоде постоји Брилуенов облак који се креће у круг
- Шумови у том облаку индукују високофреквентно поље, које води структура са успореним таласом, па поље које се креће синхроно са електронским облаком има времена да интерагује са електронима

Магнетрони – принцип рада



- Успорени талас се простире у круг
- Укупна промена фазе таласа приликом обиласка пуног круга мора да буде $2n\pi$, где је n цео број
- У пракси је најчешћи случај када је фазна разлика у два узастопна резонатора $\pm \pi$ (π -мод)
- Резултантно електрично поље је суперпозиција стационарног поља (које потиче од извора напајања) и високофреквентног поља које се креће у круг

Магнетрони – принцип рада

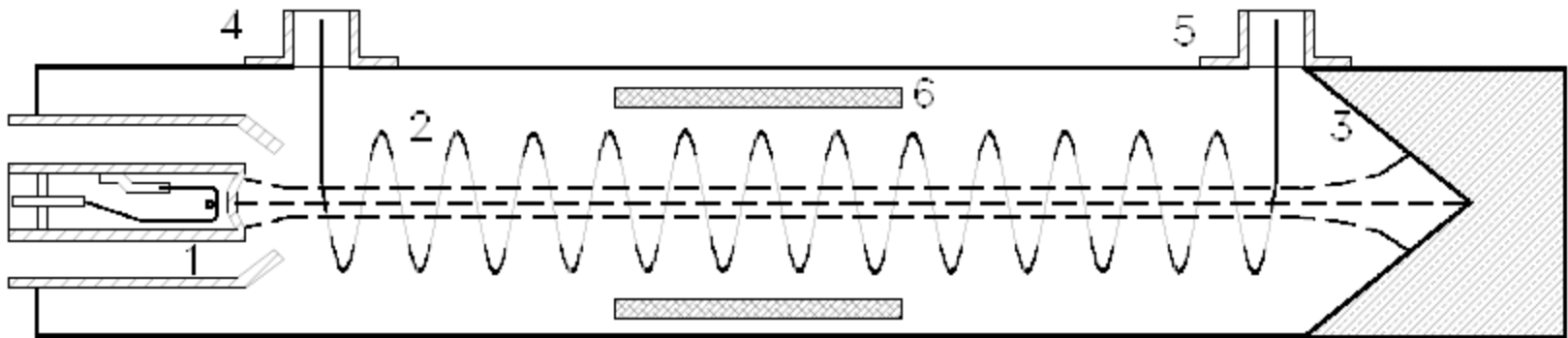


- Учестаности мода за различито n су врло блиске
- Описани магнетрон лако може осциловати при разлитим учестаностима, што доводи до нестабилности у раду
- Осциловање у π -моду се обезбеђује међусобним кратким спајањем сваког другог језичка анодног блока, што се остварује прстеновима

Цеви са прогресивним таласом

- Цеви са прогресивним таласом (Traveling-Wave Tubes, TWT) се данас користе као
 - Појачавачи врло широког опсега учестаности (до 2:1 за цеви мањих и средњих снага, а до око 15% за цеви великих снага),
 - Појачања 30–60 dB, снага које су око ред величине мање него код магнетрона, али релативно мале ефикасности (3–30%)
- У импулсном режиму рада постоје цеви које дају око 100 kW при 3 GHz и 10 kW при 30 GHz
- Примењују се свуда где је потребан широкопојасни рад, као код сателитских телекомуникација, фреквентно агилних радара и радарских ометача

Цеви са прогресивним таласом



1 – електронски топ, 2 – хеликоида, 3 – колектор,
4 – улазни конектор, 5 – излазни конектор, 6 - апсорбер

- Принцип рада цеви са прогресивним таласом је комбинација оног код клистрона и код магнетрона