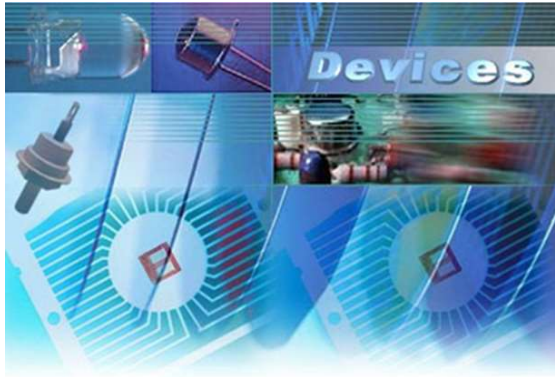




Високофреототни вакуумни елементи



Полупроводникови
елементи

Защо се използват лампи?

При полупроводниковите елементи изискванията за постигне на **голяма мощност и висока честота** са взаимно изключващи се. За голям ток е необходима голяма площ на прехода, а това неминуемо води до големи капацитети и намаляване на честотата.

Затова в приложения, в които се изисква голяма мощност и много високи честоти вакуумните лампи са неотменими.

Общи неправилни схващания са, че вакуумните елементи са:

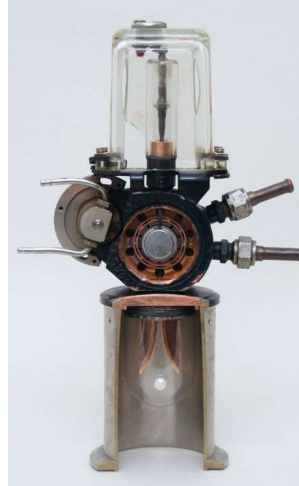


- Чупливи
- С къс живот
- Ненадеждни
- Неэффективни



Съдържание

- Принцип на действие на вакуумните лампи
- Видове високочестотни лампи
 - Лампа с индуктивен изход (1939)
 - Клистрон (1939)
 - Магнетрон (1940)
 - Лампа с бягаща вълна (1943)
 - Гиротрон (1960)
- Съвременно състояние
- Предизвикателства и бъдещи насоки



Управление на електронен поток

Работата на електронни лампи с управляваща решетка при свръхвисоки честоти се затруднява поради **крайната стойност на времето за прелитане на електроните**.

Съществуват лампи, в които времето за прелитане се използва като полезен ефект. При тях се използва способ за управление на е- поток с **модулация на скоростта на електроните**.

Електроните се ускоряват с постоянно електрическо поле и допълнително въздействие с променливо високочестотно поле, при което равномерният е- поток със скорост v_0 се разпределя на отделни групи.

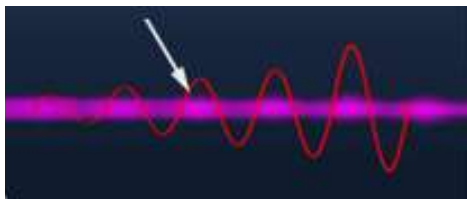
Освен модулация на скоростта на е- се използва и способ с **модулация на тока**. Групирането се извършва чрез решетката на лампата (управляващ електрод), което довежда до по-голяма ефективност, по-малки размери и по-ниска цена.

Управление на електронен поток

Модулация на скоростта на електроните

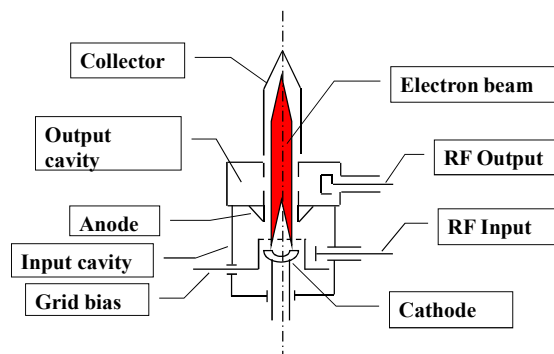
Ако се приложи в.ч. поле между 2 решетки на лампата (g_1 и g_2) през положителния полупериод (g_1+ и g_2-) допълнителното поле е ускоряващо за е- и те увеличават скоростта си, а през отрицателния се забавят.

В резултат на различните скорости е- се прегрупират. Електрони, движещи се със скорост v_0 се застигат от тези със скорост $v > v_0$ и електроните образуват пакет с голяма електронна плътност и във веригата на събирателния електрод протича токов импулс.



Inductive Output Tube (IOT)

Лампата с индуктивен изход е високочестотна вакуумна лампа, използвана за мощни в.ч. усилватели. Те имат до около 30 kW мощност в непрекъснат режим и 7 MW импулсна мощност при усилване от 20-23 dB на честоти до около гигагерц.

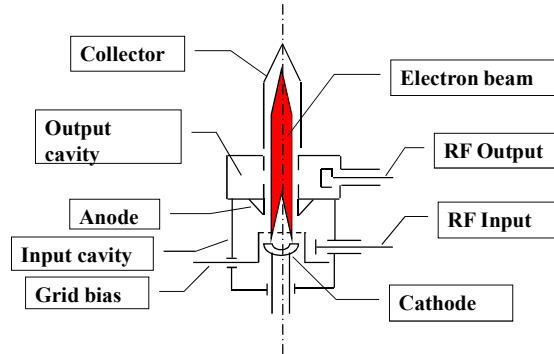


Те имат до около 30 kW мощност в непрекъснат режим и 7 MW импулсна мощност при усилване от 20-23 dB на честоти до около 1 GHz.

Inductive Output Tube (IOT)



Представява комбинация от триод (с анод, катод и решетка) и клистрон (клистрод). Работи с **модулация на тока**. Електроните трябва да бъдат ускорени от катода и да преминават през решетката, преди RF електрическото поле да обърне посоката си.



Честотата се ограничава от разстоянието между катода и решетката. Горната граница на честотата е приблизително 1300 MHz.

Лампа с индуктивен изход за цифрови TV предавания (IOT)



Използват се в UHF телевизионните предаватели, поради тяхната по-висока ефективност (35% до 40%) и по-малък размер.

Лампите с индуктивен изход също намират приложение в ускорителите на частици.

22/03/2

Courtesy of Marconi Applied Technologies

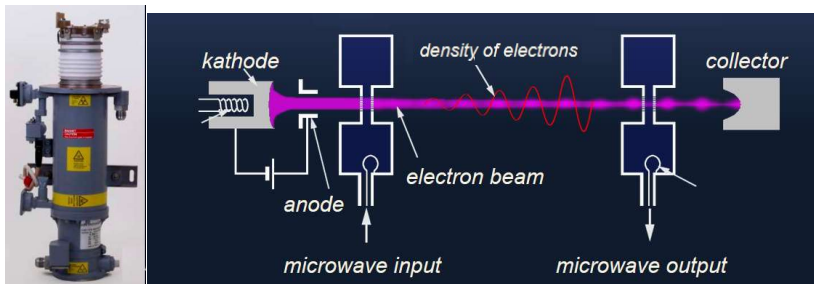


Характеристики EEV IOT 7360

- Честота 470 - 810 MHz
- Мощност 64 kW
- Напрежение на лъча 32 kV
- Ток на лъча 3.35 A
- Усилване 23 dB
- Ефективност 60%

Courtesy of Marconi Applied Technologies

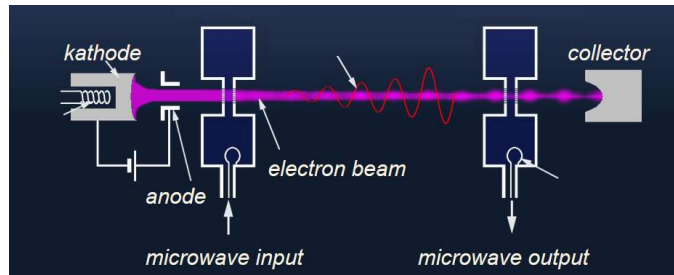
Клистрон



Клистроните са мощни високочестотни вакуумни лампи, които се използват в радарите като усилватели. Те използват ефекта на времето за прелитане за промяна на скоростта на електронния поток – **модулация по скорост**.

Идеята е да се управлява е- поток чрез ускорение с постоянно ел. поле и допълнително въздействие с в.ч. променливотоково поле, при което е- се разделят на групи с различна скорост около оста на лампата.

Клистрон

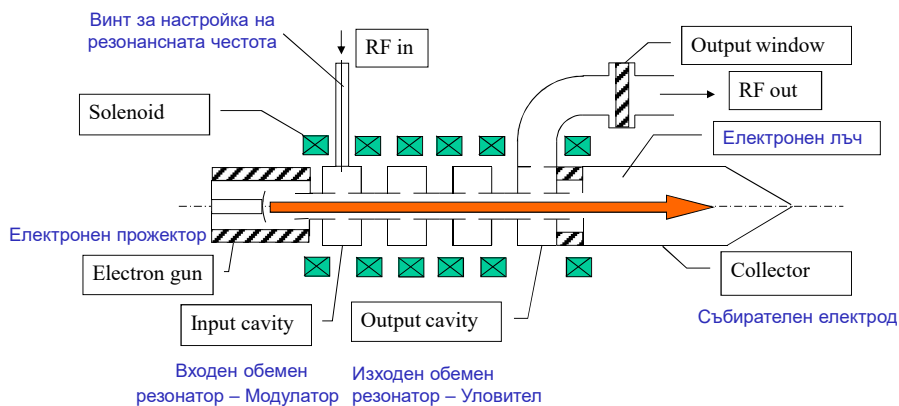


Броят на импулсите в секунда съответства на честотата f на управлящото напрежение. Ако тази честота съвпада с резонансната честота на трептящия кръг в изхода, в него възникват трептения със същата честота като амплитудата им е по-голяма.

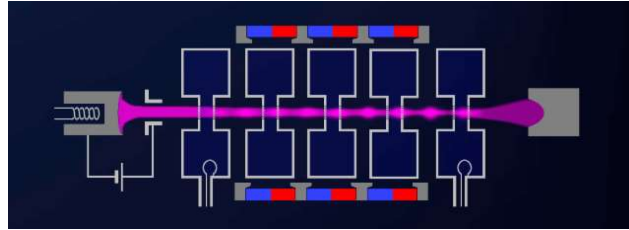
Използването на входа и изхода на обикновени трептящи кръгове с L и C е трудно поради малките им размери. Затова се използват обменни резонатори с възможност за настройка на резонансната честота.

Двурезонаторен клистрон

Излизашите от модулятора е- се движат с различна скорост и се групират в пакети с голяма гъстота с честота на входния сигнал. Когато достигнат уловителя те отдават там кинетичната си енергия и възбуждат в него в.ч. колебания.



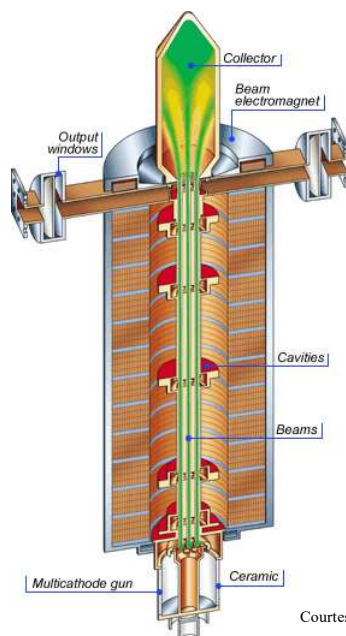
Многорезонаторен клистрон



Усилването на клистрона, мощността и неговата ефективност могат значително да се подобрят чрез добавяне на междинни резонатори между входния и изходен резонатори на основния клистрон. Тези допълнителни резонатори се наричат "усилващи резонатори". Те служат за модулиране на скоростта на електронния лъч, електронните пакети се уплътняват и увеличават енергията в изхода.

Многорезонаторните клистронови могат да се използват за увеличаване на усилването на клистрона или за увеличаване на честотната лента.

Многолъчев клистрон



Многолъчевите клистронови имат няколко е-лъча и могат да се разглеждат като няколко успоредни клистронови с общи входен и изходен резонатори. Останалите им резонатори и фокусиращи системи могат да бъдат общи или отделни. Те използват електромагнитно или електростатично фокусиране.

Многолъчеви клистронови са в състояние да доставят огромни количества високочестотна мощност при ниско напрежение на лъча (обикновено от 50 до 80%) и по-къса дължина на вълната (обикновено 30 до 60%), тъй като електроните имат по-малка средна скорост. Друго предимство на тези клистронови е много по-широката им честотна лента.

Многолъчеви клистронови достигат ефективност от 60 до 80% и обикновено се използват в приложенията за ускорители на частици.

Courtesy of Thales Electron Devices



22/03/2

Клистрон за ускорител на частици

YK1350

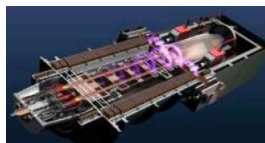
Frequency	352 MHz
V_0	90 kV
I_0	16.8 A
Power	1.3 MW
Efficiency	66 %
Gain	40 dB

Courtesy of Marconi Applied Technologies



Многолъчев клистрон TESLA TH1801

Честота	1300 MHz
V_0	115 kV
I_0	133 A
Мощност	9.8 MW pk
Ефективност	64 %
Усилване	47 dB
Импулс	1.5 msec

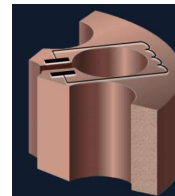
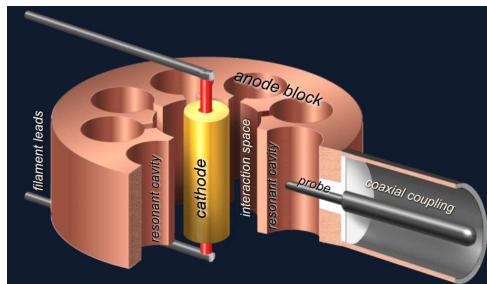


Напречен разрез на многолъчев клистрон на Тесла

Courtesy of Thales Electron Devices

Магнетрон

Разрез на магнетрон



Всеки обмен резонатор работи като паралелен резонансен кръг

Магнетронът е вакуумна лампа, която работи като СВЧ (микровълнов) генератор. За управление на е-поток се използват електрическо и магнитно поле, за да се генерира изходна мощност, необходима в радарното оборудване.

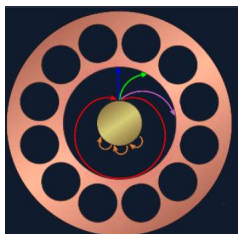
Магнетроните имат множество обменни резонатори и могат да се използват при **радарни предаватели** като импулсни генератори за честоти от 600 до 30 000 MHz.

Поради сравнително простата си конструкция магнетронът обикновено работи само на конструктивно фиксирана честота.

Магнетрон с цилиндричен анод

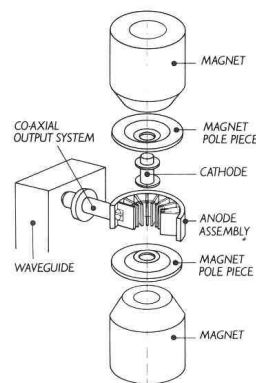
Магнетронът е двуелектродна лампа, защото няма решетка. Анодът му се изработва като цилиндричен меден блок.

е- лъч се управлява с взаимно перпендикулярни магнитно и електрическо поле, при което се получава модулация на скоростта на е-. Когато напрегнатостта на електрическото поле е голяма, а магнитното поле - слабо (зелен цвят), всички е- достигат до катод и ще тече голям аноден ток.



Траектория на е- под влияние на различна сила на магнитното поле

Ако се увеличи силата на магнитното поле, пътят на електрона се закривява. Аналогично, ако скоростта на електрона се увеличи, полето около него се увеличава и пътят ще се огъне по-рязко.



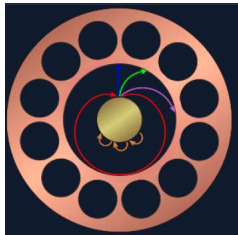
Major elements of the magnetron.



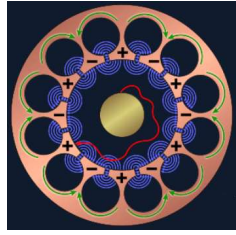
Принцип на действие

Както при всички лампи, работещи с модулация на скоростта на електроните, процесите могат да се разделят в следните фази:

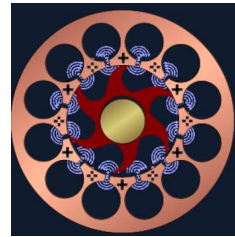
1. Производство и ускоряване на е- лъч от постоянно електрическо поле
2. Модулация на скоростта на е- лъч
3. Образуване на електронни пакети с голяма плътност поради модулацията на скоростта
4. Отдаване на енергия към променливотоковото поле. По този начин, електронът спомага за поддържане на трептенията, тъй като получава енергия от *DC* полето и я отдава на *AC* полето.



Траектория на е- под влияние на различна сила на магнитното поле



Влияние на високочестотното електрическо поле



е-, движещ се срещу *E* поле, се ускорява от полето и поема енергия от полето, докато е- отдава енергията на полето и се забавя, ако се движи в същата посока като полето (от + към -)

Магнетрон в радарен предавател



Пълен предавателен модул на радарна система от руски изстребител MIG. Той съдържа високоефективен магнетрон, високоволтови кондензатори и управление с импулсен модулатор.





Магнетрон за индустриално загряване

BM100L

Честота	900 MHz
V0	18.5 kV
I0	5.9 A
Мощност	100 kW
Ефективност	90%

22/03/2

Courtesy of Marconi Applied Technologies



Миниатюрен магнетрон

Честота	35 GHz
V0	8.0 kV
I0	7.0 A
Мощност	10 kW
Ефективност	18%

22/03/2

Devices
Courtesy of Marconi Applied Technologies

Лампа с бягаща вълна Travelling-Wave Tube (TWT)

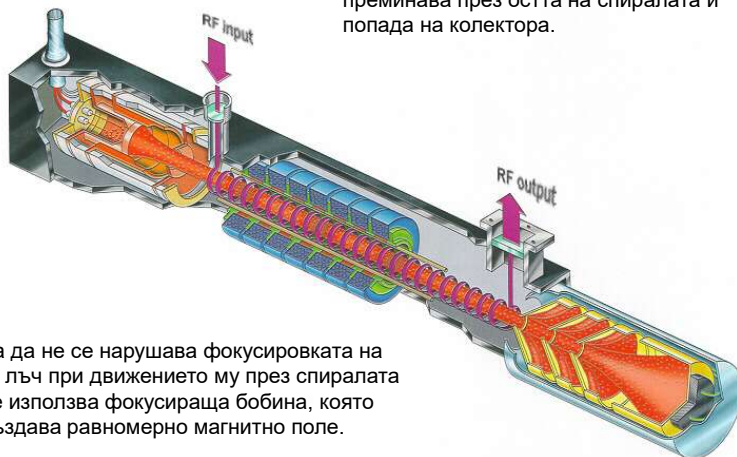


Избягва недостатъка на двурезонаторния клистрон като усилвател на слаби свч сигнали: малък коефициент на усилване, висок собствен шум и тясна честотна лента

Съдържа електронен прожектор (катод, управляващ електрод, анод), спирала и колектор. Спиралата е образувана от гъсто навит проводник и единият ѝ край е свързан с входната коаксиална линия, а другия край – с изходната.

Courtesy of Thales Electron Devices

Лампа с бягаща вълна



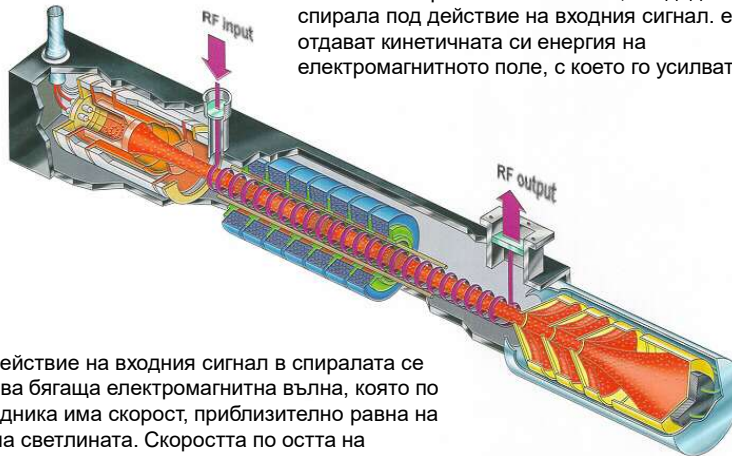
Фокусиранят в тесен сноп е- поток преминава през оста на спиралата и попада на колектора.

За да не се нарушава фокусировката на е- лъч при движението му през спиралата се използва фокусираща бобина, която създава равномерно магнитно поле.

Courtesy of Thales Electron Devices

Принцип на действие

Използва се динамично взаимодействие на е-поток и електромагнитното поле, създадено в спирала под действие на входния сигнал. е-отдават кинетичната си енергия на електромагнитното поле, с което го усилват.

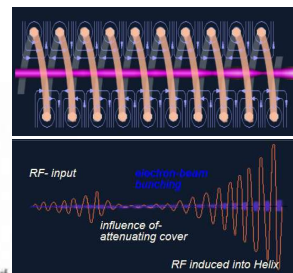
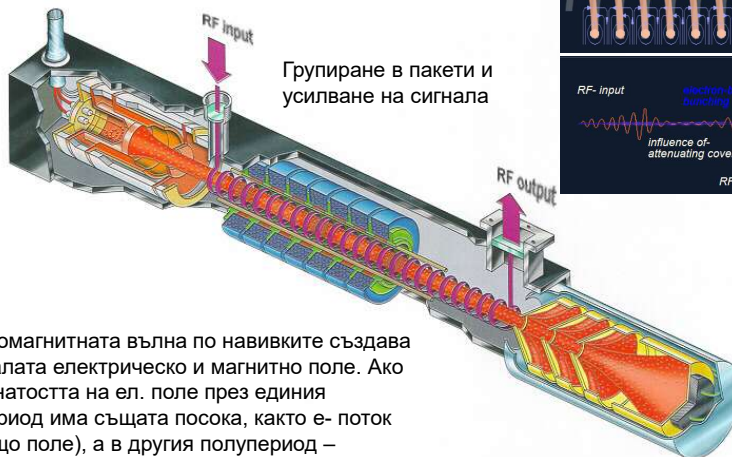


Под действие на входния сигнал в спиралата се създава бягаща електромагнитна вълна, която по проводника има скорост, приблизително равна на тази на светлината. Скоростта по оста на спиралата е значително по-ниска.

Courtesy of Thales Electron Devices

Принцип на действие

Групиране в пакети и усилване на сигнала

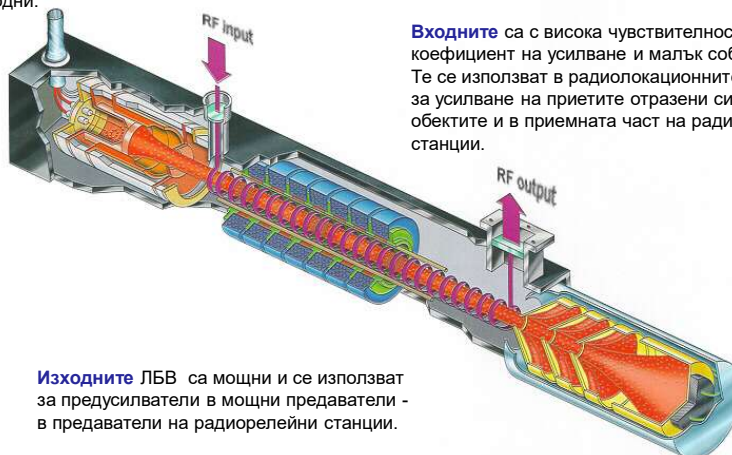


Електромагнитната вълна по навивките създава в спиралата електрическо и магнитно поле. Ако напрегнатостта на ел. поле през единия полупериод има същата посока, както е-поток (спиращо поле), а в другия полупериод – ускоряващо и това довежда до модулация на скоростта на е- и групиранието им.

Courtesy of Thales Electron Devices

Приложение

ЛБВ са усилватели с голям коефициент на усилване, нисък шум и широка честотна лента. Използват се за честоти от 300 MHz до 50 GHz. Широката честотна лента и ниският шум ги прави идеални за усилватели в свч оборудване. Използват се два вида лампи с бягаща вълна: входни и изходни.



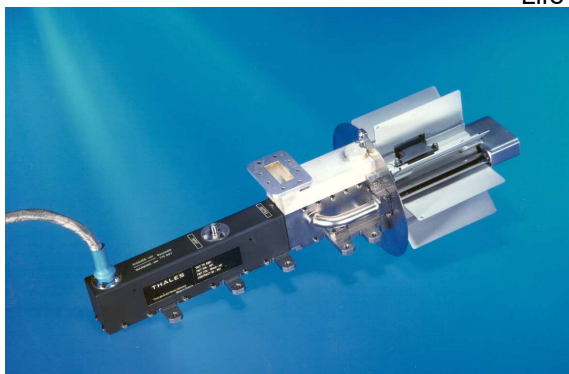
Входните са с висока чувствителност, голям коефициент на усилване и малък собствен шум. Те се използват в радиолокационните приемници за усилване на приетите отразени сигнали от обектите и в приемната част на радиорелейните станции.

Изходните ЛБВ са мощни и се използват за предусилватели в мощни предаватели - в предаватели на радиорелейни станции.

Courtesy of Thales Electron Devices

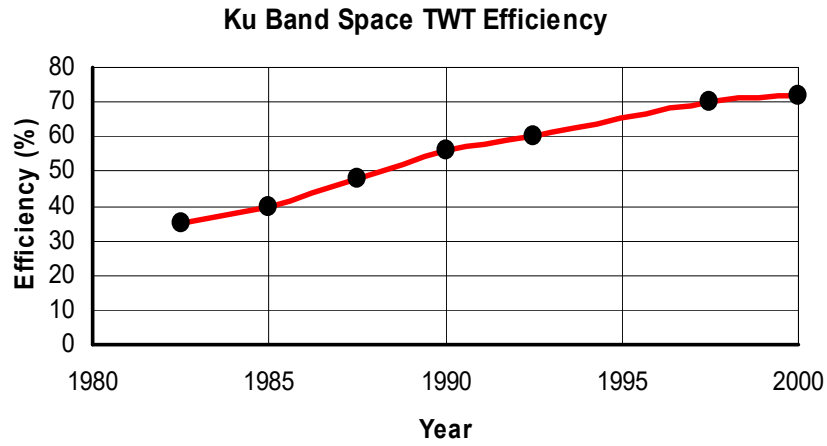
TH4301 Travelling-Wave Tube

Frequency	10.75 – 12.7 GHz
V_0	4.7 kV
I_0	110 mA
Power	220 W
Efficiency	69 %
Gain	50 dB
Life	> 130,000 hrs



Courtesy of Thales Electron Devices

Ефективност през годините

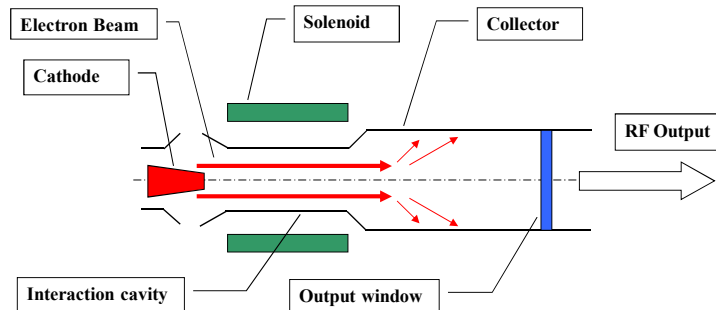


22/03/2002

IoP Meeting: The Future of Electronic Devices

Гиротрон осцилатор

Гиротронът е вакуумен електронен елемент, способен да генерира висока мощност и висока честота на излъчване от порядъка на THz. Действието на гиротрона се базира на стимулираното циклотронно излъчване на електрони, които се движат в силно магнитно поле, обикновено осигурено от свръхпроводящ магнит.



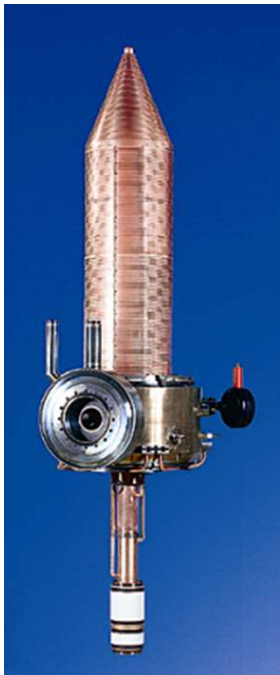


TH1506 Gyrotron Oscillator

Намират приложения във високотехнологични нагревателни системи - в изследванията на ядрения синтез за загряване на плазмата, в преработващата промишленост за бързо нагряване при обработка на стъкло, композити и керамика.

Военните приложения включват Active Denial System – нелегално оръжие с насочено действие, което изпепелява живи същества.

Courtesy of Thales Electron Devices



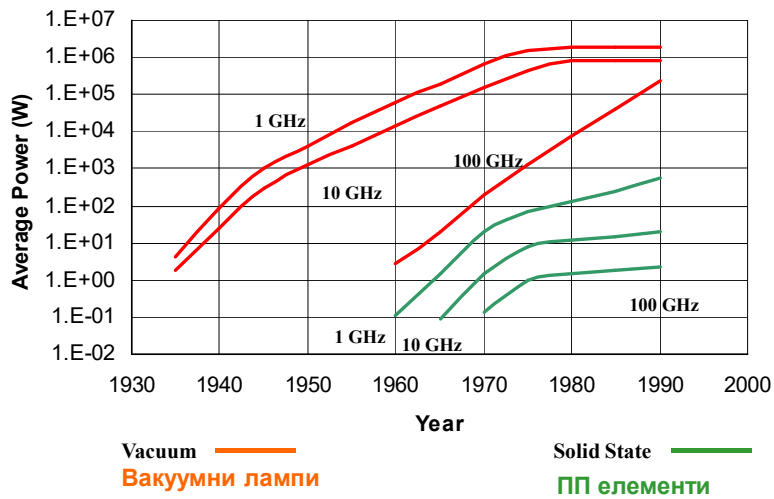
TH1506 Gyrotron Oscillator

Честота	118 GHz
V0	85 kV
I0	22 A
Мощност	500 kW pk
Ефективност	30 %
Импулс	210 sec

Courtesy of Thales Electron Devices

Максимална мощност и честота

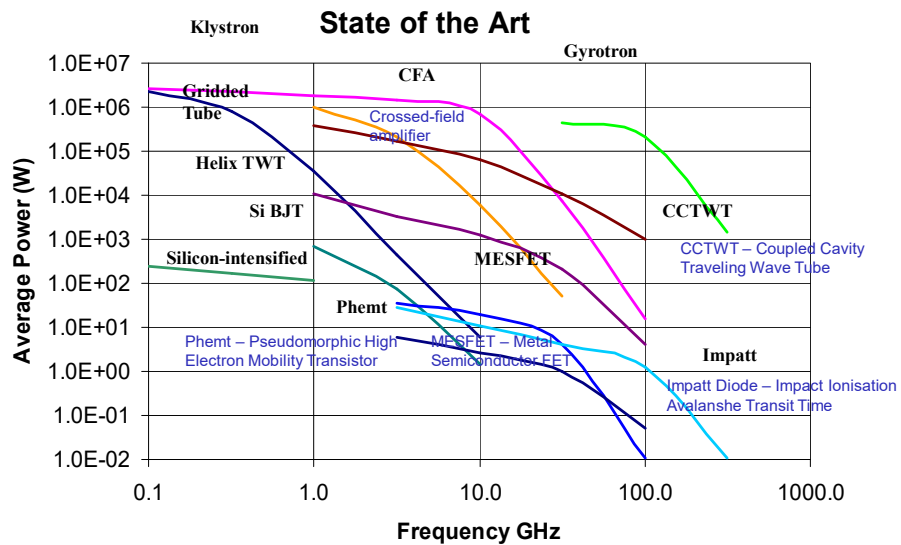
Single Device Average Power Ratings



22/03/2002

IoP Meeting: The Future of Electronic Devices

Сравнения вакуумни / ПП елементи



22/03/2002

IoP Meeting: The Future of Electronic Devices

Реалност и бъдеще

Вакуумните лампи са единствената жизнеспособна технология при високи честоти и високи нива на мощност.

- | | |
|------------------------|---------------|
| Чупливи | Здрави |
| С къс живот | С дълъг живот |
| Ненадеждни | Надеждни |
| Несфективни | Ефективни |

Технологията е установена, но все още има място за подобрения в проектирането и за нови концепции. Бъдещо развитие се очаква в:

- Multiple beam klystron and IOT
- Gyro-TWA
- Free electron lasers
- Miniature, mass-produced devices
- Cold cathodes

22/03/2002

IoP Meeting: The Future of Electronic Devices

Приложения и предизвикателства

Приложения

- Ускорители на частици за научни цели
TESLA/NLC, Muon Collider, ESS
- Съвременни източници на светлина
DIAMOND, 4GLS
- Индустриални и медицински линейни ускорители
- Разпространение на мултимедийни услуги
- CVD (Chemical Vapor Deposition) отлагане на химически покрития,
отлагане на диамантени покрития

Предизвикателства

- Подобряване на производителността и надеждността
- Намаляване на разходите при експлоатация
- Намаляване опасностите за околната среда
 - Алтернативни материали
 - Работа с ниски напрежения
 - Вредни емисии
- Подобряване възможностите за интеграция в системите