

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа
«Исследование отражательного клистрона»

Москва, 2006 г.

Теоретические сведения

Очень важной разновидностью клистронов является отражательный клистрон. Отражательные клистроны используются в качестве генераторов маломощных СВЧ - колебаний в измерительной аппаратуре, радиолокационных и других приемных устройства.

В отличие от пролетного клистрона отражательный клистрон имеет один резонатор, который одновременно модулирует поток электронов, летящих от катода к отражателю, и отбирает энергию от отраженных электронов.

Важнейшими преимуществами отражательного клистрона (рисунок 1) являются простота схемы питания и устройства, наличие электронной перестройки и широкий диапазон механической перестройки генерируемой частоты.

В вакуумном баллоне отражательного клистрона располагаются катод, ускоряющий электрод, объемный перестраиваемый резонатор, сетки которого пронизывает электронный поток. На некотором расстоянии за сетками резонатора расположен отражатель, на который подается отрицательное напряжение порядка $U_{отр} = - (100... 300) \text{ В}$. Пространством дрейфа здесь является объем заключенный между резонатором и отражателем.

Принцип действия отражательного клистрона.

Поток электронов, эмитируемых катодом, разгоняются полем ускоряющего электрода, проходит через сетки резонатора. В резонаторе наводятся слабые колебания (эти начальные колебания возникают от неравномерности, флуктуации электронного потока, эмитируемого катодом). Под действием этих колебаний электронный поток модулируется по скорости. Пролетев сетки резонатора в одном направлении (как было сказано выше с разными скоростями), электроны тормозятся полем отражателя, при этом происходит их группировка, и возвращаются назад полем отражателя уже в виде сгустков.

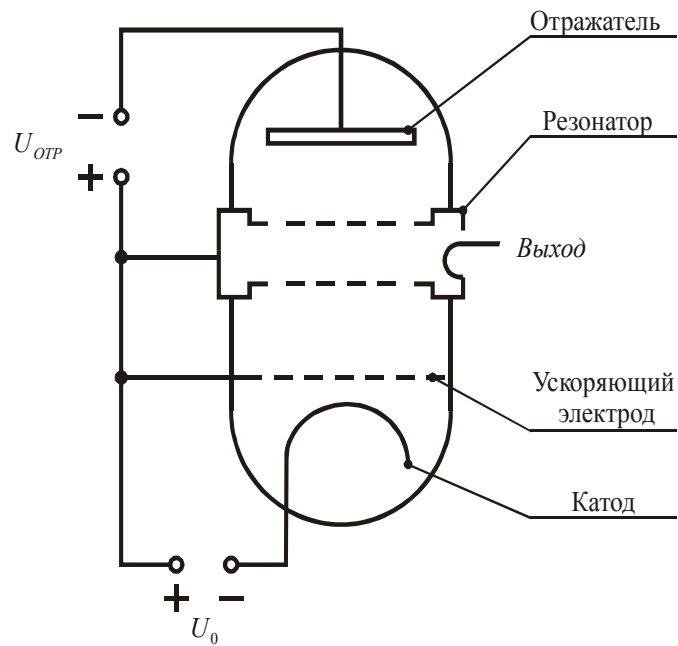


Рисунок 1. Устройство отражательного клистрона.

Внешний вид клистрона приведен на рисунке 2.

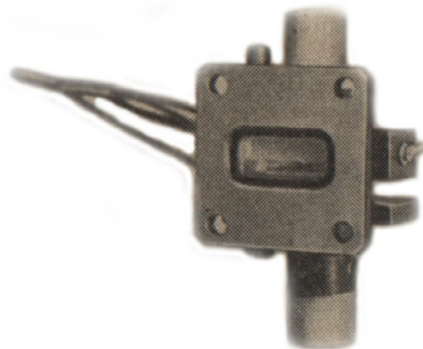


Рисунок 2. Внешний вид клистрона.

Группировка происходит относительно невозмущенных электронов (пролетевших через резонатор в момент t_2 на рисунке 3, когда в нем $E_{рез} = 0$). Электрон, вышедший раньше (t_1 на рисунке 3) и имеющий большую скорость, проникает в тормозящее поле отражателя глубже, следовательно, летит дольше невозмущенного и может вернуться в зазор резонатора почти одновременно вместе с ним. Электрон, вышедший позже невозмущенного электрона (t_3 на рисунке 3) и имеющий меньшую скорость,

проникает в тормозящее поле на меньшее расстояние, и велика вероятность, что он вернется в резонатор вместе с невозмущенным электроном.

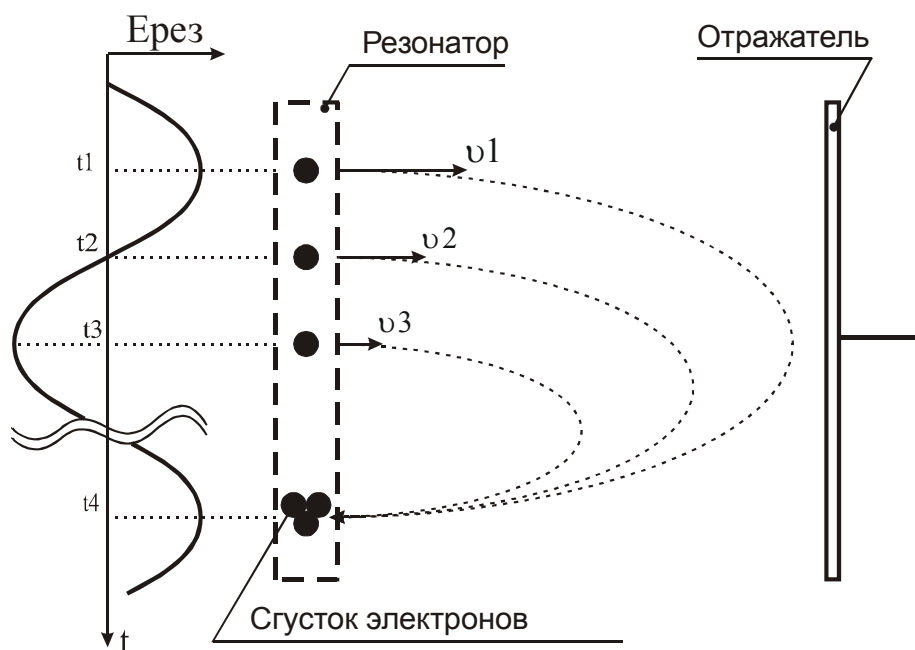


Рисунок 3. Процесс формирования сгустков.

При этом время пролета электронов должно быть таким, чтобы в момент возвращения в зазор резонатора (t_4 на рисунке 3) там существовало для них тормозящее поле. В этом случае электроны отдают энергию СВЧ полю резонатора, т. е. полю того же самого контура, при прохождении которого они модулировались по скорости (образуется положительная обратная связь, энергия возвращенного сгустка частично идет на модуляцию новых электронов).

Подобрав значения U_0 и $U_{отр}$, можно добиться, чтобы сгусток отраженных электронов приходил к сеткам резонатора в тот момент, когда поле в зазоре тормозящее. В силу того, что вектор скорости возвращающихся электронов противоположен вектору скорости электронов, движущихся от катода, поле в зазоре будет тормозить сгусток, когда СВЧ-потенциал второй сетки по отношению к первой будет положительным. Пролетая между сетками резонатора в тормозящем поле, сгусток электронов отдает энергию СВЧ и поддерживает возникшие в резонаторе колебания.

Цель и задачи лабораторной работы

Целью данной лабораторной работы является ознакомление с устройством и принципом действия отражательного клистрона и экспериментальное исследование основных характеристик отражательного клистрона.

В ходе лабораторной работы необходимо:

- снять зависимость мощности колебаний, генерируемых клистроном, от напряжения на ускоряющем электроде $P_K=f(U_0)$ (при $U_{OTP}=const$).
- снять зависимость мощности и частоты генерируемых колебаний от напряжения на отражателе: $P_K=f(U_0)$ и $f=\varphi(U_{OTP})$ (при $U_0=const$).

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для исследования характеристик отражательного клистрона изображена на рисунке 4. В состав лабораторной установки входят:

- блок питания (БП на рисунке 4) с плавной регулировкой напряжений, подаваемых на отражатель и резонатор (U_{OTP} и U_0 соответственно);
- клистрон;
- волновод (на рисунке 4 изображен сплошной линией соединяющей все элементы схемы справа от клистрона);
- направленный ответвитель (HO на рисунке 4) ослабляет сигнал, поступающий на детектор, с постоянным коэффициентом ослабления α_{HO} , чтобы понизить мощность, подводимую к измерительной части схемы (лишняя энергия «гасится» в CH – согласованной нагрузке);
- аттенюатор Am с регулируемым затуханием α_{AT} – для расширения диапазона измеряемых мощностей.
- ваттметр $P_{ДЕТ.}$, измеряющий мощность, выделяющуюся на детекторе D (в качестве индикатора в лабораторной установке используется миллиамперметр проградуированный в ваттах);
- резонансный частотомер f . (Для измерения f необходимо настроить частотомер в резонанс, добившись минимального показаний ваттметра

$P_{дет}$. При настройке частотомера в резонанс на детектор поступает минимум СВЧ энергии.)

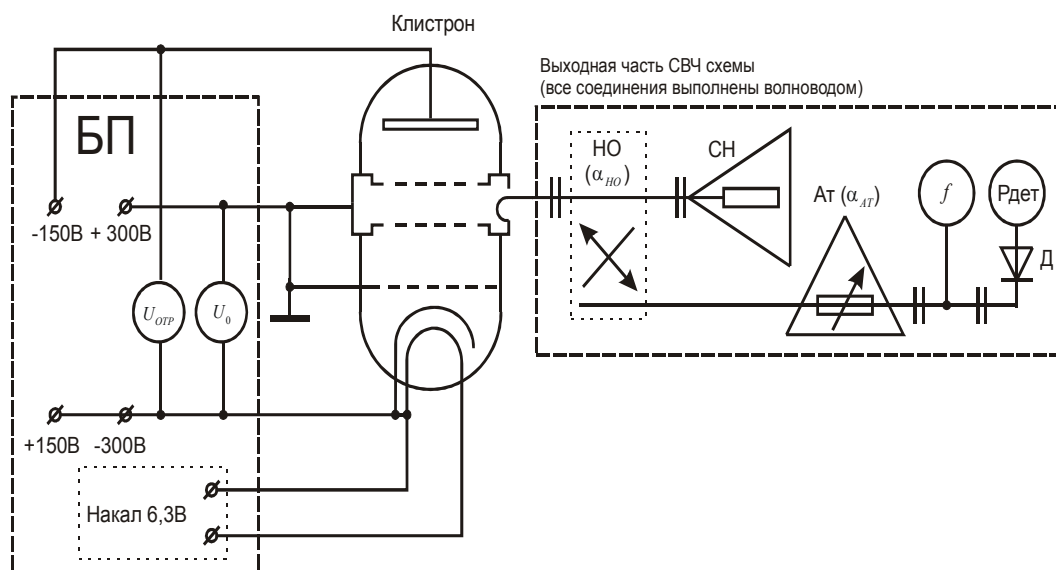


Рисунок 4. Лабораторная установка, (где $\text{---}\text{||}\text{---}$ - фланцевое соединение волноводов)

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять зависимость $P_K=f(U_0)$ для постоянного значения напряжения на отражателе $U_{отр}$. В каждой зоне генерации необходимо произвести 6-10 измерений. По полученным экспериментальным данным построить зависимость $P_K=f(U_0)$ (см. Приложение рисунок П.1.).

Выбор значения $U_{отр}$.

Пробуется несколько вариантов значений напряжения $U_{отр}$ и проверяется по ваттметру, возможно ли получить характеристику с явно выраженными зонами генерации (см. Приложение рисунок П.1.).

Перед снятием характеристики для установленного $U_{отр}$ произвести установку затухания аттенюатора $\alpha_{АТ}$ такой величины, чтобы на всем диапазоне изменения U_0 , стрелка амперметра не заходила за пределы измерения.

Измеренная мощность на детекторе пропорциональна мощности генерируемой клистроном $P_K = 10^{0.1\alpha_\Sigma} P_{ДЕТ}$

Таблица 1. Зависимость $P_K=f(U_0)$ ($U_{ОТР}=60 В$, $\alpha_{НО}=10$ дБ)

| $U_0, В$ | $P_{ДЕТ}, мкВт$ | $\alpha_{АТ}, дБ$ | $\alpha_\Sigma = \alpha_{НО} + \alpha_{АТ}, дБ$ | $P_K, мкВт$ |
|----------|-----------------|-------------------|---|-------------|
| | | | | |
| | | | | |

2. Снять зависимость мощности и частоты генерируемых колебаний от напряжения на отражателе $P_K=f(U_{ОТР})$, $f=\varphi(U_{ОТР})$ для одной из наиболее мощных зон генерации (выбрать по результатам предыдущего пункта), с постоянным значением укоряющего напряжения U_0 (соответствующему максимуму мощности в п. 1).

Таблица 2. Зависимости $P_K=f(U_{ОТР})$, $f=\varphi(U_{ОТР})$ ($U_0=200 В$, $\alpha_{НО}=10$ дБ)

| $U_{ОТР}, В$ | $P_{ДЕТ}, мкВт$ | $\alpha_{АТ}, дБ$ | $\alpha_\Sigma = \alpha_{НО} + \alpha_{АТ}, дБ$ | $P_K, мкВт$ | $f, ГГц$ |
|--------------|-----------------|-------------------|---|-------------|----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

3. По данным таблицы 2 построить зоны генерации клистроном $P_K=f(U_{ОТР})$ и зависимости $\Delta f=\varphi(U_{ОТР})$, где $\Delta f=f-f_0$, а f_0 – средняя частота диапазона, равная $0.5(f_{макс} + f_{мин})$ в данной зоне генерации.

Для каждой зоны генерации определить крутизну электронной настройки $S_{эл}=\Delta f/\Delta U_{отр.}$, МГц/В и диапазон электронной настройки $2\Delta f_{эл}$ -изменение частоты колебания при изменении напряжения на отражателе клистроном.

Приложение

Примеры заполнения таблиц и построения графиков.

Таблица П.1 – Зависимость $P_K = f(U_0)$ ($U_{\text{отр}} = 60\text{В}$, $\alpha_{\text{НО}} = 10\text{дБ}$)

| $U_0, \text{В}$ | $P_{\text{ДЕТ}}, \text{мкВт}$ | $\alpha_{\text{АТ}}, \text{дБ}$ | $\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\text{НО}} + \alpha_{\text{АТ}}, \text{дБ}$ | $P_K, \text{мкВт}$ |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|--|--------------------|
| 75 | 1 | 0 | 10 | 10 |
| 80 | 3 | 0 | 10 | 30 |
| 85 | 2,5 | 0 | 10 | 25 |
| 90 | 1 | 0 | 10 | 10 |
| 95 | 0,5 | 0 | 10 | 5 |
| 100 | 3,5 | 0 | 10 | 35 |
| 110 | 10 | 0 | 10 | 100 |
| 120 | 13 | 0 | 10 | 130 |
| 130 | 17 | 0 | 10 | 170 |
| 140 | 16,5 | 0 | 10 | 165 |
| 150 | 10 | 0 | 10 | 100 |
| 160 | 2,5 | 0 | 10 | 25 |
| 165 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| 170 | 5 | 0 | 10 | 50 |
| 180 | 25 | 0 | 10 | 250 |
| 190 | 44,5 | 0 | 10 | 445 |
| 200 | 59 | 0 | 10 | 590 |
| 210 | 69 | 0 | 10 | 690 |
| 220 | 60 | 0 | 10 | 600 |
| 230 | 45 | 0 | 10 | 450 |
| 240 | 30 | 0 | 10 | 300 |
| 250 | 16,5 | 0 | 10 | 165 |
| 260 | 0 | 0 | 10 | 0 |

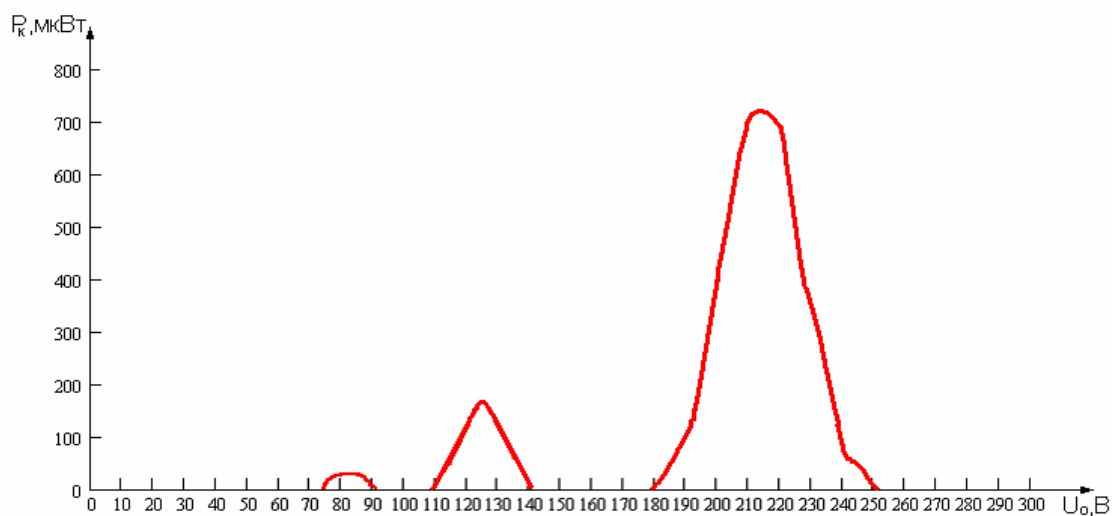


Рисунок П.1. Зависимость $P_K = f(U_0)$

Таблица П.2 – Зависимости $P_K = f(U_{OTP}), f = \varphi(U_{OTP})$ ($U_0 = 200B, \alpha_{HO}=10$ дБ)

| $U_{отр}, B$ | $P_{ДЕТ}, мкВт$ | $\alpha_{АТ}, дБ$ | $\alpha_{\Sigma} = \alpha_{НО} + \alpha_{АТ}, дБ$ | $P_K, мкВт$ | $f, ГГц$ | $\Delta f, ГГц$ |
|--------------|-----------------|-------------------|---|-------------|----------|-----------------|
| 30 | 0,5 | 10 | 20 | 50 | 11,087 | 0.1165 |
| 35 | 11 | 10 | 20 | 1100 | 11,170 | 0.0335 |
| 40 | 9 | 10 | 20 | 900 | 11,265 | -0.0615 |
| 45 | 0,5 | 10 | 20 | 50 | 11,320 | -0.1165 |
| 50 | 0 | 10 | 20 | 0 | | |
| 55 | 15 | 10 | 20 | 1500 | 11,117 | 0.153 |
| 60 | 31 | 10 | 20 | 3100 | 11,162 | 0.108 |
| 65 | 18 | 10 | 20 | 1800 | 11,270 | -0.100 |
| 70 | 10 | 10 | 20 | 1000 | 11,423 | -0.153 |
| 80 | 0 | 10 | 20 | 0 | | |
| 95 | 3 | 10 | 20 | 300 | 11,056 | 0.092 |
| 100 | 12 | 10 | 20 | 1200 | 11,065 | 0.083 |
| 105 | 25 | 10 | 20 | 2500 | 11,098 | 0.05 |
| 110 | 42 | 10 | 20 | 4200 | 11,136 | 0.012 |
| 115 | 46 | 10 | 20 | 4600 | 11,173 | -0.025 |
| 120 | 40 | 10 | 20 | 4000 | 11,210 | -0.062 |
| 125 | 23 | 10 | 20 | 2300 | 11,240 | -0.092 |

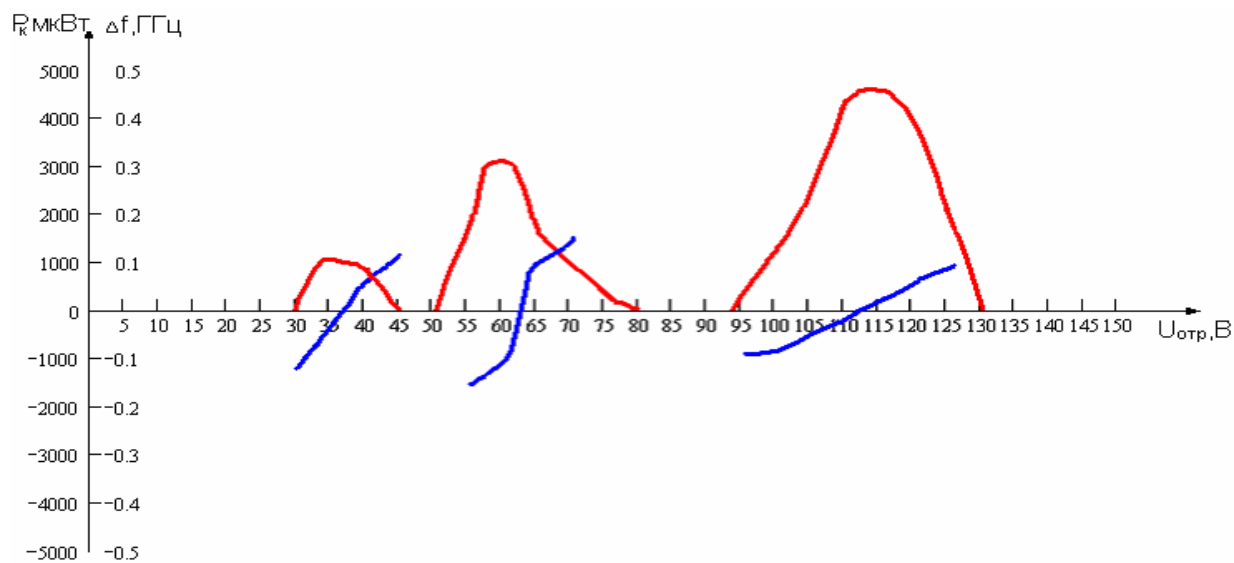


Рисунок П.2. Зависимости $P_K = f(U_{OTP}), f = \varphi(U_{OTP})$