



**Кафедра Сверхвысокочастотной
и Квантовой Радиотехники**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

Руководство к лабораторной работе по дисциплинам
“Микроволновые приборы и устройства”, “Электронные СВЧ и
квантовые приборы” “Основы СВЧ электроники”
для специальности 210105 (200300) – «Электронные приборы и устройства»,
210100 -«Электроника и микроэлектроника»,
210302 – «Радиотехника»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой
радиотехники (СВЧиКР)

УТВЕРЖДАЮ
заведующий кафедрой
_____С.Н.Шарангович

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

Руководство к лабораторной работе по дисциплинам
“Микроволновые приборы и устройства”, “Электронные СВЧ и
квантовые приборы” “Основы СВЧ электроники”
для специальности 210105 (200300) – «Электронные приборы и устройства»,
210100 -«Электроника и микроэлектроника»,
210302 – «Радиотехника»

Разработчик
доц. каф.СВЧиКР
Ж.М.Соколова
доц. каф. СВЧ и КР
Е.В .Падусова

СОДЕРЖАНИЕ

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	4
2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ.....	4
2.1. Принцип работы и условие возбуждения. Зоны генерации.....	4
2.2. Выходная мощность клистрона, коэффициент полезного действия, пусковой ток.....	10
2.3 Электронная настройка клистрона	12
3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	15
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ЗАДАНИЕ	17
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	19
6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА	20
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	20

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение физических процессов, происходящих в отражательном клистроне.

Изучение экспериментальной схемы для исследования отражательного клистрона.

Экспериментальное снятие зависимостей мощности и частоты от напряжений на электродах клистрона. Определение величины пускового и рабочего токов.

2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

2.1. Принцип работы и условие возбуждения. Зоны генерации.

Отражательный клистрон представляет собой маломощный генератор колебаний сверхвысоких частот [1,2]. Благодаря ряду достоинств (простота конструкции и эксплуатации, малый вес и габариты, возможность механической и электронной перестройки), отражательный клистрон получил широкое распространение в аппаратуре СВЧ диапазона, в частности, в качестве гетеродинов радиолокационных приемников. Схема устройства отражательного клистрона показана на рис.1. Оксидный катод косвенного накала К помещен внутри полого цилиндра У, служащего для регулировки силы тока пучка и для его фокусировки. В зависимости от необходимой силы тока пучка на этот электрод подается отрицательное или положительное напряжение. Ускоряющее напряжение U_0 подается на сделанный в виде сетки ускоряющий электрод А, связанный с резонатором; в некоторых конструкциях специального ускоряющего электрода не делают и напряжение прикладывает непосредственно к резонатору. Схема статического распределения потенциала в междуэлектродном пространстве приведена на рис.2. Резонатор выполняет функции колебательной системы генератора и обычно имеет вид тороида. Центральная часть резонатора выполняется в виде зазора с сетками или дисков с отверстиями. Благодаря такой конструкции резонатора электрическое высокочастотное поле преимущественно сконцентрировано в зазоре резонатора, зазор является емкостью колебательного контура.

Электронный поток, ускоряясь, полем в пространстве катод-резонатор, достигает емкостного зазора резонатора и подвергается кратковременному действию электрического высокочастотного поля.

После выхода из резонатора, электронный поток оказывается промодулированным по скорости. За резонатором на расстоянии D от сеток расположен отражательный электрод R .

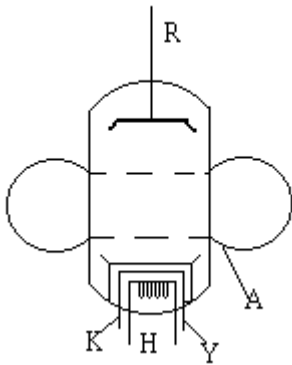


Рис.1.

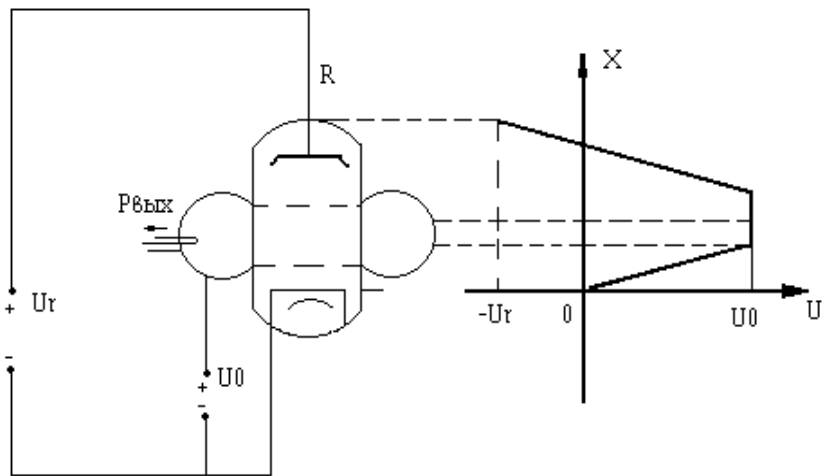


Рис.2.

На этот электрод подается достаточно большое отрицательное, относительно катода, напряжение U_R вследствие чего между резонатором и отражателем создается тормозящее электрическое поле.

Под действием тормозящего поля электроны останавливаются, не доходя до отражателя, возвращаются обратно ("отражаются") в резонатор, причем, так как электроны имеют различные скорости и различные фазы выхода из резонатора и пролета, то при движении к отражателю и обратно происходит их группировка.

При правильном выборе напряжения U_R электроны возвращаются в резонатор уплотненными группами в те моменты времени, когда переменное поле резонатора является для них тормозящим. Вследствие этого электроны отдают часть своей кинетической энергии полю, за счет чего в резонаторе поддерживаются незатухающие высокочастотные колебания. Отдавшие энергию электроны, попадают на резонатор.

Рассмотрим процесс группирования в отражательном клистроне, воспользовавшись пространственно-временными диаграммами, рис.2.3. В нижней части рисунка показано синусоидальное напряжение на сетках резонатора $U_1 = U_{m1} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

В положительные полупериоды переменное поле между сетками резонатора ускоряет электроны, движущиеся от катода к отражателю,

и тормозит электроны, возвращающиеся от отражателя в резонатор. Во время отрицательных полупериодов действие поля будет обратным - замедляющим для электронов, идущих от катода, и ускоряющим для возвращающихся от отражателя электронов.

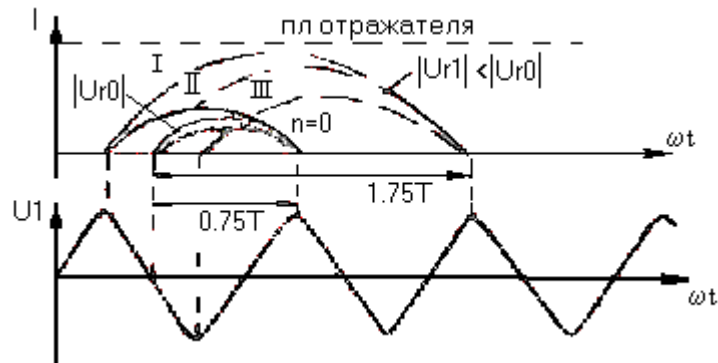


Рис.3. Графики движения электронов в пространстве резонатор - отражатель

В верхней части рис.3 даны графики движения $r=\psi(t)$ в пространстве между резонатором и отражателем для электронов, вылетающих из резонатора в различные моменты времени.

Электрон, пролетающий через резонатор при наибольшем ускоряющем напряжении на его сетках, будет иметь наибольшую скорость V_{\max} и сможет глубоко проникнуть в тормозящее поле отражателя (кривая I, рис.3).

Заторможенный вблизи отражателя этот электрон вернется обратно в резонатор, причем, на его движение к отражателю и обратно потребуется наибольшее по сравнению с другими электронами время. Электрон, пролетающий через резонатор в тот момент, когда напряжение на сетках резонатора проходит через нуль, изменяясь от положительных значений к отрицательным, выйдет из резонатора с неизменной скоростью V_0 и пройдет в тормозящем поле меньший путь (кривая II).

Наименьшее расстояние от резонатора до отражателя (кривая III) будет проходить электрон, пролетающий через резонатор при максимальном отрицательном значении поля и имеющий наименьшую скорость V_{\min} . Но этот электрон находится в пути меньше время. Возвращаться в резонатор электроны будут все вместе, как показано на рис. 3.

Таким образом, группировка электронов в отражательном клистроне происходит вокруг электронов, пролетавших резонатор при нулевом значении переменного поля в резонаторе, при изменении

его с ускоряющего на тормозящее. Возвращающиеся группы электронов должны входить в резонатор при наибольшем тормозящем поле резонатора (рис.3).

¹Среднее время пролета электронов в отражательном клистроне от резонатора до отражателя и обратно должно равняться целому числу периодов переменного напряжения резонатора плюс 0,75 периода:

$$\tau_{np} = T \cdot (n + 0.75) \quad (2.1)$$

где $n=0, 1, 2$

Пользуясь формулой (2.1), можно определить, при каких напряжениях на электродах отражательного клистрона возможно возбуждение колебаний. Для этого необходимо найти время пролета электронов в зависимости от ускоряющего напряжения U_0 и напряжения отражателя U_R .

Найдем это время для электронов, являющихся центрами групп, предполагая тормозящее поле между резонатором и отражателем однородным. Так как разность потенциалов между резонатором и отражателем равна $U_0 + |U_R|$, то напряженность тормозящего поля будет

$$E = \frac{1}{D} \cdot (U_0 + |U_R|) \quad (2.2)$$

Электрон, движущийся вдоль силовых линий этого поля, будет испытывать ускорение, равное частному от деления силы, действующей на электрон, на массу электрона, т.е.

$$a = \frac{e}{m} \cdot E \quad (2.3)$$

Так как электрон начинает свое движение со скоростью

$$V_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot e}{m} \cdot U_0},$$

то путь его будет равен

$$S = V_0 \cdot \tau_{np} + 0.5 \cdot a \cdot \tau_{np}^2$$

В результате движения от резонатора к отражателю и обратно, пройденный электроном путь равен нулю.

$$V_0 \cdot \tau_{np} + 0.5 \cdot a \cdot \tau_{np}^2 = 0$$

Откуда находим τ_{np} для двух значений:

- 1) $\tau_{np}=0$ - для электронов, которые ещё не начинали своего движения;
- 2) $\tau_{np} = \frac{2 \cdot V_0}{a}$ - для электронов, вернувшихся в резонатор.

Подставляя во второе решение выражения (2.2) и (2.3), найдем время пролета электронов от резонатора к отражателю и обратно.

$$\tau_{np} = \frac{2 \cdot V_0 \cdot m}{e \cdot E} = 6,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{D \cdot \sqrt{U_0}}{U_0 + |U_R|} \quad (2.4)$$

Угол пролета электронов будет равен

$$\Theta = \omega \cdot \tau_{np} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^3}{\lambda} \cdot \frac{D \cdot \sqrt{U_0}}{U_0 + |U_R|} \quad (2.5)$$

Здесь λ - длина волны в сантиметрах.

Так как из формулы (2.1) угол пролета должен равняться

$$\Theta = \omega \cdot T \cdot (n + 0.75) = 2\pi (n + 0.75) \quad (2.6)$$

то, приравнивая формулы (2.5) и (2.6), получим

$$\frac{4\pi \cdot 10^3 \cdot D \sqrt{U_0}}{\lambda \cdot (U_0 + |U_R|)} = 2\pi (n + 0.75) \quad (2.7)$$

или

$$|U_R| = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot D}{(n + 0.75) \cdot \lambda} \cdot \sqrt{U_0} - U_0 \quad (2.7a)$$

Формула (2.7) определяет условие возбуждения колебаний в отражательном клистроне. Видно, что в клистроне при известных D и λ колебания будут возбуждаться не при любых значениях U_0 и U_R , а лишь при тех, которые удовлетворяют формуле при $n = 1, 2, 3, \dots$ Можно построить в координатах U_0 , U_R области, называемые зонами возбуждения, используя соотношение (2.7a) для различных значений n . Области возбуждения объясняются тем, что сгусток электронов необязательно должен подходить к зазору, когда поле в нем будет максимально тормозящим. Чтобы в резонаторе поддерживались незатухающие колебания, достаточно, чтобы в среднем за период энергия, теряемая в стенках резонатора и в нагрузки, восполнялась энергией, отдаваемой полю СВЧ электронами при торможении. Очевидно, что это может иметь место и при

некотором отклонении угла Θ в пространстве торможения от оптимального значения (2.6) на величину $\pm 0.25 \cdot 2\pi$. Тогда верхняя и нижняя границы зоны возбуждения будут определяться формулами

$$|U_R|_{\text{верх}} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot D}{(n+0.5) \cdot \lambda} \cdot \sqrt{U_0} - U_0 \quad (2.7\text{в})$$

$$|U_R|_{\text{нижн}} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot D}{(n+1) \cdot \lambda} \cdot \sqrt{U_0} - U_0$$

Кроме зон возбуждения в отражательном клистроне существуют зоны генерации (зависимости колебательной мощности от напряжения), которые могут быть установлены или одновременным подбором напряжений U_0 и U_R или изменением какого-либо одного из этих напряжений при другом напряжении постоянном. На практике чаще пользуются изменением отрицательного напряжения на отражателе U_R , так как в цепи отражателя почти не потребляется мощность. На рис.4 показана типичная зависимость колебательной мощности от напряжения отражателя при $U_0 = \text{Const}$.

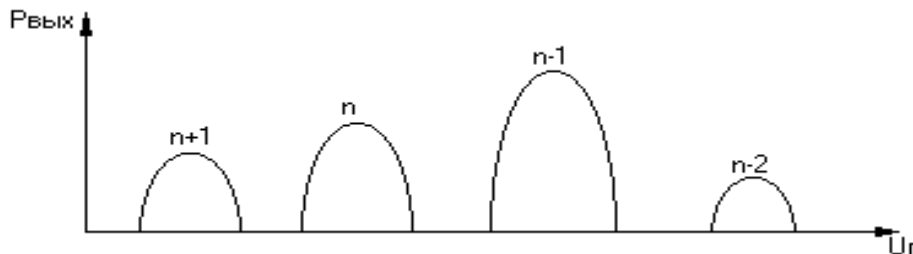


Рис.4. Зависимости колебательной мощности от напряжения отражателя при $U_0 = \text{const}$ - зоны генерации.

В рабочих режимах существующих конструкций отражательных клистронов n может принимать значения от 5 до 10.

В таблице 2.1 приведены данные некоторых отражательных клистронов.

Таблица 2.1

Параметры некоторых отечественных отражательных клистронов.

Тип	Рабочий Диапазон λ , см	Расстояние резонатор - отражатель D , мм	Размер зазора резонатора d , мм	Ускоряющее напряжение U_0 , В	Напряжение на отражателе U_R , В	Ток прибора $J_{\text{раб}}$, мА
К-19	3.15-3.27	2.37	0.4	150-300	-(10-400)	26
К-20	3.13-3.50	2.24	0.44	150-300	-(10-400)	23
К-54	3.15-3.32	2.0	0.2	150-300	-(10-400)	30
К-72	3.12-3.50	2.20	0.25	150-300	-(10-400)	30

2.2. Выходная мощность клистрона, коэффициент полезного действия, пусковой ток.

Как показывает анализ [3], выходная мощность клистрона при оптимальных углах пролета равна

$$P_{\text{вых}} = \frac{K \cdot J_0 \cdot U_0}{\Theta} \cdot \left[2 \cdot \mathfrak{K} \cdot \mathfrak{Z}_1(\mathfrak{K}) - \frac{G_p}{G_0} \cdot \mathfrak{K}^2 \right] \quad (2.8)$$

где $\mathfrak{K} = \frac{M \cdot U_{m1} \cdot \Theta}{2 \cdot U_0}$ - параметр группировки;

$\mathfrak{Z}_1(\mathfrak{K})$ - функция Бесселя первого рода и первого порядка;

$\Theta = \Theta_1 - \Theta_2$ - разность углов пролета в пространстве тормозящего поля и в пространстве между сетками резонатора;

G_p - активная проводимость резонатора;

$G_0 = \frac{K \cdot M^2 \cdot J_0 \cdot \Theta}{2 \cdot U_0}$ - предельная проводимость электронного потока

M - коэффициент взаимодействия высокочастотного зазора с электронным потоком;

K - коэффициент прозрачности сетки, имеющий значения 0,5 - 0,85.

Для возникновения колебаний в клистроне необходимо, чтобы в

(2.8) величина $2 \cdot \kappa \cdot \mathfrak{Z}_1(\kappa)$ была больше $\frac{G_p}{G_0} \cdot \kappa^2$.

Это условие начинает выполняться при некотором значении тока $J_{0\text{пуск}}$, которое может быть названо пусковым:

$$J_{0\text{пуск}} = \frac{U_0 \cdot G_p}{M^2 \cdot \pi \cdot (n + 0.75)}$$

На рисунке 5 изображена зависимость выходной мощности клистрона от тока пучка для различных зон генерации.

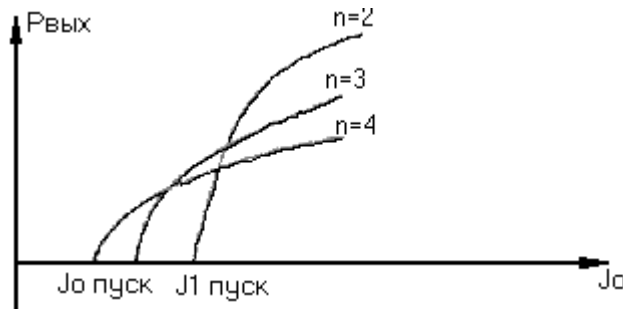


Рис.5. Зависимости выходной мощности клистрона от тока пучка

Для определения максимально возможной мощности и КПД клистрона формула (2.8) можно придать иной вид

$$P_{\text{вых}} = M \cdot K \cdot J_0 \cdot U_{m1} \cdot \mathfrak{Z}_1(\kappa) - 0.5 \cdot G_p \cdot U_{m1}^2 \quad (2.9)$$

Возможную максимальную мощность клистрона можно найти на условия

$$\frac{\partial P_{\text{вых}}}{\partial \Theta} = 0 \quad \text{при} \quad U_{m1} = \text{const} ,$$

что дает

$$\frac{\partial \mathfrak{Z}_1(\kappa)}{\partial \Theta} = 0 \quad \text{или} \quad \mathfrak{Z}_1(\kappa) = \text{max} ,$$

откуда $\kappa = 1.84$ - есть параметр группировки, при котором выходная мощность клистрона максимальна. Можно также показать [3], что оптимальная величина $G_p/G_0 = 0.317$.

При $G_p/G_0 = 0.317$ и $\kappa = 1.84$ из (2.8) с учетом (2.6) получаем значение наибольшей выходной мощности клистрона в виде

$$P_{\text{выхMAX}} = \frac{K \cdot J_0 \cdot U_0}{\Theta} = \frac{K \cdot J_0 \cdot U_0}{2\pi(n + 0.75)} \quad (2.10)$$

Формула (2.10) показывает, что выходная мощность клистрона растет с уменьшением номера зоны генерации и при $n = 0$ должна быть максимальна. В действительности этого не наблюдается. Максимум выходной мощности достигается при $n > 0$ (рис.4). Это объясняется тем, что хотя колебательное напряжение U_{m1} и растет с ростом выходной мощности, но потери в резонаторе растут пропорционально U_{m1}^2 (рис.6) и поэтому максимум будет при некотором промежуточном значении U_{m1np} , для которого номер зоны n отличен от нуля.

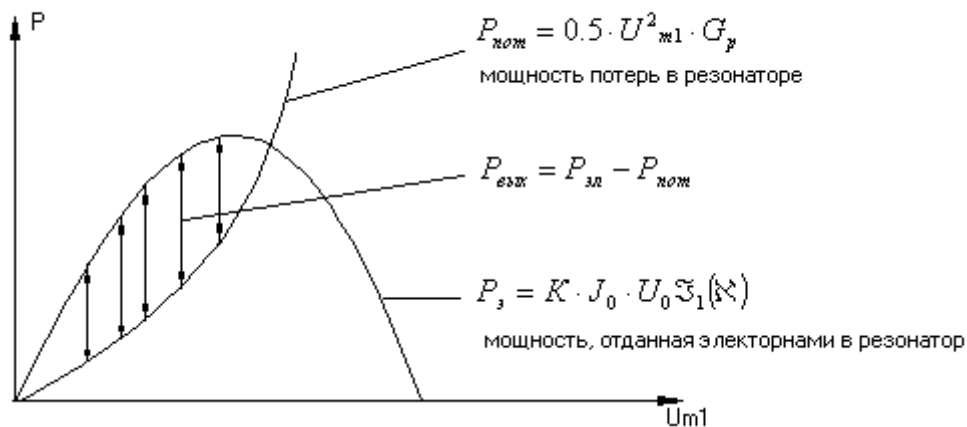


Рис.6. Баланс мощностей в отражательном клистроне

Из (2.10) максимальный коэффициент полезного действия получается равным

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\text{выхMAX}}}{J_0 \cdot U_0} = \frac{K}{2\pi(n+0.75)}$$

Учитывая, что для клистронов (табл.2.1.) коэффициент прозрачности сеток $K=0,5$, получим для КПД при оптимальной мощности в зоне следующие значения

Номер зоны	1	2	3	4
η_{\max}	4.5%	3%	2%	1.5%

2.3 Электронная настройка клистрона

Одним из важнейших параметров отражательных клистронов является зависимость частоты генерируемых колебаний от напряжений на его электродах, называемая электронной настройкой.

Эта зависимость обусловлена тем, что наводимый ток в резонаторе (колебательный ток) может иметь сдвиг по фазе относительно напряжения резонатора, следовательно, может иметь реактивную составляющую, за счет которой изменяются реактивные свойства резонатора клистрона и его резонансная частота. Фаза колебательного тока определяется углом пролета в пролетном пространстве. Когда угол пролета электронов равен $2\pi(n + 0,75)$, то наведенный ток и переменное напряжение резонатора совпадают по фазе, реактивная составляющая колебательного тока равна нулю и частота колебаний в резонаторе, f_0 , определяется только параметрами контура L_0, C_0 . Если изменять напряжение отражателя U_R или резонатора U_0 в небольших пределах, то угол пролета Θ перестает быть равным $2\pi(n + 0,75)$. В этом случае наводимый в резонаторе ток и переменное напряжение на резонаторе не совпадают по фазе, вследствие чего в резонатор будет вноситься добавочная емкостная или индуктивная проводимость $B_{эл}$. Это приведет к изменению частоты клистронного генератора. Связь между частотой автоколебаний, параметрами резонатора и пучка выражается формулой

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{B_{эл}}{2 \cdot G_{эл} \cdot Q_n} \right) \quad (2.11)$$

Для практических целей удобно выразить зависимость частоты генерируемых колебаний от одного из постоянных напряжений, приложенных к электродам клистрона $f = \phi(U_0)$ или $f = \psi(U_R)$. Производить изменение частоты клистрона путем изменения напряжения на резонаторе нецелесообразно, так как в цепи резонатора протекает большой ток. Управление частотой клистрона путем изменения напряжения на отражателе представляет больший интерес, так как при высоком напряжении U_R ток в цепи отражателя практически равен нулю.

После замены $\frac{B_{эл}}{G_{эл}}$, формуле (2.11) можно придать вид

$$f = f_0 \left\{ 1 - \frac{1}{Q_n} \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{2\pi \cdot (n + 0.75)}{U_0 + |U_R|} \Delta U_R \right] \right\} \quad (2.12)$$

здесь ΔU_R - изменение напряжения на отражателе относительно напряжения, соответствующего центру зоны генерации - U_R . Из уравнения (2.12) следует, что частота колебаний в пределах зоны генерации изменяется по закону тангенсоиды (рис.7).

Важными параметрами характеристики электронной настройки являются: **крутизна и диапазон** электронной настройки. Под крутизной электронной настройки понимают изменений частоты генератора при изменении напряжения на отражателе на $I \text{ В}$ в пределах линейного участка А-Б характеристики (рис.7).

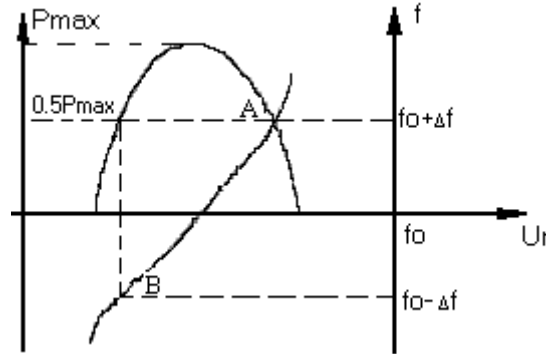


Рис.7. Характеристики выходной мощности и электронной настройки

Крутизна электронной настройки связана с добротностью нагруженного резонатора и напряжениями на электродах клистрона соотношением

$$\frac{\partial f}{\partial U_R} = f_0 \cdot \frac{\pi \cdot (n + 0.75)}{Q_H (U_0 + |U_R|)} \quad (2.13)$$

формула (2.13) получается из выражения (2.12) заменой $tg\beta$ аргументом β , что возможно при значениях $\beta \leq \frac{\pi}{9}$. В пределах линейного участка тангенсоиды это выполняется хорошо.

Под **диапазоном** электронной настройки понимают ширину зоны генерации в МГц на уровне половинной мощности, т. е. на линейном участке характеристики электронной настройки. Режим работы отражательного клистрона очень сильно зависит от связи резонатора клистрона с нагрузкой.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема лабораторной установки приведена на рис.8. Исследуется клистрон (К-20), основные данные которого приведены выше в табл.2.1.

Установка состоит из блока генератора и блока питания. В блоке

генератора находятся: исследуемый клистрон - У1 в термостате, элементы его настройки (Э1, Э2), направленный ответвитель - Э3, аттенюатор - Э4, частотомер - У5, детекторная секция-У2. Описание работы отдельных элементов СВЧ тракта предложены в [4].

Регулировка величины высокочастотной мощности, отдаваемой клистроном, осуществляется изменением степени погружения высокочастотного вывода в волновод (Э1) – связь с нагрузкой.

Изменение частоты клистрона в значительных пределах осуществляется посредством изменения размера зазора резонатора. Это действие осуществляется ручкой с надписью - ЧАСТОТА, выведенной на панель блока генератора.

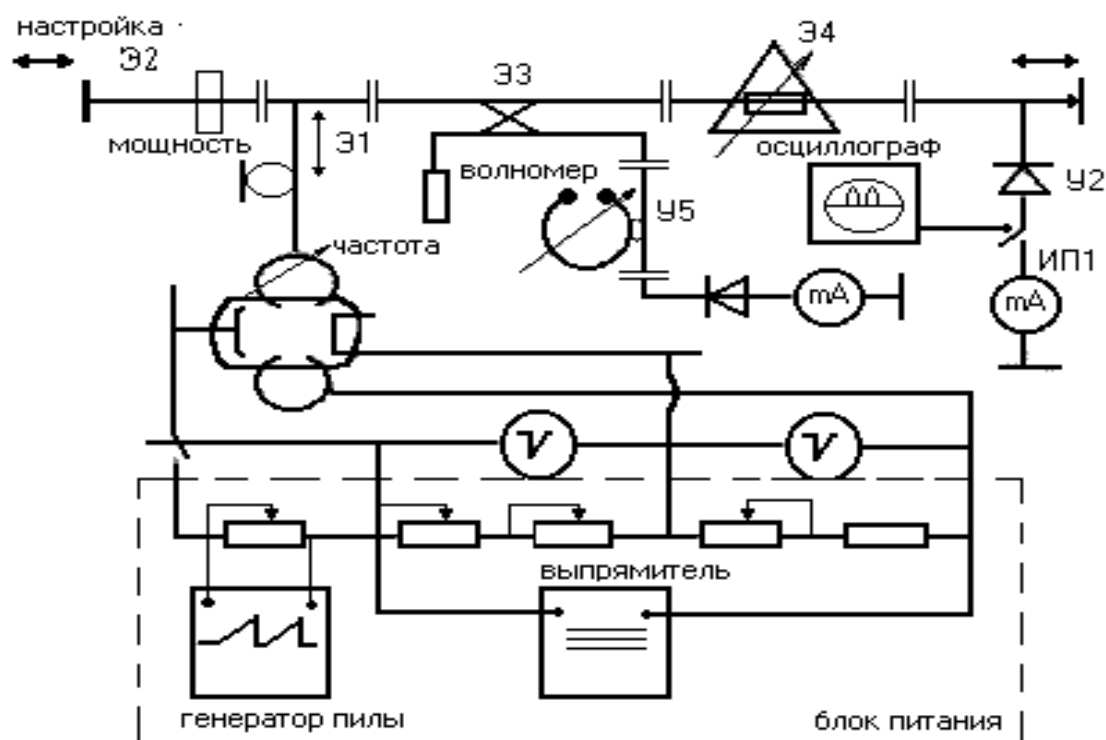


Рис .8 Схема лабораторной установки

Перемещением коротко замыкающего поршня в генераторной секции СВЧ тракта (ручка НАСТРОЙКА) осуществляется дополнительная подстройка клистрона, посредством регулировки фазы отраженной от поршня волны.

Поданная в волновод мощность через регулируемый аттенюатор Э4 поступает на детекторную секцию - У2 для измерения. Индикация частотного резонанса производится по минимуму показания микроамперметра - ИП1, связанного с детекторной головкой У2. Объясняется это тем, что в момент резонанса часть энергии из тракта поступает на частотомер, а на детекторе, соответственно,

уменьшается. На частотомере фиксируется резонанс в значениях α дел. Абсолютное значение частоты определяется с помощью градуировочного графика (рис.9).

В блоке питания находится выпрямитель, с которого подается напряжение на электроды клистрона; схема, осуществляющая модуляцию напряжения на отражателе; микроамперметр для измерения тока клистрона. Напряжения на отражателе клистрона и резонаторе измеряются вольтметрами, выведенными отдельно. Кроме отрицательного постоянного напряжения в положении ВКЛ. МОДУЛЯТОР на отражатель клистрона подается пилообразное напряжение, а в положении ВЫКЛ. МОДУЛЯТОР на отражателе имеется только постоянное напряжение. Амплитуда пилообразного напряжения регулируется с помощью потенциометра.

Ручка регулировки вынесена на переднюю панель блока питания с надписью ГЛУБИНА МОДУЛЯЦИИ. При подаче на отражатель клистрона пилообразного и постоянного напряжения возникает генерация клистрона, когда сумма мгновенного значения пилообразного напряжения и отрицательного постоянного напряжения оказывается равной напряжению в пределах зоны генерации. Напряжение, подаваемое с детектора У2, просматривается на экране осциллографа и, так как характеристика детектора при малых напряжениях практически квадратичная, изображение на экране осциллографа представляет собой зависимость мощности клистрона $P_{\text{вых}}$ от модуля напряжения на отражателе $|U_R|$

Изменяя амплитуду пилообразного напряжения (ручка ГЛУБИНА МОДУЛЯЦИИ), можно изменять число наблюдаемых зон генерации, и используя регулировку НАПРЯЖЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЯ исследовать каждую зону в отдельности. При настройке волномера в резонанс на видео зоны генерации появляется провал, соответствующий частоте настройки волномера.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ЗАДАНИЕ

4.1. Ознакомиться со схемой установки и устройством клистрона (К-20). Ознакомиться с аппаратурой, служащей для измерения длины волны, генерируемой мощности, а также с другими элементами высокочастотного тракта.

4.2. Рассчитать и построить по соотношению (2.7в) три зоны возбуждения. Воспользоваться для этого (табл.2.1) паспортными значениями для исследуемого клистрона: длиной волны из указанного диапазона, геометрическими размерами. Расчет провести, изменяя ускоряющее напряжение резонатора от $0,5U_0$ до U_0 , где U_0 - рабочее напряжение на резонаторе задается преподавателем. Номера зон n , для которых следует проводить расчет, определяются исходя из рабочего напряжения U_0 и предельно допустимого напряжения на отражателе (формула 2.7, табл. 2.1). (Номер зоны брать не менее 5).

4.3. Включить с разрешения преподавателя блок питания клистрона. Для этого вывести полностью аттенуатор А и ВЫКЛ. МОДУЛЯТОР. Включить тумблер СЕТЬ. Прогреть 5 мин. и подать высокое напряжение U_c, U_R

4.4. Снять зависимости генерируемой мощности от потенциала отражателя для всех зон генерации при 2-х значениях напряжения

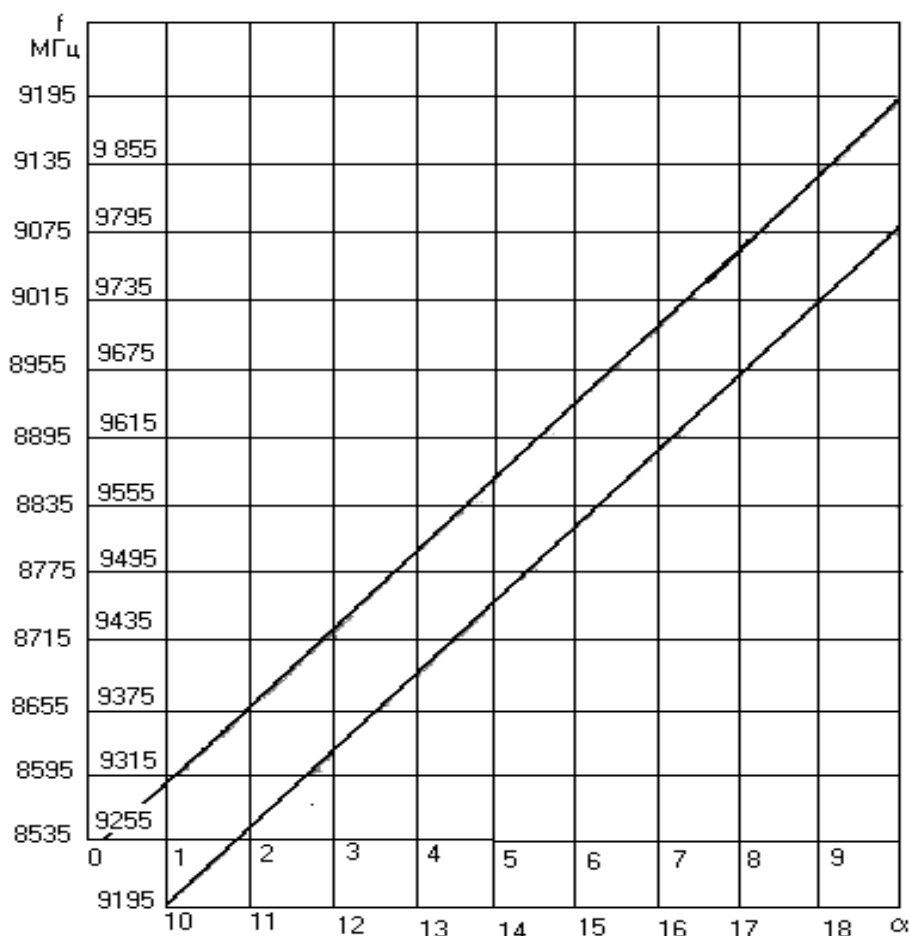


Рис.9. Градуировочный график частотомера

резонатора (напряжение на резонаторе U_0 рекомендуется выбирать в пределах 200-300 В). Отсчет мощности вести в относительных единицах по микроамперметру, соединенному с кристаллическим детектором $J_{дет} \approx P_{вых}$. Снятие точек производить в пределах областей генерации возможно чаще. Точно зафиксировать значения U_R , соответствующие центрам зон генерации, так как они, будут использованы в следующем пункте, а также началу и концу каждой зоны генерации.

4.5. Определить номера зон генерации, снятых в п. 4.4. Для этого следует воспользоваться формулой (2.7), преобразовав её к следующему виду

$$(n + 0.75) \cdot (U_0 + |U_{R1}|) = [(n - 1) + 0.75] \cdot (U_0 + |U_{R2}|)$$

$|U_{R1}| < |U_{R2}|$. Зоне с номером n соответствует напряжение на отражателе U_{R1} (напряжение в центре зоны).

4.6. Выбрав самую широкую по значениям U_R зону генерации, снять зависимость частоты от напряжения отражателя, построить график $f = \psi(U_R)$. Определить величину крутизны экспериментальной зависимости электронной настройки. Пользуясь формулой (2.13), определить нагруженную добротность клистрона, рассчитать и построить теоретическую кривую электронной настройки по формуле (2.12). Сравнить экспериментальную и теоретическую кривые, сделать выводы.

Определить диапазон электронной настройки, для чего необходимо измерить частоту клистрона в точках зон Δf соответствующих $0.5P_{max}$.

4.7. Измерить диапазон механической перестройки частоты клистрона. Для этого, поставить ручку ЧАСТОТЫ в два крайних положения, получить зону генерации, замерить частоту в центре зоны генерации с помощью частотомера.

4.8. Определить величину пускового и рабочего токов для различных зон генерации клистрона. Для этого установить напряжение на резонаторе U_0 (200 В, 250 В, 300 В) и напряжением на отражателе получить максимум мощности в зоне генерации.

Измерить рабочий ток. Затем напряжением U_0 вывести мощность на край зоны (момента исчезновения тока детектора при наличии генерации), снять показания для пускового тока. Пользоваться прибором, регистрирующим ток резонатора в блоке питания.

4.9. Получить осциллограммы зон генерации. Перевести переключатель П2 в положение ОСЦ. и подать напряжение с детектора на экран осциллографа. Регулировкой НАПРЯЖЕНИЙ ОТРАЖАТЕЛЯ и ГЛУБИНА МОДУЛЯЦИИ, просмотреть на экране осциллографа и снять эпюры зон генерации клистрона. Пункт 4.7 можно выполнять с помощью осциллографа.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Написать условие возникновения колебаний в отражательном клистроне.

5.2. От каких параметров зависит мощность, генерируемая клистроном?

5.3. Какова должна быть форма зон генерации клистрона?

5.4. Что подразумевается под электронной настройкой клистрона, какими параметрами она характеризуется, каков вид зависимости?

5.5. Как определяется диапазон электронной настройки?

5.6. Как определяется диапазон механической перестройки?

5.7. От чего зависит величина пускового тока клистрона?

5.8. На чем основан метод визуального наблюдения зон генерации клистрона?

5.9. Почему при изменении амплитуды модулирующего напряжения происходит изменение ширины наблюдаемых зон генерации и их количества?

5.10 Что такое зоны возбуждения?

5.11. Почему при настройке волномера в резонанс с генерируемой частотой наблюдается провал на кривой зоны генерации?

5.12. Как рассчитать номер зоны генерации?

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Цель работы, схема экспериментальной установки.
- 6.2. Таблица и графики рассчитанных зон возбуждения $U_R = \psi(U_0)$.
- 6.3. Таблицы и графики зависимостей зон генерации $P = \psi(U_R)$ при фиксированных напряжениях $U_0 = \text{const}$.
- 6.4. Таблицы и графики зависимостей электронной настройки (экспериментальной и теоретической).
- 6.5. По результатам пунктов 5, 6, 7 определить диапазон электронной и механической настройки и крутизну электронной настройки, значение нагруженной добротности Q_H .
- 6.6. Результаты измерения пускового и рабочего тока.
- 6.7. Результаты осциллографического исследования зон генерации при амплитудной модуляции.
- 6.8. Краткий анализ и выводы по результатам проделанной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова Ж.М. Микроволновые приборы и устройства.- Томск: Изд.-во ТМЦДО ТУСУР, 2009.-276с.
2. Электронные приборы СВЧ: Учеб. Пособие для вузов спец. "Электронные приборы"/ Березин В.М., Буряк В.С., Гутцайт Э.М., Марин В.П. –М.: Высш.шк , 1985. –296с.
3. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Т.П. - М.: Высшая школа, 1972.
4. Описание аппаратуры к лабораторным работам / Под ред. Соколовой Ж.М.–Томск, ТИАСУР, 1977, ротапринт