



**Кафедра Сверхвысокочастотной  
и Квантовой Радиотехники**

---

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ( ТУСУР )

## **Исследование лампы обратной волны типа - О**

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»

**2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ ( ТУСУР )

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой  
радиотехники ( СВЧ и КР )

УТВЕРЖДАЮ  
заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_С.Н.Шарангович

## **Исследование лампы обратной волны типа - О**

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

Разработчики  
Ж.М.Соколова , доц. каф.СВЧиКР  
А.Н. Никифоров, зав. лаб. каф.СВЧиКР

**2011**

## СОДЕРЖАНИЕ

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	4
2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ.....	5
2.1. Принцип действия ЛОВО.....	5
2.2. Самовозбуждение ЛОВО.....	6
2.3 Основные характеристики и параметры ЛОВ .....	8
3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	12
3.1 Домашнее расчетное задание.....	12..
3.2 Описание экспериментальной установки.....	12
3.3 Порядок выполнения работы и задание.....	14
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	17
5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	17
Приложение 1.....	17
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	18

## 1. Цель работы

1. Ознакомление с лампой обратной волны (ЛОВ О – типа), её параметрами, характеристиками и условиями эксплуатации.

1 Экспериментальное снятие основных характеристик мало мощного генератора СВЧ диапазона волн.

Объектом исследования является пакетированная лампа обратной волны типа – О, трех сантиметрового диапазона волн со встречно-штыревой замедляющей системой.

## 2. Общие вопросы теории

Лампа обратной волны (ЛОВ) является широкодиапазонным генератором СВЧ; обладающим электрической перестройкой частоты в пределах октавы и более [1, 2]. Технические параметры исследуемой лампы приведены в приложении 1. Элементы расчета ЛОВ содержатся в [3,4].

По устройству и принципу действия лампа обратной волны близка к лампе бегущей волны (ЛБВ). В ЛОВ (рис.1) так же, как и в ЛБВ, имеются: электронная пушка, (содержащая катод, фокусирующий электрод, первый анод и ускоряющий электрод или второй анод), замедляющая система и коллектор.

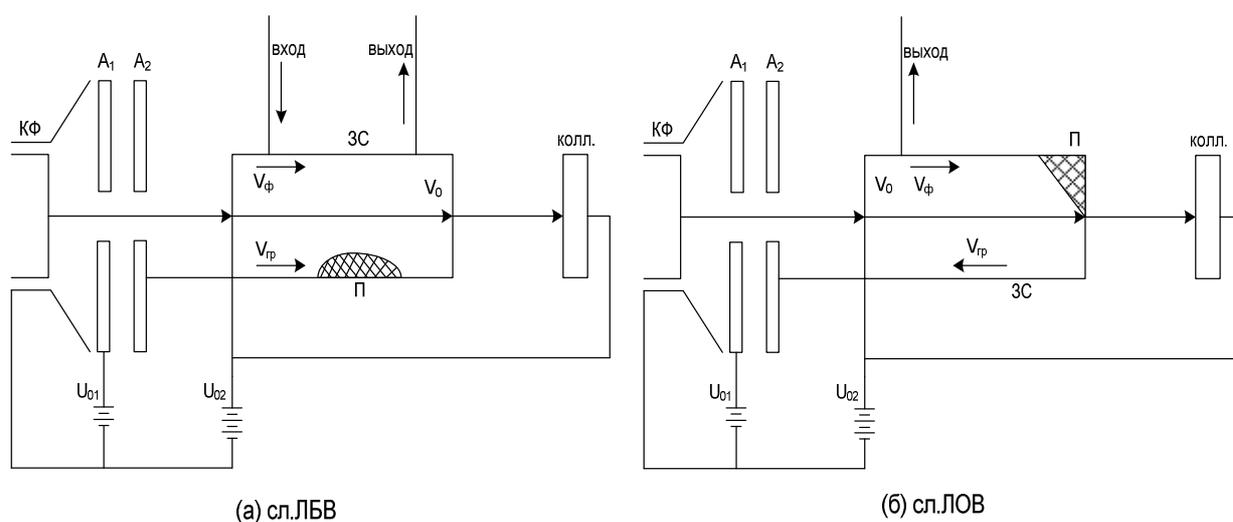


Рис. 1 К сравнению схем устройства ЛБВ(а) и ЛОВ(б). КФ- катод с фокусирующим электродом;  $A_1$  и  $A_2$  – первый и второй аноды; ЗС- замедляющая система; Колл.- коллектор; П- поглотитель.

**2.1. Принцип действия ЛОВО** состоит в следующем: электронная пушка, создаёт пучок электронов, движущийся к коллектору со скоростью

$v_0$ . Заданное сечение пучка сохраняется постоянным магнитным полем фокусирующей системы. Электронный поток создает в замедляющей системе наведенный ток и электромагнитное поле пространственных гармоник. На одной из пространственных гармоник  $m$ , для которой выполнено условие фазового синхронизма ( $v_{\phi m} < v_0$ ), начинается взаимодействие электронного потока с полем волны. В отличие от ЛБВО, в ЛОВО направления фазовой и групповой скоростей волны в ЗС противоположны. При взаимодействии с волной электроны группируются в тормозящем поле волны, движутся к коллектору, к концу замедляющей системы, а энергия электромагнитной волны - им навстречу, к началу замедляющей системы, где расположен выход энергии. При этом, между полем волны и электронным потоком возникает положительная обратная связь, когда волна, отдавая часть своей энергии на группировку электронов, приобретает большее её количество за счет взаимодействия с более сгруппированным электронным потоком. Как в любом автогенераторе, в ЛОВО устанавливаются колебания амплитуды, определяемой балансом мощностей. В ЛОВО используются замедляющие системы типа встречные штыри, в которых основной обратной пространственной гармоникой является минус первая. Вследствие трудностей широкополосного согласования волноводного вывода энергии с замедляющей системой ЛОВО возможны отражения, что приводит к неравномерностям выходной мощности. Для устранения этого эффекта в ЛОВО применяют поглотитель, располагаемый у коллектора.

Отличие между используемыми замедляющими системами *ЛБВО* и *ЛОВО* заключается в дисперсионной характеристике. Для использования в ЛОВО замедляющая система должна обладать отрицательной дисперсией на основной волне на пространственной гармонике (обычно используется первая отрицательная гармоника  $m = -1$ ). Поэтому движение энергии вдоль замедляющей системы ЛОВО, характеризующееся групповой скоростью  $v_{gp}$ , направленно навстречу электронному потоку и фазовой скорости бегущей волны  $v_{\phi}$ .

Условием оптимального взаимодействия электронного потока с бегущей волной является синхронизм электронов и волны, т.е. приблизительное равенство средней скорости электронов и фазовой скорости волны. Более детальный анализ показывает, что скорость электронов  $v_0$  должна несколько превышать фазовую скорость волны  $v_{\phi}$ , бегущую по замедляющей системе.

В отличие от ЛБВ в лампе обратной волны существенно изменяется характер нарастания амплитуды высокочастотного поля и характер нарастания модуляции плотности электронного тока. В лампе бегущей волны продольная компонента напряжённости электрического поля  $E_z$  и амплитуда переменной составляющей конвекционного тока  $J_k$  нарастают по экспоненте от входного к выходному концу замедляющей системы. В ЛОВ, за счет встречного движения электронов и потока энергии, величина  $E_z$  нарастает к катоду, а плотность электронных сгустков - к коллектору.

Следует также заметить, что в ЛБВО локальный поглотитель помещается в середине замедляющей системы. В ЛОВО используется поглотитель, расположенный в конце замедляющей системы, у коллектора (рис .1).

**2.2.Самовозбуждение ЛОВО** будет происходить, если обеспечить оптимальные условия передачи энергии от электронного потока полю возбуждаемой волны, т.е. при выполнении баланса фаз и баланса амплитуд.

**Баланс фаз** состоит в том, что образовавшийся сгусток электронов не должен выходить из тормозящего полупериода поля до конца ЗС, т.е. относительный сдвиг фаз волны и сгустка -  $\Phi$  не должен превышать  $\pi$ :

$$\Phi = \frac{\omega l}{v_{\phi(-1)}} - \frac{\omega l}{v_0} = (2n + 1)\pi, \quad n = 0,1,2,\dots, \quad (1)$$

где  $v_{\phi(-1)} = \frac{\omega L}{\beta_0 L - 2\pi}$  - фазовая скорость гармоники  $m = -1$ ,  $n$  -порядок генерации,  $L$ - период замедляющей системы.

Первое слагаемое в (1) характеризует изменение фазы волны, при её движении вдоль замедляющей системы длиной  $l$ , второе слагаемое – изменение фазы (угла пролета) электронного сгустка за время его движения на этом же пути, при движении энергии в противоположном направлении. Очевидно, что в общем случае  $\Phi$  может быть равно нечетному числу  $\pi$ .

Таким образом, условие фазового баланса может выполняться при различных углах пролета электронных сгустков в поле волны. При  $n = 0$  электронный сгусток при движении смещается относительно волны на угол  $\pi$  (это основной вид колебаний); при  $n = 1$  - на  $3\pi$  (колебания первого порядка) и т.д. в зависимости от значения  $n$ . Число  $n$  называют *порядком колебаний* в ЛОВО, или *номером зоны генерации*. Переход от одной зоны гене-

рации к другой осуществляется при помощи изменения скорости  $v_0$ , которое, в свою очередь, определяется изменением  $U_0$ .

Генерируемая длина волны, если известна фазовая скорость встречно-штыревой ЗС для гармоники  $m = -1$  и ускоряющее напряжение, определяется соотношением

$$\lambda = \frac{2l}{2n+1} \left( \frac{c}{v_{\phi(-1)}} - \frac{505}{\sqrt{U_0}} \right). \quad (2)$$

Из (2) следует, что для каждого значения  $\lambda$  и заданного значения  $n$  можно определить диапазон изменения  $U_0$ , в котором возможна генерация СВЧ колебаний от  $\lambda_{\min}$  до  $\lambda_{\max}$  (эти значения зависят от полосы пропускания дисперсионной характеристики ЗС). Изменение длины волны (частоты) генерируемых колебаний при изменении напряжения  $U_0$  (*электронная перестройка частоты*) объясняется тем, что при изменении  $U_0$  происходит изменение скорости электронов  $v_0$  и, согласно условию фазового синхронизма ( $v_{\phi} \leq v_0$ ), - фазовой скорости волны пространственной гармоники. Поскольку для обратных пространственных гармоник крутизна дисперсионной характеристики положительна ( $\partial v_{\phi} / \partial \omega > 0$ ), то с увеличением напряжения частота генерируемых колебаний увеличивается.

*Крутизна электронной перестройки ЛОВО* определяется соотношением

$$S_f = \partial \lambda / \partial U_0 = (\lambda / 2U_0) (1 + v_0 / v_{zp})^{-1}. \quad (3)$$

**Баланс амплитуд** генератора на ЛОВО предусматривает, что энергия, получаемая волной в результате взаимодействия с электронным потоком за вычетом потерь в ЗС, должна быть достаточной для поддержания группировки электронов. Поэтому для возникновения генерации в ЛОВО необходим начальный ток, называемый *пусковым*. Величина пускового тока в [4] для основного порядка колебаний ( $n = 0$ ) определяется соотношением

$$I_{\text{пуск}} \approx 0,124 \cdot \frac{U_0}{R_{\text{св}} \cdot N^3}. \quad (4)$$

где  $R_{\text{св}}$  - сопротивление связи;  $N$  - электрическая длина замедляющей системы, т.е. число замедленных длин волн, укладываемых вдоль длины замедляющей системы. Электрическая длина замедляющей системы ЛОВ не превышает  $N \leq 15$ .

Величина сопротивления связи встречно-штыревой замедляющей системы в рабочем диапазоне частот находится в пределах  $R_{св} = 5-15, \text{ Ом}$ . Таким образом, величина пускового тока исследуемой лампы изменяется от 10 до 30 мА.

С ростом номера колебаний пусковой ток увеличивается, поэтому генераторы на ЛОВО обычно работают на колебании основного порядка. Для предотвращения самовозбуждения колебаний высших порядков следует оптимальную величину рабочего тока пучка в основной зоне генерации  $I_{0онт}$ , при котором электронный КПД имеет максимальное значение, не делать больше пускового тока колебания первой зоны генерации. Величина  $I_{пуск(1)} = 6,3 I_{пуск(0)}$ , поэтому величина рабочего тока должна выбираться из условия  $I_{0онт} \leq (5 \div 6) I_{пуск(0)}$ , или  $I_{пуск(1)} > I_{0онт}$ .

### 2.3. Основные характеристики и параметры ЛОВ

**Электронная перестройка частоты** генераторных ламп обеспечивается изменением ускоряющего напряжения  $U_0$ , приложенного между катодом и замедляющей системой (или вторым анодом). Крутизна электронной настройки определяется дисперсионной характеристикой замедляющей системы.

Для замедляющей системы типа встречные штыри, широко используемой в ЛОВ, можно воспользоваться следующим выражением фазовой скорости [2]

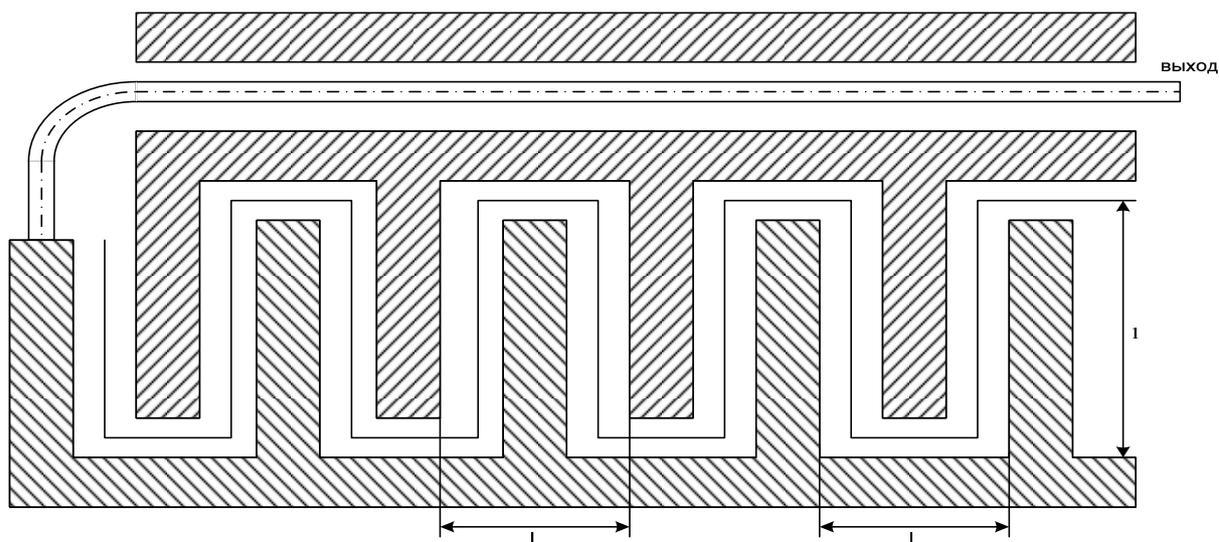


Рис.2. Замедляющая система типа встречных штырей с коаксиальным выходом энергии.

$$V_{\phi} = \frac{c \cdot L}{2 \cdot l + L + \lambda \cdot (2 \cdot m + 1)}, \quad (5)$$

где  $L$  и  $l$  –размеры периода и высоты штырей замедляющей системы, изображённые на рисунке 2,  $m$  – номер пространственной гармоники;  $c$  – скорость света и  $\lambda$  – длина волны в свободном пространстве.

С помощью выражения (5) нетрудно определить коэффициент замедления  $K_{зам}$  и замедленную волну  $\lambda_3$  во встречно-штыревой системе, поскольку

$$K_{зам} = \frac{C}{v_{\phi}} = \frac{\lambda}{\lambda_3}, \quad (6)$$

а также рассчитать кривую электронной перестройки частоты ЛОВ с такой системой, исходя из условия синхронизма

$$(v_{\phi}) = v_o = 5,93 \cdot 10^5 \sqrt{U_o} \quad (7)$$

Так для первой отрицательной гармоники  $m=-1$  на основании (6) и (7) получаем зависимость  $\lambda = \varphi(U_o)$  в виде:

$$\lambda = \left( \frac{C}{5,93 \cdot 10^5 \sqrt{U_o}} + 1 \right) L + 2l \quad \text{или} \quad \lambda = \left( \frac{505}{\sqrt{U_o}} + 1 \right) L + 2l, \quad (8)$$

размеры замедляющей системы представлены в таблице 1.

Выражение (8) может быть использовано для ориентировочного расчета зависимости электронной перестройки частоты ЛОВ с замедляющей системой типа встречных штырей.

Таким образом, в силу аномальной дисперсии встречно-штыревой замедляющей системы частота генерации ЛОВ увеличивается с ростом напряжения  $U_o$ . Зависимость электронной перестройки частоты ЛОВ имеет вид, ориентировочно показанный на рис.3а, откуда видно, что крутизна электронной настройки  $S = \frac{\Delta \nu}{\Delta U_o}$  увеличивается при уменьшении  $U_o$ .

**Электронный КПД** ЛОВО определяется величиной параметра усиления

$$\eta_e \approx 1,33 K_c \approx 2/(\pi N), \quad K_c = \sqrt[3]{\frac{I_0 R_{ce}}{4U_o}} \quad (9)$$

Колебательная мощность  $P_e$  генератора на ЛОВО определяется из

$$P_e = \eta_e U_0 (I_0 - I_{\text{пуск}}) \quad (10)$$

В соотношении (10) учтен тот факт, что при соотношении  $I_0 \leq I_{\text{пуск}}$  полезная мощность на выходе лампы лампы отсутствует.

Частота генерации ЛОВ зависит от напряжения первого анода, определяющего величину тока луча  $I_0$ , и обычно уменьшается с увеличением тока луча, как показано на рис.3 б.

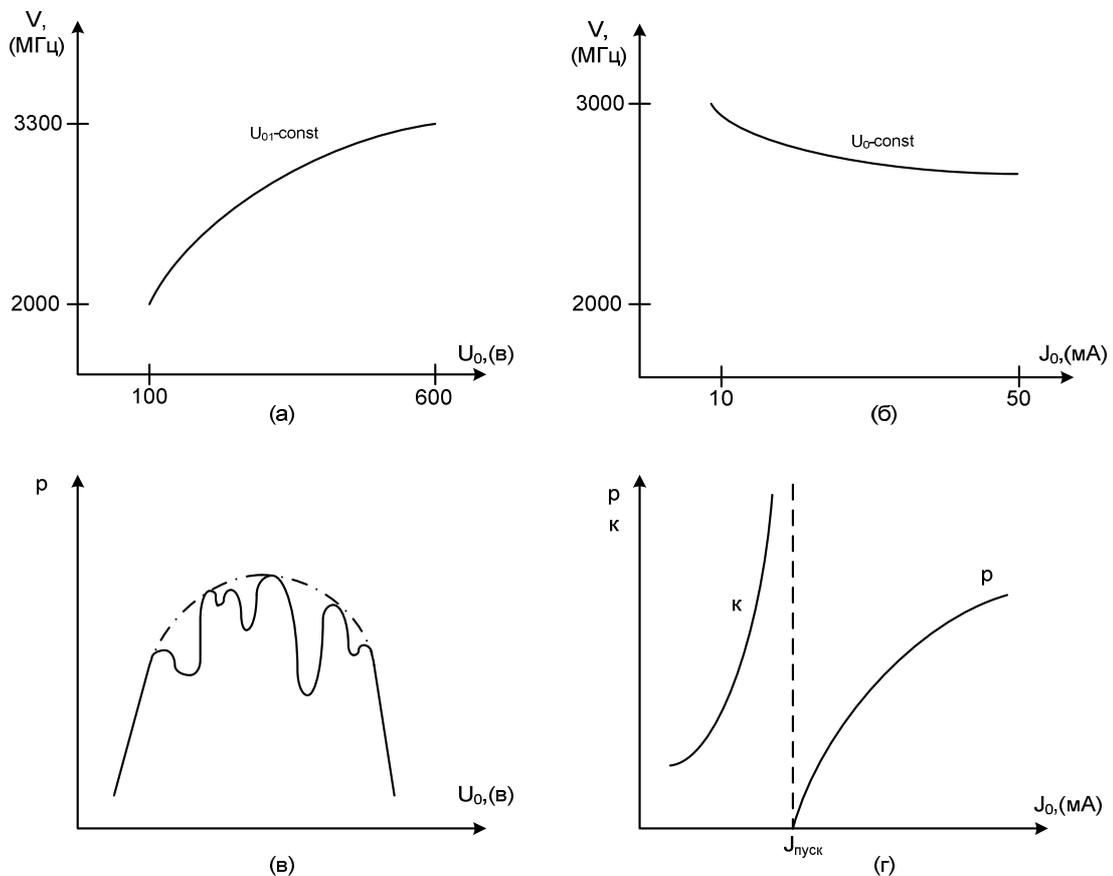


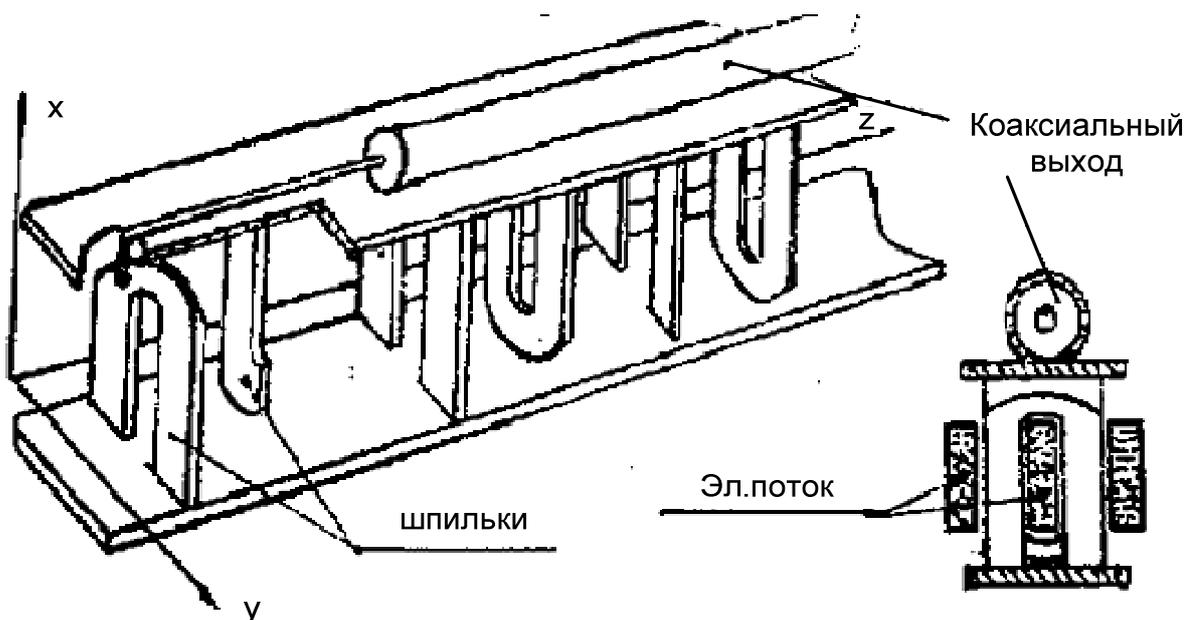
Рис.3. Характеристики ЛОВ: а – кривая электронной перестройки частоты; б – кривая электронного смещения частоты; в – зона генерации; г – зависимости генерируемой мощности и коэффициента регенеративного усиления от тока луча.

Зона генерации ЛОВ, изображенная пунктиром на рис.3в, имеет на практике обычно вид резко изрезанной кривой, как указано сплошной линией на том же рисунке. Изменения мощности ЛОВ, т.е. глубина изрезанности

зоны генерации, определяется в основном качеством согласования вывода энергии ЛОВ с внешним трактом. Поэтому элементы тракта не должны вносить отражений в широком диапазоне частот.

**Зависимость мощности генерации ЛОВ от тока луча  $P = \varphi(I_0)$** , показанная на рис.3г, представляет интерес. Самовозбуждение ЛОВ, происходит при некотором значении тока луча, называемом пусковым током  $I_{пуск}$ . При значениях тока луча ниже пусковых ЛОВ может работать только в режиме регенеративного усиления. Коэффициент усиления зависит от тока луча (рис.3г) и достигает бесконечно большой величины при самовозбуждении ЛОВ. Исследуемая лампа в данной работе, однако, не может быть использована в качестве регенеративного усилителя, так как не имеет входа высокочастотного сигнала.

**Конструктивные особенности** исследуемой лампы отражены на рис.4. Вместо штырей в замедляющей системе использованы встречные шпильки, Это позволяет пропустить вдоль замедляющей системы три ленточных электронных потока, формируемых электронной пушкой, анод и диафрагма которой содержат по три прямоугольные щели. Вывод энергии лампы коаксиальный, оканчивающийся стандартным 50-омным разъемом.



*Рис.4. Устройство ЛОВ типа 0 (без вакуумного баллона и фокусирующей системы).*

Внешняя часть коллектора содержит радиатор, лампа нуждается в принудительном охлаждении. Лампа имеет пакетированную конструкцию, т.е. снабжена периодической фокусирующей магнитной системой, к которой не следует подносить магнитные материалы ближе, чем на 10 см.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### 3.1 Домашнее расчетное задание

1. Рассчитать кривую электронной перестройки ЛОВО (8) в пределах  $U_0=200-1000\text{В}$  для лампы с замедляющей системой типа встречных штырей.

Геометрические размеры системы  $L$  и  $l$  указаны в таблице 1.

Определить пределы измерений крутизны электронной перестройки в  $\frac{\text{МГц}}{\text{В}}$ .

2. Рассчитать дисперсионные зависимости  $\nu_\phi = \varphi(\lambda)$ , воспользовавшись (5) и  $K_{\text{зам}} = \varphi(\lambda)$ ,  $\lambda_3 = \varphi(\lambda)$ , используя (6).

3. Оценить длину замедляющей системы по известной величине пускового тока (4), воспользовавшись кривыми, рассчитанными в п.п.1,2. Величины  $\lambda$ ,  $R_{\text{св}}$  и  $J_{\text{тиск}}$  в таблице 1.

#### 3.2 Описание экспериментальной установки.

Экспериментальная установка (рис.5), позволяет производить измерения мощности и частоты колебаний ЛОВО при различных режимах электрического питания.

Высокочастотный тракт установки включает: ЛОВО (1), коаксиально-волноводный переход (2), частотомер типа Ч2-32 (3), аттенюатор (4), детекторную секцию (5) и индикаторный прибор (6) .

Связь частотомера с основным трактом регулируется аттенюатором, входящим непосредственно в прибор. Выходная мощность с ЛОВО поступает в детекторную секцию и может регулироваться аттенюатором (4).

С детектора ток, соответствующий величине мощности сигнала, поступает на микроамперметр (6), служащий индикатором изменения мощности.

Схема электрического питания ЛОВ приведена на рис.6 и включает ЛАТР, высоковольтный блок и блок универсального стабилизированного выпрямителя - УИП-1. Напряжение накала лампы, фокусирующего электрода и первого анода (А1) подаются с универсального стабилизированного выпрямителя - УИП-1. Ток первого анода измеряется прибором  $I_1$ , напряжение – прибором  $U_1$ . Все измерительные приборы (вольтметры, миллиамперметры) помещены на передней панели приборного блока.

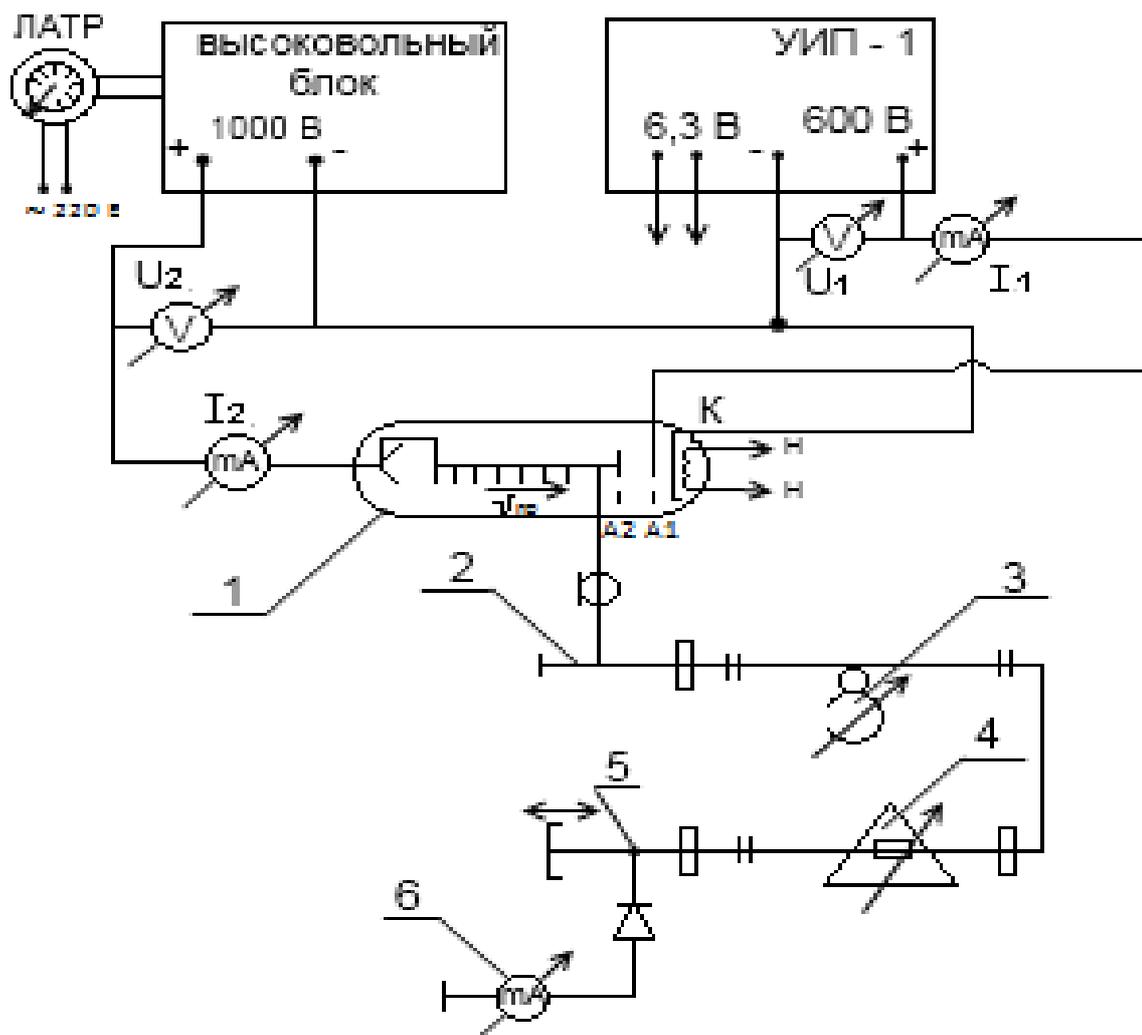


Рис.5. Схема измерительной установки.

**Примечание:** При подаче напряжений питания на ЛОВ напряжение первого анода  $U_1$  включается в последнюю очередь.

Питание второго анода ( $A_2$ ), соединенного внутри лампы с замедляющей системой и коллектором, т.е. ускоряющее напряжение, осуществляется от высоковольтного стабилизированного выпрямителя, который, в свою очередь, «запитывается» от лабораторного автотрансформатора - ЛАТРа.

Ускоряющее напряжение  $U_2$  и ток луча  $I_2$  измеряются соответствующими приборами, расположенными на панели приборного блока. Там же расположен тумблер, замыкающий цепь питания 1-го анода.

***При выполнении работы этот тумблер включается в последнюю очередь и выключается – первым.***

### 3.3 Порядок выполнения работы и задание

1. Ознакомится с экспериментальной установкой, измерительной аппаратурой, блоком приборов и паспортными данными исследуемой ЛОВ (приложение 1).

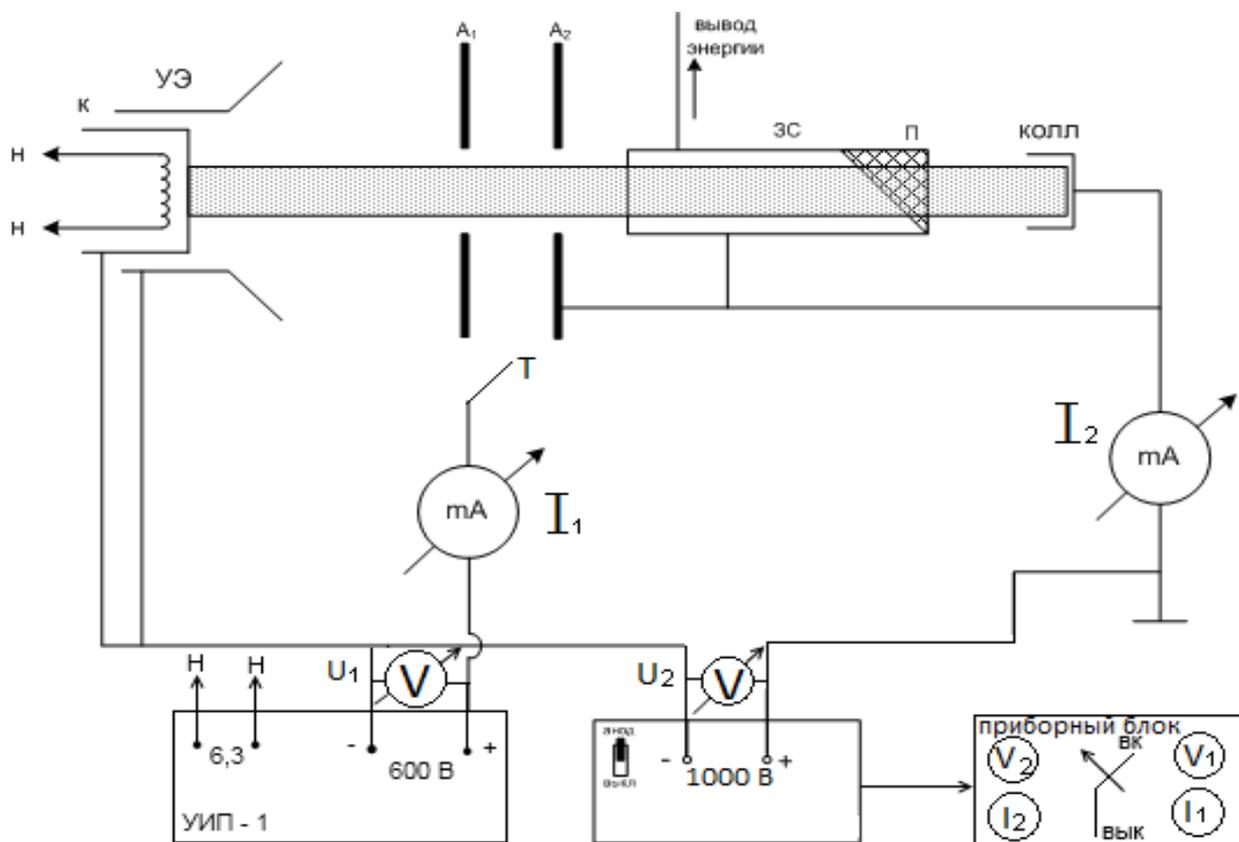


Рис.6. Схема электрического питания ЛОВО.

#### 2. Проверить

2.1 наличие заземления всех приборов (УИП-1, приборного щита, ЛАТРа, высоковольтного стабилизированного выпрямителя);

2.2 на УИП-1: выключатель сети - «ВЫКЛ»; переключатель вольтметра «0-600В» - в правом положении; провод «+600В» вынут из гнезда; провод «- 600В» - вставлен в гнездо; ступенчатый переключатель находится в положении «20 -150 В»;

2.3 на приборном щите : тумблер  $U_1$  в положении «ВЫКЛ»;

2.4 на ЛАТР тумблер «СЕТЬ» - в положении «ВЫКЛ», ручка регулировки напряжения должна находиться в крайнем левом положении;

2.5 на высоковольтном выпрямителе сеть выключена.

### 3. Порядок подключения напряжений на исследуемую лампу:

3.1 На УИПе-1 включить тумблер «сеть», загорается сигнальная лампочка; на ОВ-19 подается напряжения накала.

Вольтметр УИПа-1 покажет величину напряжения  $U_1$ , которое подается на приборный блок, если вставить провод с красным штекером в гнездо «+600В», но на ОВ-19 напряжение ещё не подается, так как тумблер  $U_1$  на приборном блоке находится в положении «ВЫКЛ».

Ручкой плавной регулировки напряжения на УИПе-1 установить величину  $U_1$  в пределах  $70 \leq U_1 \leq 150\text{В}$ .

Если потребуется изменить пределы напряжения  $U_1$  ( $150 \leq U_1 \leq 300\text{В}$ ), то следует переключить ступенчатый переключатель в это положение и установить требуемое напряжение.

3.2 Включить тумблер «сеть» на ЛАТРе. На приборном блоке появиться напряжение  $U_2$  примерно равное 200В. Поворачивая ручку на ЛАТРе по часовой стрелке, установить необходимую величину напряжения  $U_2$  (таблица 1). При величине  $U_2 \approx 500\text{В}$  на высоковольтном блоке загорается красная сигнальная лампочка - «высокое напряжение».

3.3 Включить вентилятор для обдува радиатора ОВ-19. На приборном блоке включить тумблер  $U_1$ . При этом напряжение  $U_1$  подается на первый анод лампы и на приборном блоке миллиамперметры покажут токи  $I_1$  и  $I_2$ , величины которых не должны превышать паспортных значений.

3.4 Постепенно повышая ускоряющее напряжение  $U_0$  (что тоже  $U_2$ ) вывести ЛОВО в номинальный режим работы, ток ЗС не должен превышать 45 мА.

3.5 Убедиться по показаниям прибора б, подключенного к детекторной секции 5, что ЛОВ работает.

### 4. Экспериментально снять:

4.1. Зависимости генерируемой мощности, частоты, длины волны, тока первого анода и тока луча от ускоряющего напряжения, т.е.

$$P = \varphi(U_0), \quad \nu = \varphi(U_0), \quad \lambda = \varphi(U_0), \quad I_0 = I_2 = \varphi(U_0), \quad I_1 = \varphi(U_0).$$

при заданных таблицей 1 значениях  $U_1$ .

Величину мощности отсчитывать в относительных единицах (т.е. микроамперметром постоянного тока), считая характеристику детектора квадратичной.

4.2. Зависимость генерируемой мощности и длины волны от тока луча, т.е.  $P = \varphi(J_0)$  и  $\lambda = \varphi(J_0)$ , изменяя ток напряжением первого анода  $U_1$ , при заданных таблицей 1 параметрах.

**Таблица 1**

Конструктивные параметры лампы		шаг $L=2,2$ мм длина штыря $l=13,3$ мм				
Заданные величины	номер бригады					
	1	2	3	4	5	
Ускоряющее напряжение $U_0, В$	750 1000	700 950	650 900	850 600	550 800	
Пусковой ток $I_{пуск}, мА$	10	13	15	20	24	
Сопrotивление связи $R_{ce}, Ом$	8	7,5	6,5	7	6	
Напряжение на первом аноде, В	80	140	180	240	280	

4.3. Зависимость пускового тока от ускоряющего напряжения, т.е.  $J_{пуск} = \varphi(U_0)$ . Индикацию пускового режима осуществлять с помощью индикатора мощности – тока детектора (рис 5, прибор -6) .

4.4. Измерить мощность генерации ЛОВ с помощью детекторной секции при номинальных значениях напряжения на первом аноде  $U_1 = 70В$  и  $U_1 = 300В$  для различных величин ускоряющего напряжения  $U_0$ , заданных в таблице 1.

5. Выключение установки производится в обратном порядке:

5.1. Уменьшить  $U_0$  до 400-500 В. Выключить тумблер  $U_1$  на приборном блоке ;

5.2. На ЛАТРе ручку напряжения повернуть влево и выключить тумблер «сеть»;

5.3. Выключить УИП-1 и вынуть красный штекер из гнезда «+600В»;

5.4. Выключить вентилятор.

#### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какое соотношение между скоростями электронов и волны должно выполняться для эффективной передачи энергии от электронов волне и почему?
2. Какие основные требования следует предъявлять к замедляющим системам, использованным в приборах ЛОВ?
3. Как можно оценить коэффициент замедления в системе ЛОВ?
4. Что такое пространственные гармоники поля в замедляющей системе?
5. Какой вид дисперсионной характеристики ЛОВ?
6. Что такое нормальная и аномальная дисперсия?
7. Что такое сопротивление связи и как оно определяется?
8. Что такое пусковой ток?
9. Как изменяется частота ЛОВ с увеличением  $U_0$  и почему?
10. Почему может наблюдаться изрезанность выходной мощности от  $U_0$  генераторной ЛОВ?
11. Где могут применяться ЛОВ типа О?
12. Как Вы изобразите схему устройства ЛОВ О?
13. Какие необходимо иметь приборы для исследования режимных характеристик ЛОВО?

#### **5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА**

1. Привести схему измерительной установки для исследования ЛОВО.
2. Таблицы и графики зависимостей, рассчитанных и измеренных при выполнении работы.
3. Построить зависимости теоретическую и экспериментальную крутизны электронной перестройки от ускоряющего напряжения и дать объяснение характеристикам.
4. Сравнить экспериментальную кривую электронной перестройки с расчетной кривой, построенной по предварительному заданию, и оценить расхождение.
5. Дать подробное письменное заключение по проделанной работе.

## Приложение 1

### Технические параметры лампы обратной волны типа ОВ-19

Диапазон рабочих частот , МГц	6530 - 10170
Напряжение накала, В	6,3 -6,9
Ток накала	$\leq 4$ А
Напряжение фокусирующего электрода	0 ,В
Напряжение первого анода , В	70÷300
Напряжение второго анода, замедляющей системы, коллектора , В	200÷1000
Ток замедляющей системы (не более)	$\leq 45$ м А
Ток первого анода	$\leq 12$ мА А
Выходная мощность	15 мВт

### ***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. Электронные приборы СВЧ (описание лаб.работ) под ред. Шевчика В.Н. СГУ, 1964.
5. Описание аппаратуры к лабораторным работам / Под ред. Соколовой Ж.М.–Томск, ТИАСУР, 1977, ротапринт