



**Кафедра Сверхвысокочастотной
и Квантовой Радиотехники**

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ
УСИЛИТЕЛЬНОЙ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ**

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 РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой
радиотехники (СВЧ и КР)

УТВЕРЖДАЮ
заведующий кафедрой
_____ С. Н. Шарангович

ИССЛЕДОВАНИЕ

УСИЛИТЕЛЬНОЙ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

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»

Разработчики
доцент каф. СВЧ и КР

Ж.М.Соколова
зав. лабораторией
каф. СВЧ и КР

А.Н.Никифоров

Содержание

| | |
|---|----|
| 1 Введение..... | 4 |
| 2. Основные вопросы теории..... | 5 |
| 2.1 Типы ламп бегущей волны..... | 5 |
| 2.2 Устройство ЛБВ..... | 5 |
| 2.3. Принцип действия ЛБВ..... | 8 |
| 2.4. Параметры и характеристики усилителя на ЛБВ..... | 11 |
| 3. Содержание работы | |
| 3.1. Расчетное задание..... | 15 |
| 3.2. Описание экспериментальной установки..... | 17 |
| 3.3. Описание методики измерений..... | 19 |
| 3.4 Порядок выполнения работы..... | 22 |
| 4 Контрольные вопросы..... | 26 |
| 5 Содержание отчета..... | 27 |
| Список литературы..... | 27 |

1. Введение

Целью работы является :

1. Изучение устройства и схемы включения лампы бегущей волны – ЛБВ типа «О»;
2. Ознакомление с принципом работы и параметрами лампы бегущей волны;
3. Расчёт основных параметров исследуемой лампы;
4. Овладение методикой настройки в рабочем режиме и снятие характеристик ЛБВО.

Объектом исследования является лампа бегущей волны типа «О» трёхсантиметрового диапазона волн пакетированной конструкции.

2. Основные вопросы теории

2.1 Типы ламп бегущей волны

Электронные СВЧ приборы, принцип работы которых основан на длительном взаимодействии потока электронов с полем бегущей волны, называют лампами бегущей волны (ЛБВ). В процессе этого взаимодействия энергия электромагнитного поля волны возрастает за счёт убыли кинетической энергии электронного потока. Лампы бегущей волны делятся на два класса: ЛБВ типа «О» и ЛБВ типа «М», отличающиеся тем, что в лампах «О» - типа постоянное магнитное поле применяется только для фокусировки электронного потока, а в лампах типа «М» постоянное магнитное поле определяет принцип работы прибора [1,2].

2.2 Устройство ЛБВ

На рис. 1 приведена схема типичного устройства маломощной ЛБВ с волноводным входом и выходом и с фокусирующей катушкой (соленоидом).

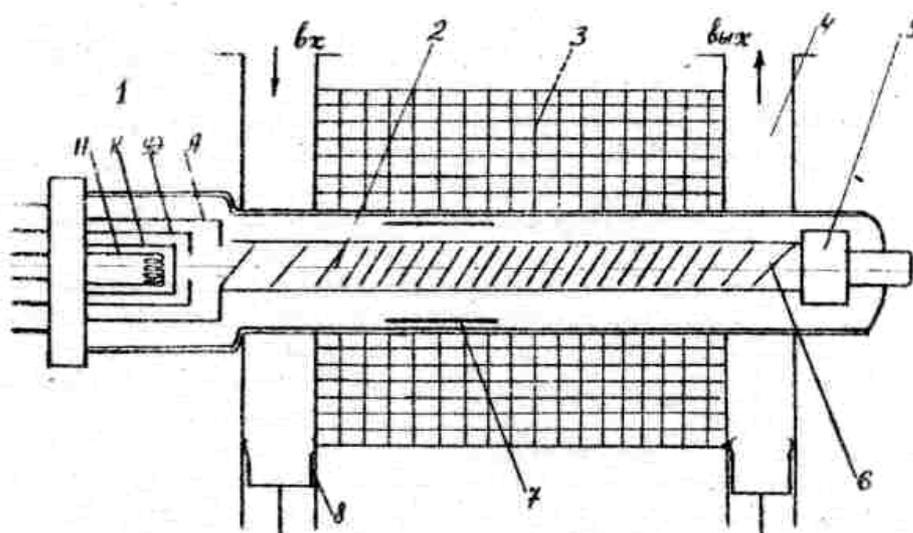


Рис. 1. Схема устройства лампы бегущей волны.

Электронная пушка (1), состоящая из катода, управляющего электрода, одного или двух анодов, создаёт на выходе электронный пучок необходимой формы поперечного сечения, плотности и скорости. Далее электронный поток движется вдоль замедляющей системы (2) к коллектору (5), играющему роль улавливателя отработанных электронов. Поперечная фокусировка электронного пучка в замедляющей системе осуществляется продольным магнитным полем. Магнитные поля создаются либо соленоидом (рис.1), либо периодической магнитной фокусирующей системой, включающей постоянные кольцевые магниты и шайбы (рис.2) в лампах пакетированной конструкции. Исследуемая лампа имеет пакетированную конструкцию.

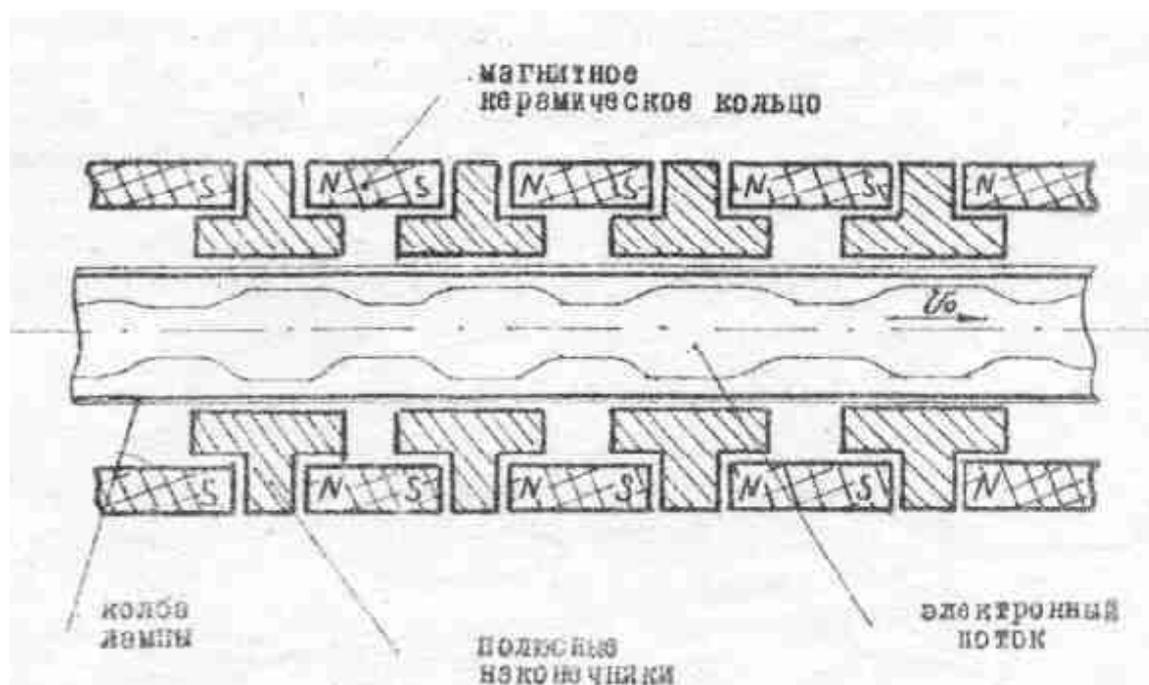


Рис 2. Схема устройства периодической магнитной фокусирующей системы ЛБВ.

В качестве замедляющей системы в усилительных ЛБВ чаще всего используется проволочная спираль. Для ламп сантиметрового диапазона шаг спиральной ЗС в начале и конце постепенно увеличивается и спираль плавно переходит в два цилиндра – антеннки. Эти антеннки (6) входят внутрь плоских прямоугольных волноводов (4) и играют роль электрического зонда, ориентированного в направлении электрического поля волны типа H_{10} . Для предотвращения утечки СВЧ – энергии к катоду и коллектору по концам спирали расположены дроссели, представляющие собой металлические цилиндры, близкой к четверти средней длины волны в свободном пространстве. Зазор между этими цилиндрами и наружным металлическим экраном образует коаксиальную линию с весьма малым волновым сопротивлением. Благодаря этому, в плоскости широких стенок входного и выходного волноводов в направлениях к электронной пушке и к коллектору создаются условия, близкие к короткому замыканию.

Согласование ЗС лампы с волноводом обеспечивается подвижными коротко замыкающимися поршнями (8). При неполном согласовании лампы с нагрузкой (волноводами), часть СВЧ - энергии отражается от выхода к входу (или наоборот) и возникает обратная связь. При выполнении условий баланса фаз и амплитуд, которые при длинной замедляющей системе могут легко удовлетвориться для ряда частот, в усилителе могут возникнуть колебания.

Для подавления самовозбуждения ЛБВ на расстоянии от катода равном трети длины самой спирали расположен сосредоточенный поглотитель (7). Поглотитель представляет собой слой аквадага, нанесенного на кварцевые штабики, поддерживающие спираль.

2.3. Принцип действия ЛБВ

Энергия усиливаемых СВЧ - колебаний, поданная на вход лампы, распространяются по виткам спирали (рис.3) со скоростью света C , фазовая скорость волны V_{ϕ} , т.е. скорость движения ее вдоль оси спирали, будет меньше скорости света. Замедление волны оценивается параметром, называемым коэффициентом замедления $K_z = \frac{C}{v_{\phi}} = \frac{\pi d}{h}$, где d - диаметр спирали, h - шаг спирали.

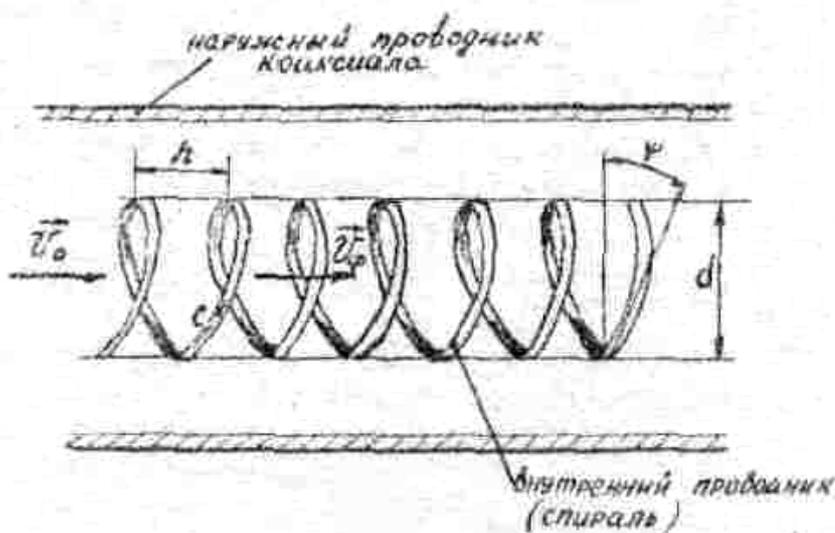


Рис. 3. Геометрические размеры спирали и направления скоростей волны и потока.

Упрощенная картина электрического поля в спирали, действующего на электроны, показана на рис.4, там же отмечено расстояние λ_z – длины замедленной волны, на которое переместится

волна за один период СВЧ - колебаний вдоль оси спирали. Очевидно, $\lambda_z < \lambda$, где λ - длина волны в свободном пространстве.

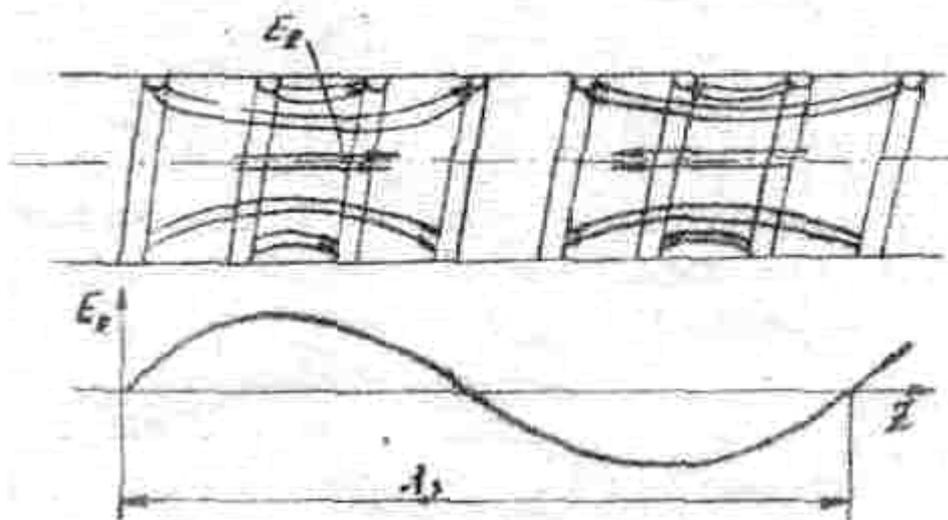


Рис. 4. Картина переменного электрического поля в спирали ЛБВ.

Для эффективного длительного взаимодействия групп электронов с электрическим полем волны в замедляющей системе необходимо:

выполнение условия фазового синхронизации: $V_0 \geq V_\phi$,

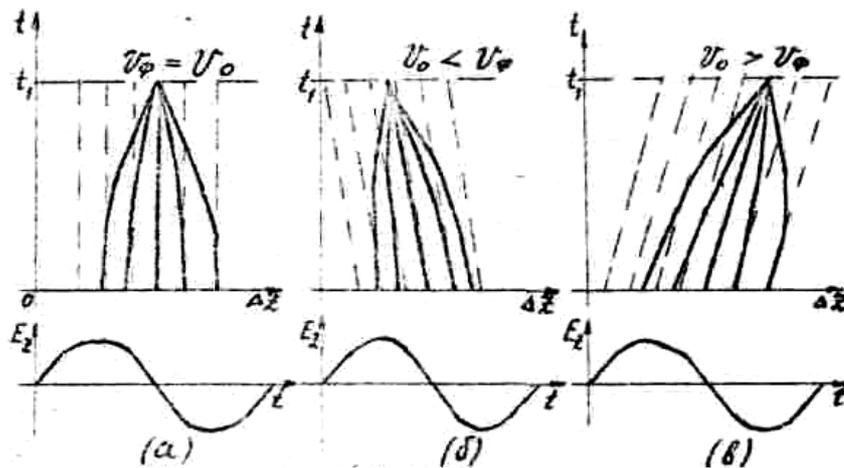
где V_0 – скорость электронов в замедляющей системе.

При выполнении условия фазового синхронизма осуществляется группировка электронов в тормозящем электрическом поле бегущей волны, а в ускоряющем поле E_z - оказывается минимальное количество электронов (рис.5). При дальнейшем движении они постепенно тормозятся, передавая кинетическую энергию волне, амплитуда которой непрерывно увеличивается. На выходе амплитуда волны значительно превышает амплитуду входного сигнала. При нарушении неравенства $v_0 > v_\phi$ электроны перегруппировываются и попадают

в ускоряющее поле волны. Усиление волны прекращается. Согласно линейной теории ЛБВ, для образования сгустков электронов в тормозящем поле необходимо выполнение соотношения $v_0 > v_\phi$, а для длительного взаимодействия сгустка с целью передачи энергии волне необходимо обеспечить точное равенство

$$v_0 = v_\phi (1 + 0.5 K_c),$$

где $0,02 \leq K_c \leq 0,2$ – параметр усиления волны.



$$\Delta Z = v_0 \cdot t - v_\phi \cdot t = t \cdot (v_0 - v_\phi) - \text{смещение электронов относительно волны}$$

Рис. 5. Графики движения электронов в ЛБВ. Сплошные линии – с учётом взаимодействия с волной, пунктирные – без учёта.

Скорость электронов определена величиной напряжения U_0 на замедляющей системе.

$$v_0 = 6 \cdot 10^5 \sqrt{U_0},$$

откуда коэффициент замедления волны в системе

$$K_3 = \frac{C}{v_\phi} = \frac{505}{\sqrt{U_0}} \quad (2.1)$$

2.4. Параметры и характеристики усилителя на ЛБВ

2.4.1. Коэффициент усиления – один из важнейших параметров усилительных ЛБВ, равен десятичному логарифму отношения высокочастотной мощности на выходе - $P_{\text{вых}}$ – лампы к мощности, поступающей на вход - $P_{\text{вх}}$:

$$K_y = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \right) \text{ дБ} . \quad (2.2)$$

Коэффициент усиления в децибелах для режима малых амплитуд определяется уравнением [1,2]

$$K_y = -9,54 + 47,3NK_c - L , \quad (2.3)$$

где N – число замедленных длин волн, укладываемых вдоль длины спирали l при нарастании амплитуды волны (рис.6),

$$N = \frac{\ell}{\lambda_3} , \quad \text{где}$$

$$\lambda_3 = \lambda_0 \cdot \frac{v_\phi}{c} = \frac{\lambda_0 \cdot \sqrt{U_0}}{505} \quad (2.4)$$

Величина параметра усиления равна

$$K_c = \sqrt[3]{\frac{I_0 \cdot R_{св}}{4 \cdot U_0}} \quad (2.5)$$

и, как видно, связана с постоянным конвекционным током пучка I_0 , ускоряющим напряжением U_0 , определяющим скорость электронов вдоль замедляющей системы, и с сопротивлением связи замедляющей системы

$$R_{св} = \frac{c}{v_{\phi}} \cdot 13,3 \cdot \left(\frac{\lambda_3}{d \cdot \pi} \right)^2 \quad (2.6)$$

Из формулы (2.5) следует, что для стабильной работы усилительной лампы бегущей волны необходимо поддерживать неизменным напряжение на ускоряющем электроде (замедляющей системе) и величину тока.

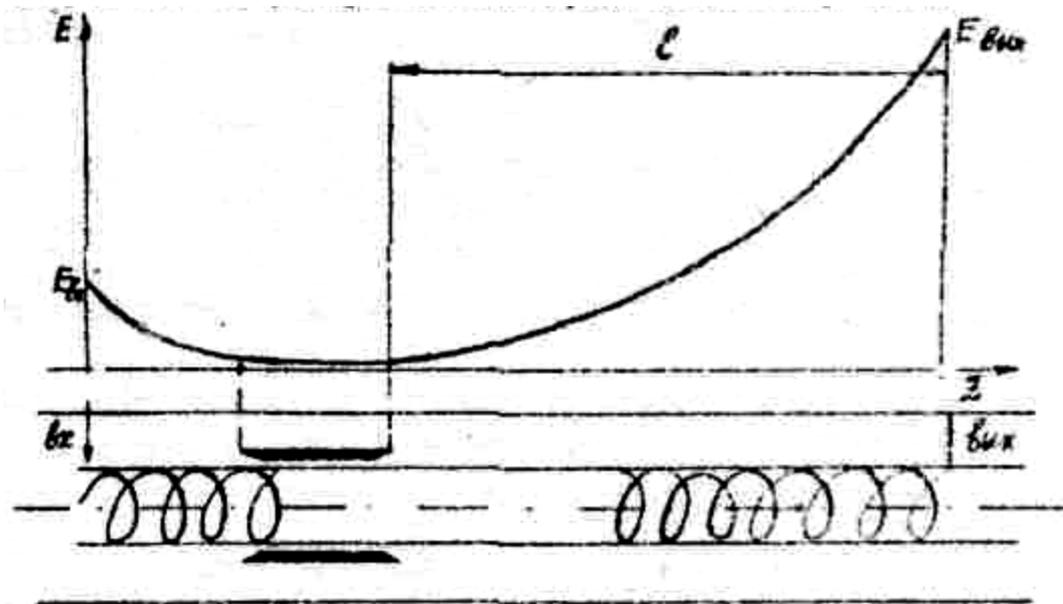


Рис. 6. Изменение амплитуды переменного электрического поля волны вдоль длины спирали.

Первый член уравнения (2.3) характеризует потери сигнала на входном участке замедляющей системы (ЗС), так как на долю нарастающей волны приходится только третья часть входного напряжения [3]. Последний член уравнения (2.3) $L\text{-const}$ характеризует распределённые потери в ЗС и потери, внесённые сосредоточенным поглотителем, равные ≈ 10 дБ.

2.4.2. Характеристика взаимодействия

Коэффициент усиления, согласно формулам (2.3), (2.4), (2.5), зависит от электрического режима лампы. Напряжение на спирали определяет среднюю скорость электронов v_0 , которая в области ЗС должна быть для взаимодействия примерно равна скорости сгустков электронов. Фазовая скорость волны определяется дисперсионной характеристикой ЗС, т.е. задаваемой частотой усиливаемого сигнала. Коэффициент усиления и выходная мощность (K_u и $P_{\text{вых}}$) при оптимальном напряжении на спирали (т.е. когда соотношение скоростей электронов и волны соответствует $v_0 = v_\phi (1 + 0.5 K_c)$ -наилучшим условиям передачи энергии на фиксированной частоте $f = \text{const}$) достигают максимальной величины (рис.7).

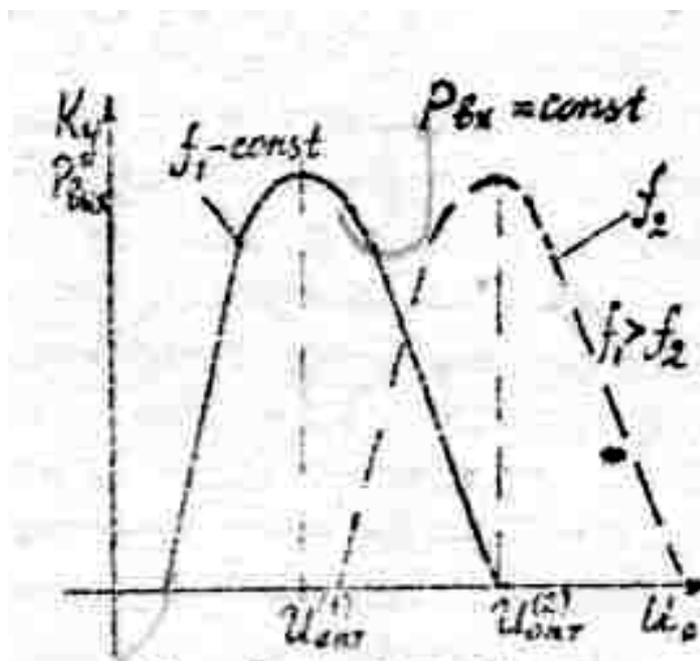


Рис.7. Влияние ускоряющего напряжения на выходную мощность и коэффициент усиления.

Для каждой частоты существует свое значение оптимального напряжения, при котором усиление ЛБВ максимальное (так называемое напряжение оптимального взаимодействия, причём, чем f меньше, тем $U_{\text{опт}}$ больше). Изменение напряжения от оптимального в любую сторону на 8-10 % приводит к уменьшению K_y до нуля. Это объясняется рассинхронизацией скоростей электронов и волны.

2.4.2. Диапазон рабочих частот – параметр – есть диапазон частот ($f_{\text{max}} - f_{\text{min}}$), в котором лампа, обеспечивает усиление не менее некоторой, указанной в паспорте величины (рис.8). Обычно $K_{y\text{max}} - K_{y\text{min}} = 3$ дБ или $K_{y\text{max}} / K_{y\text{min}} = 2$ раза. Волнистость частотной характеристики возникает из-за отражений от внутренних конструктивных элементов лампы.

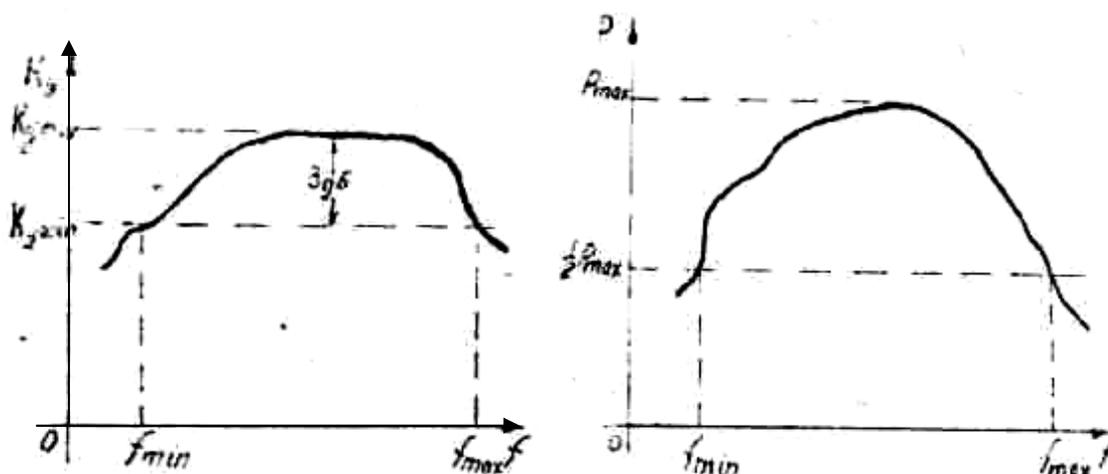
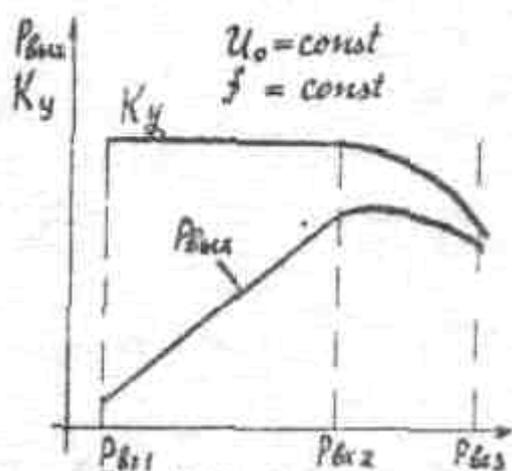


Рис.8. Изменение выходных параметров ЛБВ в полосе частот.

2.4.3. Амплитудная характеристика ЛБВ - зависимость выходной мощности от входной $P_{\text{вых}} = \psi(P_{\text{вх}})$ или $K_y = \psi(P_{\text{вх}})$ (рис.9). Начальный участок амплитудной характеристики линейный, т.е. приращение $P_{\text{вых}}$ пропорционально приращению $P_{\text{вх}}$.

Коэффициент усиления на линейном участке ($P_{вх1}-P_{вх2}$) не зависит от входной мощности, т.к. все электроны сгустка, получив небольшие приращения скоростей от СВЧ - поля, находятся в тормозящем поле волны, бегущей в ЗС. На участке $P_{вх2}-P_{вх3}$ режим работы лампы нелинейный, при котором выходная мощность растет медленнее, чем входная. Снижение мощности $P_{вых}$ происходит по причине резкого изменения скоростей электронов (Δv) за счет воздействия поля волны ($P_{вх}$) при группировке. В результате этого электроны сгустка быстро выходят из синхронизма и перегруппировываются с образованием групп в ускоряющем поле волны.

В работе не проводится исследование шумовых характеристик,



однако следует иметь в виду, что ускоряющие напряжения на замедляющей системе в лампах бегущей волны, соответствующие максимальному усилению в линейном режиме и величине минимального коэффициента шума, почти совпадают.

Рис.9. Амплитудные характеристики ЛБВ.

3. Содержание работы

3.1. Расчетное задание

3.1.1. Рассчитать коэффициент замедления K_3 для одного из ускоряющих напряжений, соответствующих номеру бригады студентов (табл.1).

Таблица 1

Задание режима питания для разных бригад студентов

| | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Номер бригады студентов | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Значение ускоряющего напряжения $U_0, В$ | 750 | 720 | 690 | 660 | 630 | 600 |

3.1.2. Рассчитать зависимости длины замедленной волны $\lambda_3 = \psi(\lambda)$, сопротивления связи $R_{св} = \psi(\lambda)$, коэффициента усиления от длины волны, при величине коэффициента замедления, найденной в п.3.1.1. Длину волны генератора изменять в пределах 3,03- 3,8 см через 0,13 см. Диаметр спирали $2a=d=0,1$ см, ток пучка- $I_0 = 1,5$ мА; потери в холодной лампе $L = 15$ дБ, рабочая длина спирали $l=50$ мм. Все расчеты свести в табл.2.

Таблица 2

Расчетные значения параметров

| | | | | | | | |
|-----------|-----|-------------|-----|----------|-------|---------|--------|
| | | $U_0 =$ | | | | $K_3 =$ | |
| λ | f | λ_3 | N | $R_{св}$ | K_c | K_y | K_y' |
| см | ГГц | Мм | | Ом | | дБ | раз |
| | | | | | | | |

3.2. Описание экспериментальной установки

Структурная схема установки исследования усилительной ЛБВ приведена на рис.10.

В качестве источника сигналов используется генератор Г4-83 (Г4-126, Г4-25) (рабочий диапазон частот которых 7,5-10,5 ГГц) в режиме непрерывных колебаний. Величина входной мощности на ЛБВ изменяется плавно аттенуатором, находящимся в генераторе (выход “ОСЛАБЛЕНИЕ”, цифровой индикатор затухания в дБ).

В состав установки входит механический переключатель 1, позволяющий поочередно подключать к измерительному прибору 2 сигналы, идущие от генератора или с ЛБВ после усиления (положение переключателя III и I соответственно). Устройство измерения мощности (точнее “сравнительное” устройство) состоит из калиброванного в децибелах поглощающего аттенуатора 3 и настраиваемой поршнем детекторной секции 4. Сигнал с детекторной секции подается на измерительный, точнее индикаторный прибор 2.

Питание лампы бегущей волны осуществляется (рис.11) от разработанного на кафедре блока.

Источник питания ЛБВ позволяет получать напряжение накала – 6,3В, управляющее стабилизированное напряжение (минус 25 В) и стабилизированное напряжение Коллектора, анода или замедляющей системы (до 750 В). Регуляторы напряжений расположены на передней панели блока, там же находятся индикаторные приборы, измеряющие напряжения замедляющей системы (анода) и

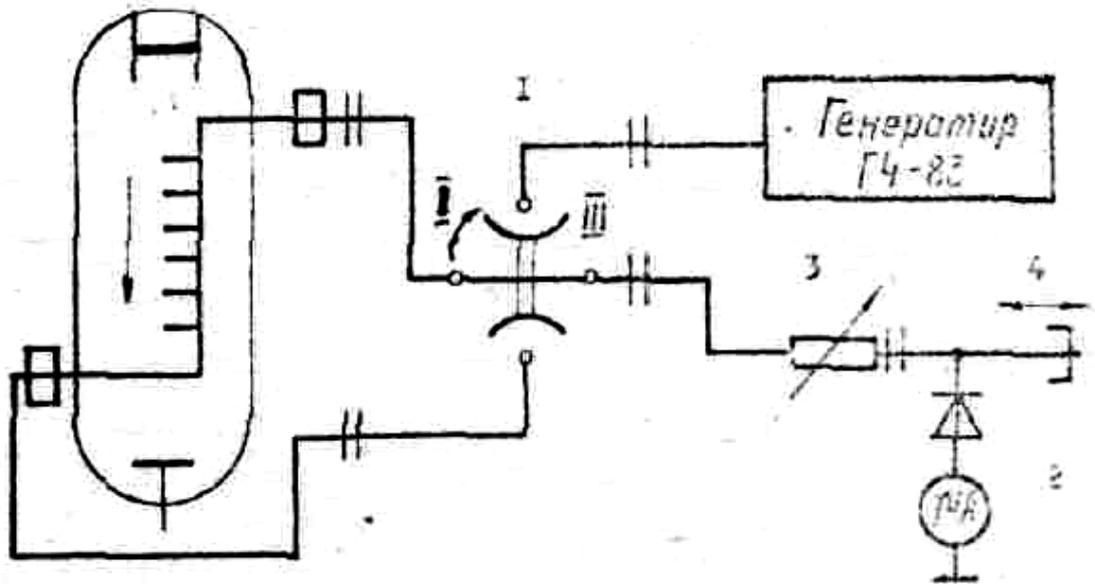


Рис.10 Структурная схема установки исследования ЛБВ.

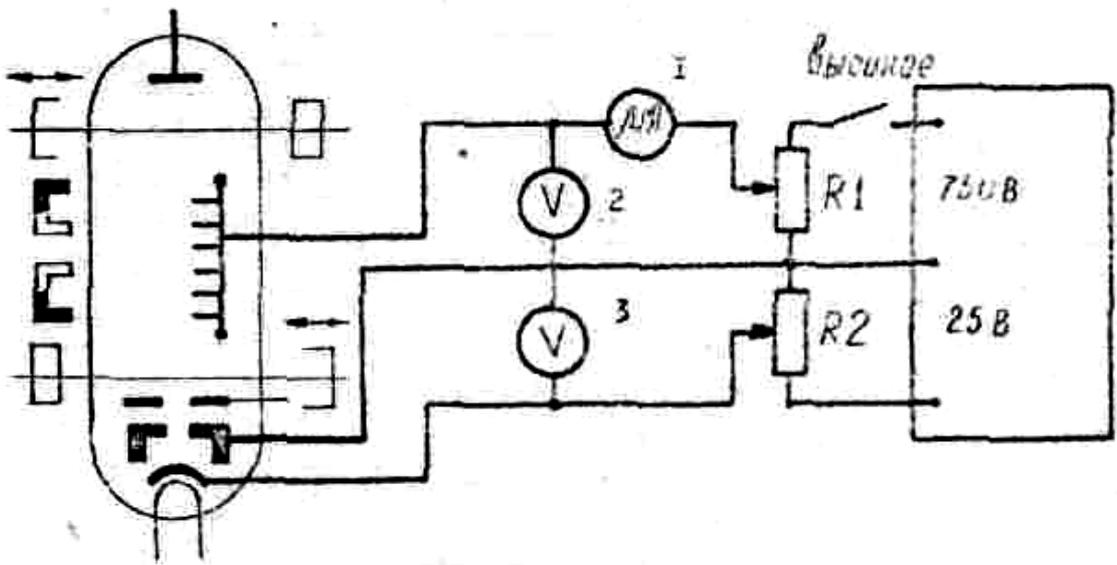


Рис. 11. Схема подачи питающих напряжений на ЛБВ.

управляющего электрода, а также прибор, измеряющий ток лампы бегущей волны. Работа лампы должна проходиться в пределах электрических параметров, приведенных ниже.

Технические параметры лампы бегущей волны типа УВ-12

| | |
|--|------------|
| Напряжение накала | 6,3 В |
| Ток накала | 0,3÷0,5 А |
| Напряжение управляющего (фокусирующего) электрода | -25÷ -13 В |
| Напряжение анода | 600÷750 В |
| Ток анода (не более) | 1,5 мА |
| Время разогрева катода | 3 мин. |

ВНИМАНИЕ: При регулировках напряжений ток лампы не должен превышать паспортного предельного значения 1,5 мА, иначе лампа выйдет из строя.

3.3. Описание методики измерений

3.3.1. Измерение усиления по мощности осуществляется следующим образом. Минуя ЛБВ, сигнал с генератора (положение переключателя Ш) подаётся на детекторную секцию и индикаторное устройство. При каждом изменении частоты детекторная секция поршнем настраивается на максимальные показания индикаторного прибора в ее цепи ($I_{дет.вх}$). Положение калиброванного аттенюатора выставляется на ноль. Затем механический переключатель ставится в положение 1. Сигнал с генератора при этом поступает на ЛБВ, а затем усиленный – на детекторную секцию и индикатор мощности ($I_{дет.вых}$). Изменяя ускоряющее напряжение U_0 , получаем максимальное показание индикаторного прибора детектора. Вводя аттенюатор, уменьшаем

полученные показание $I_{дет.вых}$ до значения ($I_{дет.вх}$). Определяем соответствующее показание аттенюатора ($\alpha_{АТI}$) в делениях (от 0 до 100). По градуировочной кривой (рис.12) находим значения $\alpha_{АТI}$ в дБ, которое дает величину усиления в децибелах. Перевод децибелов в разы по мощности проводится с помощью табл.б.

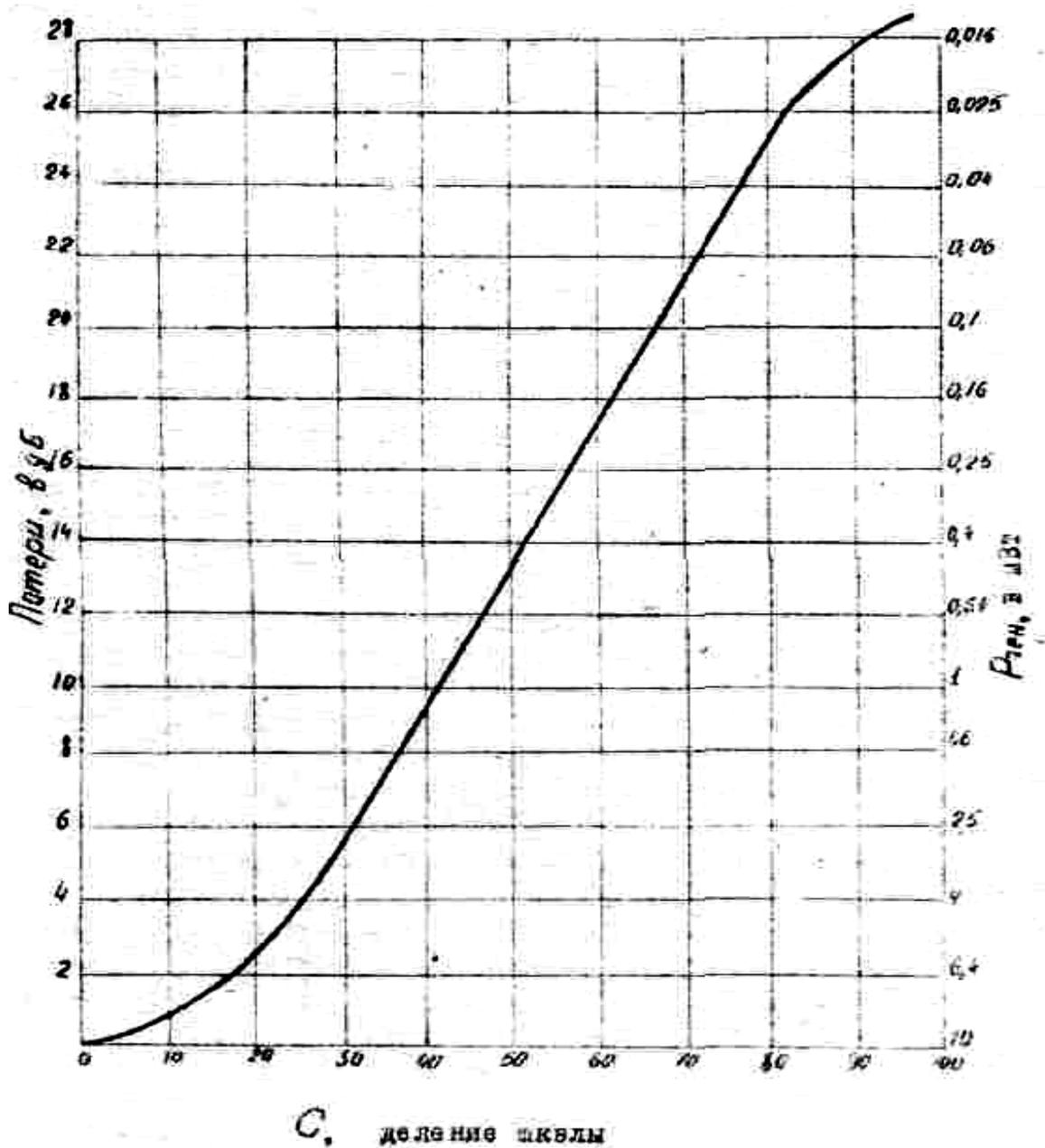


Рис. 12. Градуировочная кривая аттенюатора

3.3.2. Зависимости коэффициента усиления от ускоряющего напряжения $K_y = \psi(U_0)$, характеристика взаимодействия, и $K_y = \psi(I_0)$

от тока электронного пучка рекомендуется снимать следующим образом:

установить частоту генератора $f = \text{const}$;

аттенюатором генератора установить величину мощности с генератора на индикаторном приборе $P_{\text{ген}} = 1 - 2$ дел., при настроенной детекторной секции (положение переключателя III) при выведенном на нулевое деление аттенюаторе.

В дальнейшем принимается $P_{\text{ген}} = P_{\text{вх}}$ на ЛБВ;

механический переключатель поставить в положение I, при этом сигнал с генератора подается на ЛБВ; изменять ускоряющее напряжение U_0 при прочих постоянных электрических параметрах ($I_0 = \text{const}$; $f = \text{const}$; $P_{\text{вх}} = \text{const}$; I_0 изменяется управляющим напряжением $U_{\text{упр}}$), добиться усиление сигнала. Определить величину коэффициента усиления (пункт 3.3.1).

3.3.3 Амплитудные зависимости $P_{\text{вых}} = \psi(P_{\text{вх}})$ или $K_y = \psi(P_{\text{вх}})$ снимаются при постоянном ускоряющем напряжении $U_0 = \text{const}$. фиксированной частоте и при постоянном токе луча. Изменение входной мощности $P_{\text{вх}}$ осуществляется ручкой ослабления («дБ») задающего генератора, причём при малых значениях цифровой шкалы ослабления мощности $P_{\text{ген}}$ - мало, т.е. мощность, поданная на ЛБВ будет больше, чем при больших значениях на цифровой шкале ослабителя. Изменяя (увеличивая) входной сигнал (5-6 значений), измеряют коэффициент усиления K_y . Механический переключатель для каждого значения $P_{\text{вх}}$ поочередно ставиться то в положение III, то в положение I ($\alpha_{\text{ам}} I$). Измерение коэффициента усиления проводится по методике, описанной в пункте 3.3.1.

3.3.4. Частотные характеристики $K_y = \psi(f)$ при $U_0 = \text{const}$, $P_{\text{вх}} = \text{const}$ и при постоянном токе луча получаются так:

для пяти частот генератора (см. расчетное задание) снимаются зависимости $K_y = \psi(U_0)$, как в пункте 3.3.2.;

из полученного семейства характеристик $K_y = \psi(U_0)$ при $f_i = \text{const}$ строятся частотные зависимости для трех постоянных напряжений, т.е. $U_{0i} = \text{const}$. Желательно, чтобы одним из значений $U_{0i} = \text{const}$ была величина из пункта 3.1. (домашнее расчетное задание).

3.4 Порядок выполнения работы

3.4.1. К началу работы схема собрана, все подключения к ЛБВ выполнены. Следует ознакомиться с элементами и устройствами измерительной установки.

3.4.2. Поставить волноводный переключатель в положение III. Включить клистронный генератор, режим работы – непрерывный. Освоить перестройку частоты и регулировку мощности генератора.

3.4.3. Включить «СЕТЬ» блока питания ЛБВ. После 5 минутного прогрева включить высокое напряжение.

3.4.4. Настроить генератор на одну из использованных частот в расчетном задании. Получить и добиться максимальных показаний индикаторного прибора детекторной секции установки (настроить секцию поршнем). Установить величину мощности на входе ЛБВ,

как рекомендовано в пункте 3.3.1. Подать сигнал с генератора на ЛБВО.

3.4.5. Снять зависимость коэффициента усиления от ускоряющего напряжения (см. пункт 3.3.1) для 5 частот диапазона, указанных в расчетном задании в найденных областях усиления. Для этого изменять напряжение анода в пределах 550-750В, при постоянном токе $I_0 \leq 1.5$ мА, найти область напряжений, где имеется усиление сигнала. Данные занести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты эксперимента исследования зависимости $K_y = \psi(U_0)$

| $J_0 = \text{const}, P_{\text{вх}} = \text{const}$ | | | | | | |
|--|--|------------|------------------------------|-------------|------------------------|---------|
| f_i ГГц | Для каждой частоты f_i мин. три значения для остальных величин | U_0 В | $\alpha_{\text{ам}} I$ дБ | K_y дБ | $K_{\text{ус}}$ Раз | Примеч. |
| | | | | | | |

3.4.6. Снять амплитудную зависимость $K_y = \psi(P_{\text{вх}})$ при $f = \text{const}$, $U_0 = \text{const}$ (величина U_0 оговорена в расчетном задании) $I_0 = \text{const}$. Результаты измерения занести в табл. 4

3.4.7. Снять характеристику взаимодействия $K_y = \psi(U_0)$ для двух значений $P_{\text{вх}}$, но на частоте, использованной в пункте 3.4.5. Обратить внимание на сдвиг максимума кривой $K_{y0} = \psi(U_0)$ или $P_{\text{вых}} = \psi(U_0)$ при увеличении входной мощности и оценить величину

этого сдвига, объяснить физику процессов. Результаты измерения занести в табл. 4

Таблица 4

Результаты эксперимента по исследованию амплитудных характеристик и характеристик взаимодействия

| | | | | | | |
|--|------------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|--|
| $f_i = \text{const}, U_0 = \text{const}, J_0 = \text{const}; \quad f_i = \text{const}, J_0 = \text{const}$ $f_i = \text{const}, J_0 = \text{const}$ | | | | | | |
| Амплитудная характеристика | | | Характеристика взаимодействия | | | |
| $P_{\text{вх}}$ | $\alpha_{\text{ам}} I$ | K_y | $P_{\text{вх1}} = \text{const}$ | U_0 | K_y | Примеч. |
| дел. | дБ | дБ | дел | В | дБ | |
| | | | $P_{\text{вх2}} = \text{const}$ | | | $P_{\text{вх}} = 1 \text{ мВ}$ при ослаблении на цифровом индикаторе 1,65 дБ |

3.4.8. Снять зависимость $K_y = \psi(I_0)$ при $f = \text{const}, U_0 = \text{const}, P_{\text{вх}} = \text{const}$. Изменяя $U_{\text{упр}}$ через 3В, измерять величину тока (поддерживать $I_0 \leq 1,5 \text{ мА}$). Данные измерения занести в табл. 5

Таблица 5.

Результаты эксперимента для регулировочной характеристики

| | | | | | | |
|--|-------|------------------------|-------|-----------------|--|------------|
| $f = \text{const}, U_0 = \text{const}, P_{\text{вх}} = \text{const}$ | | | | | | примечание |
| $U_{\text{упр}}$ | I_0 | $\alpha_{\text{ам}} I$ | K_y | $K_{\text{ус}}$ | | |
| В | А | дБ | дБ | Раз | | |

3.4.9. Построить семейство частотных характеристик, используя данные п.3.4.5 для трех значений ускоряющего напряжения, т.е. $K_y = \psi(I_0)$ при $U_0 = \text{const}$.

Таблица 6

Перевод децибелов в отношения мощностей

| K_y дБ | $P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}$ | K_y дБ | $P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}$ |
|----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| 0 | 1 | 7 | 5,012 |
| 0,2 | 1,047 | 8 | 6,31 |
| 0,4 | 1,096 | 9 | 7,943 |
| 0,6 | 1,148 | 10 | 10 |
| 0,8 | 1,202 | 12 | 15,85 |
| 1 | 1,259 | 14 | 25,12 |
| 2 | 1,585 | 16 | 39,81 |
| 3 | 1,995 | 18 | 63,10 |
| 4 | 2,512 | 20 | 100 |
| 5 | 3,162 | 25 | 316,2 |
| 6 | 3,981 | 30 | 1000 |

Пояснения к таблице 6

Если измеренное число дБ в таблице отсутствует, то его легко получить следующим образом. Например,

$$22,4 \text{ дБ} = 20 \text{ дБ} + 2 \text{ дБ} + 0,4 \text{ дБ}$$

$$P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}} = (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}})_{20 \text{ дБ}} \cdot (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}})_{2 \text{ дБ}} \cdot (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}})_{0,4 \text{ дБ}}$$

$$P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}} = 100 \cdot 1,585 \cdot 1,096 = 174,35$$

4 Контрольные вопросы

- 4.1. Зачем в ЛБВ необходимо использовать замедляющие системы?
- 4.2. Какое соотношение между фазовой скоростью волны и скоростью электронов должно выполняться для эффективной передачи энергии от электронов волне в лампах типа «О»?
- 4.3. Как оценить величину коэффициента замедления спирали по известным её геометрическим размерам и по электрическому режиму?
- 4.4. Изобразите схему устройства усилителя ЛБВО?
- 4.5. Каково значение поглотителя в ЛБВ?
- 4.6. Принцип действия ЛБВ типа «О».
- 4.7. Как зависит оптимальное напряжение на ЗС ЛБВ типа «О» от частоты усиливаемых колебаний ?
- 4.8. Чем определена и ограничена полоса частот усиливаемых колебаний ЛБВ типа «О» ?
- 4.9. Как выглядит амплитудная характеристика усилителя на ЛБВ ? Чем объясняется насыщение выходной мощности при увеличении входной мощности ЛБВ типа «О» ?
- 4.10. Как объяснить уменьшение коэффициента усиления ЛБВ типа «О» при изменении напряжения на ЗС относительно его оптимального значения ?
- 4.11. Объяснить принцип работы установки при снятии АХЧ.
- 4.12. Какие характеристики в работе измеряются, а какие строятся ?
- 4.13. Какова методика снятия амплитудных характеристик?
- 4.14. Как в установке изменяется и измеряется частота генератора?
- 4.15. Методика измерения в работе коэффициента усиления ЛБВ.

5 Содержание отчета.

В отчет должны быть включены

- 5.1 Схема измерительной установки и цель работы.
- 5.2 Таблицы и графики зависимости $K_y = \psi(U_0)$ для разных частот.
- 5.3 Таблицы и графики зависимости $K_y = \psi(f)$ при трех значениях $U_0 = \text{const}$ расчетные и экспериментальные.
- 5.4 Оценить рабочую полосу частот ЛБВ по расчетной и экспериментальной кривым $K_y = \psi(f)$.
- 5.5 Графики и таблицы зависимости $K_y = \psi(P_{\text{вх}})$.
- 5.6 Графики и таблицы зависимости $K_y = \psi(U_0)$ при различных уровнях мощности $P_{\text{вх}}$.
- 5.7 Графики и таблицы зависимости $K_y = \psi(J_0)$ при $U_0 = \text{const}$.
- 5.8 Зависимость оптимального напряжения на ЛБВ от частоты усиливаемых колебаний, т.е. $U_{\text{опт(в)}} = \psi(f)$ при $K_{\text{опт}}$ (по данным 5.2).
- 5.9 Анализ результатов и выводы.

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 / Соколова Ж.М.–Томск, ТИАСУР, 1977, ротапринт