

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

(УВ-1)

Утверждено на заседании каф. 405 31.08.06 (Протокол №1) как
учебно-методическое руководство

МОСКВА 2004

Цель работы – ознакомиться с устройством и принципом действия лампы бегущей волны (ЛБВ) десятисантиметрового диапазона с фокусировкой электронного пучка с помощью соленоида (фокусирующей катушки), а также экспериментально исследовать основные характеристики и параметры ЛБВ.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема лабораторной установки для исследования ЛБВ десятисантиметрового диапазона с фокусировкой электронного пучка с помощью соленоида (фокусирующей катушки) приведена на рисунке 1. Питание ЛБВ осуществляется блоком питания, состоящего из двух блоков B_1 и B_2 и питающего все электроды ЛБВ.

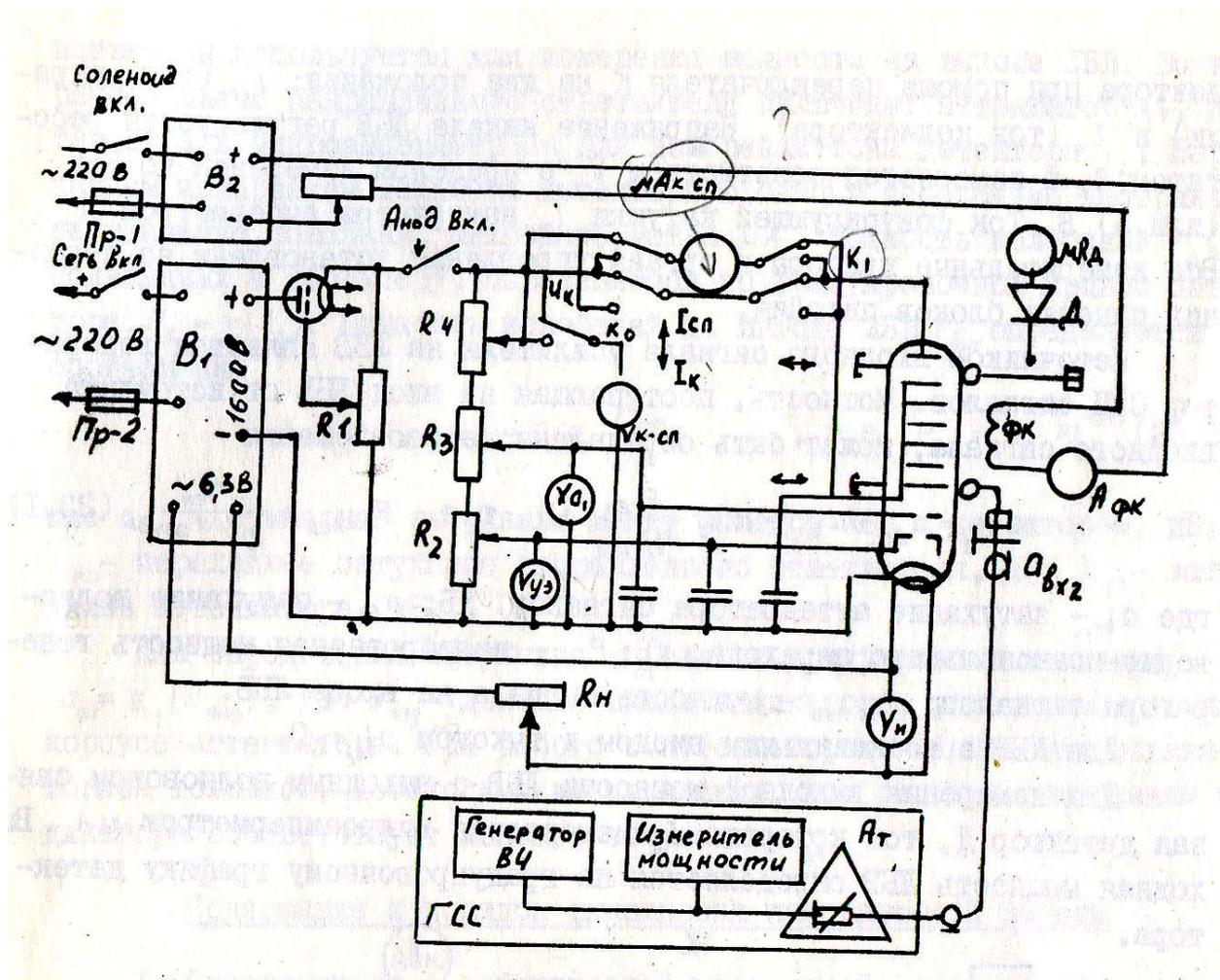


Рисунок 1. Схема лабораторной установки для исследования ЛБВ десятисантиметрового диапазона с фокусировкой электронного пучка с помощью соленоида: ГСС – генератор стандартных сигналов; $\alpha_{\text{ВХ1}}$ – затухание аттенюатора генератора сигналов; ФК – фокусирующая катушка; Д – детектор.

На выходе стабилизированного выпрямителя V_1 , дающего выпрямленное напряжение около 600 В, включен делитель напряжения (резисторы $R_2 - R_3 - R_4$), с которого снимаются необходимые для питания электродов ЛБВ напряжения. Напряжение на делителе $R_2 - R_3 - R_4$ устанавливается первоначальной регулировкой стабилизатора при помощи регулируемого резистора R_1 . Все напряжение, снимаемое с делителя, подается на коллектор ЛБВ и измеряется вольтметром $V_{\text{К-СП}}$ с пределом измерений 500 В. Этим же вольтметром может быть измерено напряжение на спирали. Для этого служит тумблер K_2 , имеющий два положения: $U_{\text{СП}}$ (напряжение на спирали) и $U_{\text{К}}$ (напряжение на коллекторе). Напряжение на спирали $U_{\text{СП}}$ регулируется потенциометром R_4 . Напряжение на первом аноде $U_{\text{А1}}$ регулируется потенциометром R_3 и измеряется вольтметром $V_{\text{А1}}$ с пределом измерений до 100 В. Для измерения напряжения на управляющем электроде $U_{\text{УЭ}}$ служит вольтметр $V_{\text{УЭ}}$ с пределом измерений до 25 В. Напряжение на управляющем электроде регулируется потенциометром R_2 . Ток спирали $I_{\text{СП}}$ и ток коллектора $I_{\text{К}}$ измеряются микроамперметром $\text{мкА}_{\text{К-СП}}$ с пределом измерений до 500 мкА. Микроамперметр $\text{мкА}_{\text{К-СП}}$ может быть включен в цепь спирали или коллектора при помощи переключателя K_1 на два положения: $I_{\text{СП}}$ (ток спирали) и $I_{\text{К}}$ (ток коллектора). Напряжение накала ЛБВ регулируется реостатом $R_{\text{Н}}$ и измеряется вольтметром $V_{\text{Н}}$ с пределом измерений до 7,5 В. Ток фокусирующей катушки $I_{\text{ФК}}$ измеряется амперметром $A_{\text{ФК}}$. Все измерительные приборы и органы управления установлены на передней панели блока питания.

Источником входного сигнала усилителя на ЛБВ является генератор сигналов СВЧ типа Г4-80. Мощность сигнала на входе ЛБВ может быть определена из соотношения (1).

$$P_{\text{ВХ ЛБВ}} = P_{\text{ГЕН}} / 10^{0,1 \alpha_{\text{ВХ}}} \quad (1)$$

где: $\alpha_{\text{ВХ}}$ – затухание аттенюатора генератора сигналов в дБ;

$P_{\text{ген}} = 1 \text{ Вт}$ – калиброванная мощность генератора.

$P_{\text{вх ЛБВ}}$ – мощность сигнала на входе ЛБВ.

Для измерения выходной мощности ЛБВ с выходным волноводом связан детектор Д, ток которого измеряется микроамперметром мкА_д. Микроамперметр проградуирован в мощности колебаний, поступающих на детектор.

СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, назначением измерительных приборов и органов управления, расположенных на передних панелях блока питания и генератора стандартных сигналов.

2. Ручку реостата "Напряжение накала" и ручки всех потенциометров, регулирующих напряжения на электродах ЛБВ и ток соленоида, установить в крайнее левое положение. Тумблером "Сеть" включить блок питания и дать прогреться катодам ламп блока питания в течение 2-3-х минут. Тумблером "Анод" включить блок питания. Включить генератор.

3. Снять зависимость выходной мощности от тока фокусирующей катушки $P_{\text{ВЫХ}} = f_1(I_{\text{ФК}})$ при $P_{\text{ВХ}} = \text{const}$, $f = \text{const}$, $U_{\text{СП}} = U_{\text{СП ОПТ}} = \text{const}$ и постоянных напряжениях на остальных электродах, указанных в таблице 1.

Фокусирующая катушка в ЛБВ предназначена для предотвращения поперечной расфокусировки электронных сгустков, происходящей под действием объемного заряда электронов в сгустках. Следовательно, изменяя ток в фокусирующей катушке, мы тем самым изменяем величину напряженности продольного магнитного поля. При малых токах, протекающих через катушку, величина напряженности магнитного, препятствующего уходу электронов на замедляющую систему (ЗС), недостаточна и значительная часть электронов попадает на ЗС, т.е. не участвует в процессе преобразования энергии, поэтому выходная мощность мала. По мере увеличения $I_{\text{ФК}}$ возрастает удерживающая со стороны магнитного поля сила и все больше электронов передают энергию бегущей СВЧ волне, в результате выходная СВЧ мощность возрастает. При больших напряженностях магнитного поля (большие значения $I_{\text{ФК}}$) выходная

мощность падает из-за уменьшения сопротивления связи (электроны "прижимаются" полем ближе к оси ЛБВО и взаимодействуют с меньшей напряженностью продольного электрического СВЧ поля).

Для снятия указанной зависимости перевести переключатель K_1 в положение $I_{СП}$ (ток спирали). Установить заданное напряжение на коллекторе U_K и после этого напряжение на первом аноде U_{A1} и управляющем электроде $U_{УЭ}$. Установить ток соленоида, соответствующий минимальному току спирали. Подать на вход ЛБВ сигнал от ГСС, величина которого задается в таблице 1, и изменением напряжения на спирали добиться максимума выходной мощности ЛБВ (максимум показаний микроамперметра детектора мкА_д). Определенное таким образом напряжение на спирали будет соответствовать оптимальному напряжению $U_{СП\text{ опт}}$. Изменяя ток соленоида от $I_{ФК\text{ мин}}$, при котором появляется мощность на выходе ЛБВ (микроамперметр мкА_д при этом должен быть переключен на шкалу с наименьшим пределом измерений), до $I_{ФК\text{ макс}}$, измерить мощность для 8-10 значений $I_{ФК}$.

Экспериментальные данные занести в таблицу 1 и затем построить зависимость $P_{ВЫХ} = f(I_{ФК})$ при $P_{ВХ} = \text{const}$, $f = \text{const}$, $U_{СП} = U_{СП\text{ опт}} = \text{const}$ и постоянных напряжениях на остальных электродах. Определить $I_{ФК} = I_{ФК\text{ опт}}$, соответствующее максимальной мощности на выходе ЛБВ.

Таблица 1.

$P_{ВХ} = 0.02$ мкВт; $U_H = 2,6$ В; $U_{УЭ} = 8$ В; $U_{A1} = 80$ В; $U_K = 450$ В; $f = 2700$ МГц; $U_{СП} = U_{СП\text{ опт}}$	
$I_{ФК}$, А	
$P_{ВЫХ}$, мкВт	

4. Снять характеристику взаимодействия $P_{ВЫХ} = f_2(U_{СП})$ при $P_{ВХ} = \text{const}$, $f = \text{const}$, $I_{ФК} = I_{ФК\text{ опт}} = \text{const}$ и постоянных напряжениях на остальных электродах, указанных в таблице 2.

При варьировании напряжения на спирали происходит изменение скорости электронов, поступающих в замедляющую систему, где распространяется электромагнитная волна. Доля кинетической энергии, передаваемой электронным потоком электромагнитной волне, зависит от их скоростей, т.е. от относительного угла пролета $\varphi = \omega(1/v_{Ф} - 1/v_e)$, где ω и $v_{Ф}$ – частота и фазовая скорость электромагнитной

волны, соответственно, v_e – скорость электронного потока. При $\varphi=\pi$ усредненная за период энергия, передаваемая волне от пучка, будет максимальной. В этом случае электронный сгусток находится все время в тормозящем поле волны и отдает максимум энергии.

При увеличении v_e (по сравнению со случаем $\varphi=\pi$) φ уменьшается. В этом случае уменьшается коэффициент модуляции электронного пучка по скорости, электроны группируются в сгустки дальше от входа ЛБВ (ближе к выходу) и сгусток меньшее время взаимодействует с волной. Энергия, отдаваемая волне, падает.

При уменьшении v_e (по сравнению со случаем $\varphi=\pi$) φ увеличивается. Часть электронов сгустка в области выхода ЛБВ попадает в ускоряющее поле волны и, следовательно, забирают энергию у волны. Вследствии этого выходная мощность падает. При некотором значении $v_e < v_\phi$ мощность падает до нуля, в этом случае электроны формируются в сгустки в области ускоряющего поля волны, т.е. они ускоряются волной и, следовательно, отбирают энергию у нее.

Снятие характеристики взаимодействия производить в следующем порядке. Установить величину тока фокусирующей катушки $I_{\text{ФК}} = I_{\text{ФК опт}}$. Напряжение на спирали $U_{\text{СП}}$ изменять через (5 – 10) В, начиная с момента появления показаний прибора мкА_д и до значения $U_{\text{СП}}$, при котором мощность $P_{\text{ВЫХ}}$ уменьшится до нуля.

Экспериментальные данные занести в таблицу 2 и затем построить зависимость $P_{\text{ВЫХ}} = f_2(U_{\text{СП}})$ при $P_{\text{ВХ}} = \text{const}$, $f = \text{const}$, $I_{\text{ФК}} = I_{\text{ФК опт}} = \text{const}$ и постоянных напряжениях на остальных электродах.

Таблица 2.

$P_{\text{ВХ}} = 0.02$ мкВт; $U_{\text{Н}}=2,6$ В; $U_{\text{УЭ}}=8$ В; $U_{\text{А1}}=80$ В; $U_{\text{К}}=450$ В; $f=2700$ МГц; $I_{\text{ФК}} = I_{\text{ФК опт}}$	
$U_{\text{СП}}$, В	
$P_{\text{ВЫХ}}$, мкВт	

5. Снять амплитудную характеристику $P_{\text{ВЫХ}} = f_3(P_{\text{ВХ}})$ при $f = \text{const}$, $U_{\text{СП}} = U_{\text{СП опт}} = \text{const}$, $I_{\text{ФК}} = I_{\text{ФК опт}} = \text{const}$ и при постоянных напряжениях на остальных электродах, указанных в таблице 3.

При увеличении амплитуды входного СВЧ сигнала возрастает модуляция электронного потока по скорости, электронные сгустки формируются ближе ко входу замедляющей системы, и по скольку средняя скорость сгустков определяется напряжением на спирали, относительный угол пролета будет возрастать, так как

возрастает расстояние, на котором сформированные сгустки взаимодействуют с волной. Доля передаваемой кинетической энергии от сгустков волне увеличивается, что приводит к росту выходной мощности $P_{\text{ВЫХ}}$. При больших уровнях входной мощности $P_{\text{ВЫХ}}$ начинает уменьшаться, что связано с перегруппировкой электронных сгустков из-за большой разности скоростей электронов, образующих сгустки, и продольной разгруппировкой сгустков. Часть электронов сгустков при приближении к выходу ЛБВ может вообще попасть в ускоряющую область СВЧ волны и забирать у нее энергию, что и вызывает уменьшение $P_{\text{ВЫХ}}$.

Снятие амплитудной характеристики рекомендуется производить в следующей последовательности. Установить напряжения на электродах ЛБВ, указанные в таблице 3. Мощность входного сигнала $P_{\text{ВХ}}$ изменять от 0,125 мкВт до 1 мВт через 3 дБ.

Таблица 3.

$U_{\text{Н}}=2,6 \text{ В}; U_{\text{УЭ}}=8 \text{ В}; U_{\text{А1}}=80 \text{ В}; U_{\text{К}}=450 \text{ В}; f=2700 \text{ МГц}; U_{\text{СП}} = U_{\text{СП ОПТ}}, I_{\text{ФК}} = I_{\text{ФК ОПТ}}$	
α , дБ	
$P_{\text{ВХ}}$, мкВт	
$P_{\text{ВЫХ}}$, мкВт	
$K_{\text{Р}}$, дБ	

Экспериментальные данные занести в таблицу 3, вычислить коэффициент усиления ЛБВ по мощности $K_{\text{Р}}= 10 \lg(P_{\text{ВЫХ}}/ P_{\text{ВХ}})$, дБ и на общем графике построить амплитудную характеристику $P_{\text{ВЫХ}} = f_3(P_{\text{ВХ}})$ и коэффициент усиления ЛБВ по мощности $K_{\text{Р}}= 10 \lg(P_{\text{ВЫХ}}/ P_{\text{ВХ}})$ при $f = \text{const}$, $U_{\text{СП}} = U_{\text{СП ОПТ}} = \text{const}$, $I_{\text{ФК}} = I_{\text{ФК ОПТ}} = \text{const}$ и при постоянных напряжениях на остальных электродах.

При построении указанных характеристик $P_{\text{ВХ}}$ и $P_{\text{ВЫХ}}$ откладывать в логарифмическом масштабе.