

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ
(УВ-23, УВ-45)**

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), а также экспериментально исследовать основные характеристики и параметры ЛБВ.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторный макет предназначен для исследования ЛБВ типа "О" 3-х сантиметрового диапазона типа УВ-23 (УВ-45).

Схема высокочастотных трактов ЛБВ приведена на рисунке 1. Источником входного сигнала служит генератор на ЛПД.

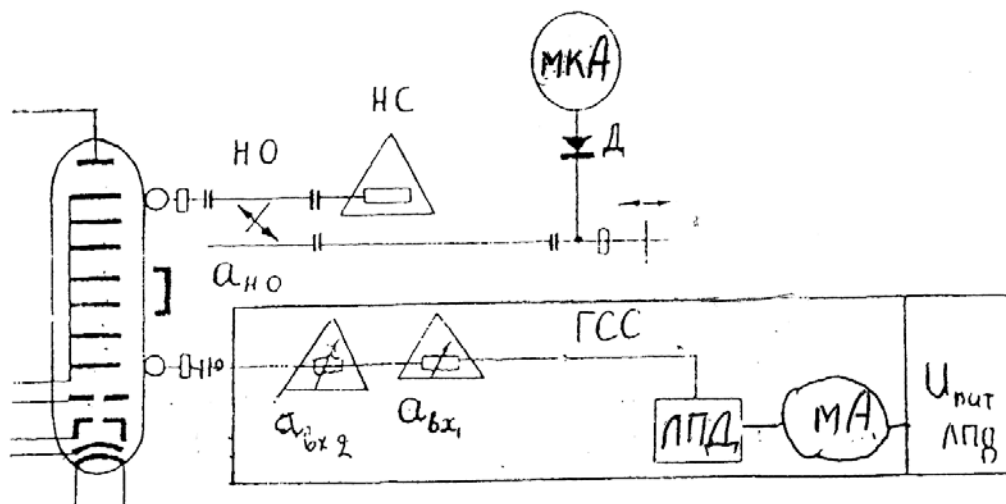


Рисунок 1. Схема входного и выходного волноводных трактов ЛБВ трехсантиметрового диапазона: НО – направленный ответвитель; $\alpha_{НО}$ – переходное затухание направленного ответвителя; НС – нагрузочное сопротивление; Д – детектор; ГСС – генератор стандартных сигналов; ЛПД – лавиннопролетный диод; $\alpha_{вх1}$ и $\alpha_{вх2}$ – затухание аттенюаторов ГСС.

При снятии характеристик установить ток ЛПД равным 3,44 мА для УВ-23 (2,7 мА для УВ-45). При этом значении тока ЛПД мощность на выходе генератора

$P_{\text{ген}}=1$ мВт, а частота генерируемых колебаний $f = 9130$ МГц. Мощность сигнала на входе ЛБВ $P_{\text{ВХ ЛБВ}}$ может быть определена из соотношения (1).

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

где: $\alpha_{\text{ВХ}} = \alpha_{\text{ВХ1}} + \alpha_{\text{ВХ2}}$ – затухание аттенюатора генератора сигналов в дБ;

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

Затухание аттенюаторов $\alpha_{\text{ВХ1}}$ (№164) и $\alpha_{\text{ВХ2}}$ (№173) генератора сигналов определяется по графикам градуировки этих аттенюаторов (см. Приложение).

С выхода ЛБВ колебания поступают в нагрузочное сопротивление (НС). Между выходом ЛБВ и НС включен НО с переходным затуханием $\alpha_{\text{НО}} = 9.6$ дБ. Вторичное плечо НО используется для измерения мощности на выходе ЛБВ. Во вторичное плечо НО включены: детектор Д и микроамперметр мкА_Д для измерения тока детектора. Микроамперметр проградуирован в мощности колебаний, поступающих на детектор. Перед каждым измерением мощности детекторную секцию необходимо настраивать на максимум показаний микроамперметра мкА_Д. Мощность колебаний на выходе ЛБВ $P_{\text{ВЫХ ЛБВ}}$ определяется из соотношения (2).

$$P_{\text{ВЫХ ЛБВ}} = P_{\text{Д}} \cdot 10^{0,1 \alpha_{\text{ВЫХ}}} \quad (2)$$

где: $\alpha_{\text{ВЫХ}} = \alpha_{\text{НО}}$ – затухание в децибелах между выходом ЛБВ и детектором;

$P_{\text{Д}}$ – мощность колебаний на детекторе.

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. Снять характеристику взаимодействия $P_{\text{ВЫХ ЛБВ}} = f_1(U_{\text{СП}})$ при $P_{\text{ВХ ЛБВ}} = \text{const}$ и при постоянных значениях напряжения накала $U_{\text{Н}}$ и напряжения на управляющем электроде $U_{\text{УЭ}}$, указанных в таблице 1.

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 $\varphi = \omega l(1/v_{\text{Ф}} - 1/v_{\text{е}})$, где ω и $v_{\text{Ф}}$ – частота и фазовая скорость электромагнитной волны, соответственно, $v_{\text{е}}$ – 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 $v_{\text{е}}$ (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 $v_{\text{е}}$ (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. Вследствие этого выходная мощность падает. При некотором значении $v_{\text{е}} < v_{\text{Ф}}$ 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.

Напряжение на спирали $U_{\text{СП}}$ изменять через 20 В, начиная с момента появления показаний прибора мкАд и до значения $U_{\text{СП}}$ при котором мощность $P_{\text{ВЫХ ЛБВ}}$ уменьшится до нуля.

Экспериментальные данные занести в таблицу 1 и построить график характеристики взаимодействия $P_{\text{ВЫХ ЛБВ}} = f_1(U_{\text{СП}})$ при $P_{\text{ВХ ЛБВ}} = \text{const}$ и при постоянных напряжениях на остальных электродах.

Определить $U_{\text{СП ОПТ}}$ как напряжение на спирали, при котором выходная мощность принимает максимальное значение.

Таблица 1.

$U_{\text{Н}} = 6,3 \text{ В}; U_{\text{УЭ}} = -7,5 \text{ В}; P_{\text{ВХ ЛБВ}} = 1 \text{ мкВт}; f = 9130 \text{ МГц}$	
$U_{\text{СП}}, \text{ В}$	

P_d , мкВт	
$\alpha_{\text{ВЫХ}}$, дБ	
$P_{\text{ВЫХ ЛБВ}}$, мкВт	

3. Снять амплитудную характеристику $P_{\text{ВЫХ ЛБВ}} = f_2(P_{\text{ВХ ЛБВ}})$ при $f = \text{const}$, $U_{\text{СП}} = U_{\text{СП ОПТ}} = \text{const}$ и при постоянных напряжениях на остальных электродах, указанных в таблице 2.

При увеличении амплитуды входного СВЧ сигнала возрастает модуляция электронного потока по скорости, электронные сгустки формируются ближе ко входу замедляющей системы, и по сколько 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 $P_{\text{ВЫХ}}$.

Таблица 2.

$U_H = 6,3 \text{ В}; U_{УЭ} = -7,5 \text{ В}; U_{\text{СП}} = U_{\text{СП ОПТ}}; f = 9130 \text{ МГц}$	
$\alpha_{\text{ВХ1}}$, дБ	
$\alpha_{\text{ВХ2}}$, дБ	
$P_{\text{ВХ ЛБВ}}$, мкВт	
P_d , мкВт	
$\alpha_{\text{ВЫХ}}$, дБ	
$P_{\text{ВЫХ ЛБВ}}$, мкВт	
K_p , дБ	

Снятие амплитудной характеристики рекомендуется производить в следующей последовательности. Установить напряжения на электродах ЛБВ, указанные в таблице 2.

Мощность входного сигнала $P_{ВХ ЛБВ}$ изменять с помощью аттенуаторов от 0,0625 мкВт ($\alpha_{вх} = -42$ дБ) до 1 мВт ($\alpha_{вх} = 0$ дБ) через 3 дБ.

Экспериментальные данные занести в таблицу 2, вычислить коэффициент усиления ЛБВ по мощности $K_p = 10 \lg(P_{ВЫХ} / P_{ВХ})$, дБ и на общем графике построить амплитудную характеристику $P_{ВЫХ ЛБВ} = f_2(P_{ВХ ЛБВ})$ и коэффициент усиления ЛБВ по мощности $K_p = 10 \lg(P_{ВЫХ ЛБВ} / P_{ВХ ЛБВ})$ при $f = \text{const}$, $U_{СП} = U_{СП ОПТ} = \text{const}$ и при постоянных напряжениях на остальных электродах.

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

4. Снять зависимость выходной мощности от тока коллектора $P_{ВЫХ ЛБВ} = f_3(I_K)$ при $P_{ВХ ЛБВ} = 8$ мкВт и $U_{СП} = U_{СП ОПТ}$.

Увеличение тока коллектора происходит за счет изменения напряжения на управляющем электроде $U_{УЭ}$ электронной пушки. Уменьшение напряжения $U_{УЭ}$ (по абсолютной величине) вызывает увеличение количество электронов, эмитируемых катодом, т.е. увеличение тока пучка. В результате этого энергия, передаваемая от электронов СВЧ волне, возрастает, что и является причиной роста $P_{ВЫХ ЛБВ}$.

Ток коллектора изменять путем изменения напряжения на управляющем электроде $U_{УЭ}$ от -50 В до -15 В через 5 В.

Экспериментальные данные занести в таблицу 3 и построить график $P_{ВЫХ} = f_3(I_K)$ при $P_{ВХ ЛБВ} = 8$ мкВт и $U_{СП} = U_{СП ОПТ}$.

Таблица 3.

$U_H = 6,3$ В; $P_{ВХ ЛБВ} = 8$ мкВт; $U_{СП} = U_{СП ОПТ}$; $f = 9130$ МГц	
I_K , мА	
P_D , мкВт	
$\alpha_{ВЫХ}$, дБ	
$P_{ВЫХ}$, мкВт	