

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт им. С.П.Королева

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО КУРСУ  
«РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА»

Утвержден редакционным  
советом института 30 мая 1968 года

Куйбышев - 1969

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Правила выполнения работ в лаборатории .....	5
Оформление отчета .....	6
Правила безопасности для студентов, работающих в лаборатории ...	6
Описание установки для исследования автогенератора дециметровых волн ДМВ .....	7
<u>Работа № 1</u> Исследование автогенератора дециметровых волн на коаксиальных линиях в непрерывном режиме генерации .....	15
<u>Работа № 2</u> Исследование автогенератора дециметровых волн в импульсном режиме .....	22
<u>Работа № 3</u> Исследование импульсного магнетронного передатчика.	29
<u>Работа № 4</u> Исследование генератора с независимым возбуждением на лампе с бегущей волной (ЛБВ) .....	45
<u>Работа № 5</u> Исследование отражательного клистрона .....	57
Описание установки для исследования импульсных модуляторов .....	73
<u>Работа № 6</u> Исследование импульсного модулятора с частичным разрядом накопительной емкости .....	78
<u>Работа № 7</u> Исследование импульсного модулятора с полным разрядом накопительной емкости .....	86

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО КУРСУ  
"РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА"

Составитель - Л.В.МАКАРОВА  
Ответственный редактор - Г.В.АБРАМОВ  
Редактор - А.И.КОНДРАТЬЕВА  
Корректор - И.Б.ГРИДИНА

Подписано в печать 31/ХП-68 г. ЕО 00301. Формат бумаги 60 x 84<sup>I</sup>/<sub>16</sub>.  
Объем 5,75 печ.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Куйбышевский авиационный институт им. С.П.Королева, г.Куйбышев,  
ул.Молодогвардейская, 151.

Ротапечатьный цех областной типографии им.Мяги управления по печати при Куйбышевском облисполкоме, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.

Цена 28 коп.

При выполнении первой части лабораторных работ рекомендуется пользоваться пособием „Лабораторный практикум по радиопередающим устройствам“ под редакцией А.А.Корнеева, изданным в 1966 году кафедрой радиопередающих устройств ИЭИ.

Настоящий лабораторный практикум является руководством для студентов, выполняющих вторую часть лабораторных работ по курсу „Радиопередающие устройства“. В нем содержатся описания лабораторных работ по исследованию генераторов СВЧ.

Лабораторные работы охватывают основные разделы курса. При подготовке и выполнении их студенты закрепляют теоретический материал, получаемый при слушании курса и самостоятельном изучении дисциплины, а также приобретают практические навыки проведения экспериментов и знакомятся с конструкцией радиосхем. Большинство лабораторных работ выполняется на основе промышленных образцов радиотехнических устройств.

При написании руководства автор не стремился излагать теоретический материал, за исключением тех разделов, которые не освещены в общедоступной литературе. Порядок изложения материала по мере возможности сохранен такой же, как и в первой части практикума. Вначале помещены правила выполнения работ в лаборатории и правила безопасности. Описания установок для исследования коаксиального автогенератора ДМВ и установки для исследования импульсных модуляторов выделены, поскольку они относятся к нескольким работам.

В конце описания каждой работы имеются контрольные вопросы, помогающие студентам проверить свою подготовку к ней.

#### Перечень основных обозначений и сокращений

ГСС - генератор стандартных сигналов;

дм - дециметровый;

ДМВ - дециметровые волны;

$K_{ос}$  - коэффициент обратной связи;

- $K_{зр}$  - коэффициент обратной связи, соответствующий граничному режиму генераторной лампы;
- $D_p$  - дроссель;
- $C$  - емкость;
- $L$  - индуктивность;
- $\Lambda$  - лампа;
- $R$  - сопротивление;
- $ИП$  - измерительный прибор;
- $B$  - выключатель;
- $\Pi$  - переключатель;
- $J_{г.}$  - постоянная составляющая сеточного тока;
- $J_{к.}$  - постоянная составляющая катодного тока;
- $J_{а.}$  - постоянная составляющая анодного тока;
- $МГИ$  - генератор импульсов;
- $\nu.ч.$  - высокочастотный;
- $l_{аг}$  - длина анодно-сеточной колебательной системы;
- $l_{гк}$  - длина сеточно-катодной колебательной системы;
- $P$  - мощность;
- $U$  - амплитуда переменного напряжения;
- $E$  - напряжение постоянного тока;
- $\lambda$  - длина волны;
- $\omega$  - круговая частота;
- $W$  - волновое сопротивление;
- $z$  - радиус;
- $C_{св}$  - емкость связи колебательной системы с нагрузкой;
- $E_g$  - напряжение смещения;
- $СВЧ$  - сверхвысокие частоты;
- $МНСЧ$  - междуведомственная нормаль системы чертежного хозяйства;
- $T$  - период;
- $T$  - длительность импульса;
- $T_{заг}$  - время задержки;
- $C_{о.с.}$  - емкость дополнительной обратной связи.

## ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ

1. Длительность лабораторных работ для студентов устанавливается 4 часа.

2. Все лабораторные занятия проводятся по расписанию, заблаговременно вывешенному в лаборатории РПУ.

3. Каждая группа заранее разбивается на бригады (по 3-4 человека в одной бригаде).

4. При подготовке к работе студенты должны строго выполнять весь объем домашней подготовки, указанный в описании соответствующих лабораторных работ в пункте «выполняется при подготовке».

5. Выполнению каждой работы предшествует проверка готовности студента, которая производится преподавателем.

6. После выполнения работы бригада должна представлять отчет о проделанной работе с обсуждением полученных результатов и выводами.

7. Окончательная оценка по лабораторной работе выставляется на основании предварительного опроса, с учетом качества выполнения работы в лаборатории и качества представленного отчета. Отчет предъявляется каждым студентом индивидуально.

8. Студенты, не получившие удовлетворительной оценки, к следующей работе не допускаются.

9. Семестровый зачет по лаборатории выставляется на основании зачета по выполненным работам по четырехбалльной системе и учитывается на экзаменах по курсу.

10. Студенты, пропустившие лабораторную работу или не допущенные к работе, выполняют ее в конце семестра на дополнительных занятиях.

### Оформление отчета

Счет по лабораторной работе оформляется на бланках, выдаваемых лаборантом.

Каждый студент должен явиться на занятие, начертив на бланке принципиальную схему установки с необходимыми обозначениями элементов, выполнив теоретические расчеты и заготовив таблицы для занесения результатов эксперимента. Принципиальная схема чертится карандашом с помощью линейки в соответствии с требованиями МНСЧХ.

Графики вычерчиваются на листе бланка, а если его недостаточно, то на листах-вкладышах из миллиметровой бумаги. На координатных осях отмечается обозначение откладываемых величин, наносится масштаб, указывается размерность каждой величины.

Расчетному материалу должны предшествовать расчетные формулы. Перед каждой формулой пишется название рассчитываемой величины.

В конце отчета приводятся краткие выводы по результатам эксперимента.

Отчеты, выполненные небрежно и без учета вышеприведенных требований, приниматься не будут.

### ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ

1. Каждый студент обязан руководствоваться настоящей инструкцией и всеми дополнительными указаниями преподавателя о соблюдении мер безопасности при работе с высокими напряжениями.
2. Учебные работы без преподавателя и лаборанта выполнять не разрешается.
3. Перед выполнением задания необходимо ознакомиться с заданием и схемой, обратив особое внимание на высоковольтные цепи.
4. Необходимые в процессе работы изменения в схеме должны производиться при выключенном высоком напряжении.
5. Включение установки производится только с разрешения преподавателя.
5. Студент, включивший высокое напряжение, должен предупредить об этом остальных.
6. Запрещается оставлять без надзора включенные установки.
7. Запрещается касаться руками или какими-нибудь незондированными предметами проводов и деталей, находящихся под высоким напряжением.
8. Запрещается облокачиваться на установки и приборы, класть на них сумки и другие посторонние предметы.

9. Студенты, не выполняющие правил безопасности, будут удаляться из лаборатории.

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОГЕНЕРАТОРА ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН (ДМВ)

Для исследования автогенератора дециметровых волн в непрерывном (работа № 1) и импульсном (работа № 2) режимах используется генератор стандартных сигналов типа ГСС-12. Установка содержит автогенератор ДМВ, импульсный модулятор, выпрямитель и вольтметр.

#### А в т о г е н е р а т о р

На рис. 1 показана принципиальная схема автогенератора, модулятора, вольтметра.

Автогенератор выполнен на лампе Д5 и коаксиальных линиях по схеме с общей сеткой, имеет одностороннюю конструкцию и рассчитан на использование металлокерамического триода ГИ-11Б. В качестве колебательных систем применены две коаксиальные короткозамкнутые линии длин в четверть волны. Одна линия включена между анодом и сеткой лампы, другая — между сеткой и катодом. Перестройка генерируемой частоты производится изменением длины анодно-сеточной линии с помощью закорачивающего плунжера.

При изменении частоты необходимо одновременно подстраивать коэффициент обратной связи с тем, чтобы  $K_{ос} = K_{зр}$  на любой частоте. На коэффициент обратной связи влияет длина сеточно-катодной линии.

Для удобства настройки применено одноручечное управление, для чего закорачивающие плунжеры обеих линий жестко связаны.

Автогенератор имеет схему параллельного питания. Постоянное напряжение на анод лампы подается через дроссель Др4. Разделительные конденсаторы в анодно-сеточной и сеточно-катодной линиях С11, С13 выполнены конструктивно в виде слюдяных прокладок. Напряжение накала подается через LC фильтры высокой частоты. Для устойчивой генерации во всем рабочем диапазоне применяется дополнительная емкостно-кондуктивная обратная связь между контурами. Величина связи подбирается с помощью емкости С14.

Автогенератор имеет два отдельных выхода: мощный — «ватты» и микровольтовый — «милль». Главная регулировка уровня мощного выхода производится

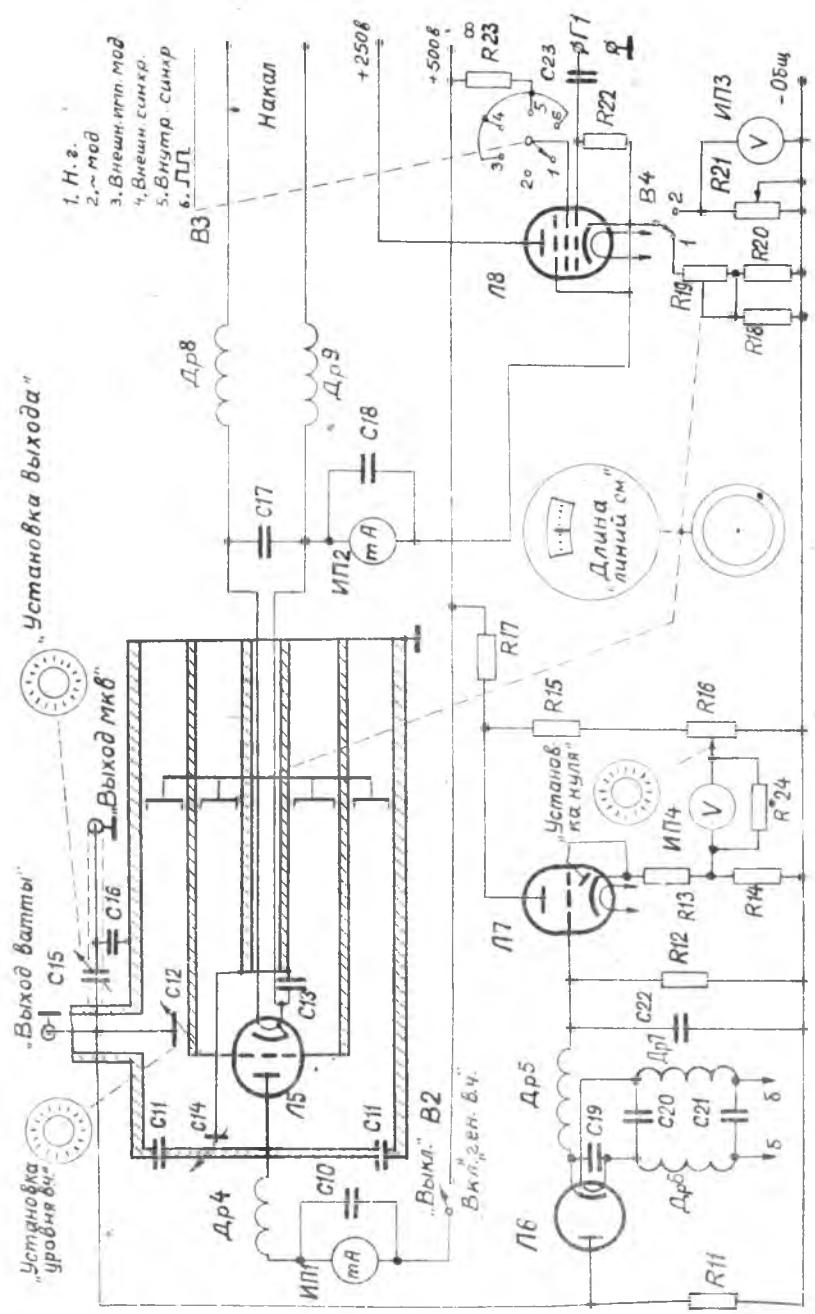


Рис. 1. Принципиальная схема установки для исследования коаксиального автогенератора дециметровых волн.



ся изменением емкостной связи с нагрузкой - "Установке уровня в.ч." (C12). Для микровольтного выхода применен емкостный аттенватор "Установка выхода" (C15, C16). Неподвижный (возбуждающий) электрод микровольтного аттенватора имеет контакт с подвижной пластиной емкости связи с нагрузкой, с помощью которой можно установить вполне определенный потенциал высокой частоты на возбуждающем электроде микровольтного аттенватора. Аттенватор изменяет выходное напряжение по логарифмическому закону. Шкала аттенватора проградуирована в микровольтах и в децибелах относительно одного ватта.

Длина анодно-сеточной линии, а следовательно, и сеточно-катодной, изменяется с помощью ручки, установленной на передней панели. Отсчет длины производится по лимбу "Длина линий". Одному обороту ручки настройки соответствует перемещение плунжера на 5 мм.

Смещение катода создается за счет протекания катодного тока генераторной лампы по сопротивлению либо  $R18 - R20$ , либо по сопротивлению  $R21$ . Сопротивление  $R19$  - переменное, автоматически изменяется при изменении длины линий и служит для создания оптимального режима лампы при перестройке частоты. При включении переключателя В4 в положение "2" исследуется зависимость режима генераторной лампы от изменения напряжения смещения  $E_g$ , которое изменяется с помощью потенциометра  $R21$  и контролируется вольтметром ВВ3, внесенным на переднюю панель. Блокировочной емкостью является емкость C13. Для контроля режима генераторной лампы служат приборы ИП1 и ИП2. Прибор ИП1 измеряет постоянную составляющую анодного тока  $I_{a0}$ , прибор ИП2 - катодного тока  $I_{k0}$ . Сеточный ток  $I_{g0}$  определяется как разность этих токов. Схематичное изображение конструкции автогенератора показано на рис.2, где цифрами обозначены следующие элементы:

- 1 - вывод анода генераторной лампы;
- 2 - блокировочный конденсатор в цепи анода C11;
- 3 - вывод сетки генераторной лампы;
- 4 - емкость связи с нагрузкой C12;
- 5 - переменная емкость в емкостном аттенваторе микровольтного выхода C15;
- 6 - распорная диэлектрическая втулка;
- 7 - вывод катода генераторной лампы;
- 8 - вывод накала;
- 9 - блокировочный конденсатор в сеточной цепи C14;
- 10 - сеточно-катодная колебательная система;
- 11 - анодно-сеточная колебательная система;

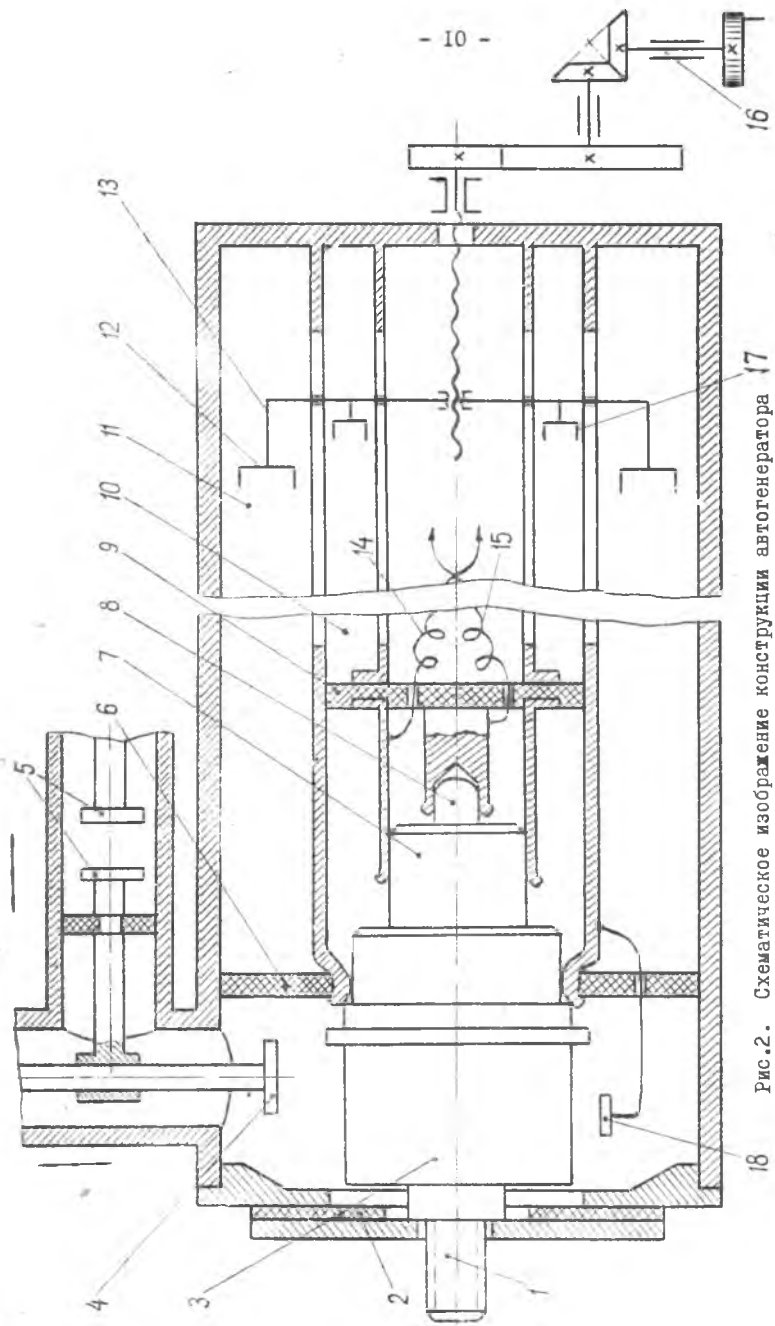


Рис.2. Схематическое изображение конструкции автогенератора дециметровых волн.

- I2 - короткозамыкающий поршень в анодно-сеточной колебательной системе;
- I3 - тяга;
- I4 - вывод катода и накала;
- I5 - вывод накала;
- I6 - привод;
- I7 - короткозамыкающий поршень в сеточно-катодной колебательной системе;
- I8 - дополнительная емкость обратной связи СI4.

### М о д у л я т о р

Модулятор состоит из выходного каскада (катодного повторителя), выполненного на лучевом тетраде Л8 (6П3С), и подмодулятора, в качестве которого используется генератор импульсов МГМ-2; выход МГМ-2 подключается к гнезду ПI. Нагрузкой катодного повторителя являются сопротивления авто-смещения генераторной лампы R18-R21.

На анод модуляторной лампы подается нестабилизированное напряжение, а на экранную сетку - стабилизированное, через переключатель В3.

В режиме непрерывной генерации питание на экранную сетку лампы Л8 не подается, лампа заперта по экранной сетке и никакого влияния на работу автогенератора не оказывает. В импульсном режиме, при подаче питающих напряжений, лампа Л8 открыта и через сопротивления катодного автосмещения генераторной лампы, которые одновременно являются нагрузкой Л8 протекает ток, достаточный, чтобы запереть генераторную лампу Л5.

При подаче на сетку Л8 отрицательного импульса она закрывается, а генераторная лампа открывается и генерирует в течение длительности отрицательного импульса.

### В о л ь т м е т р

Вольтметр состоит из диодного детектора, усилителя постоянного тока и измерительного прибора ИП4. Диодный детектор работает на измерительном диоде Л6. Измеряемое напряжение подается на анод измерительного диода, в катод которого включена цепь из сопротивления I2-220 мгом и емкости С22 -3000 пф. Большая величина нагрузочного сопротивления в цепи измерительного диода взята из-за необходимости иметь большое отноше-

ние между разрядами и зарядным сопротивлениями диода, которое обеспечивает получение на сопротивлении нагрузки диода постоянного напряжения, равного амплитуде измеряемого напряжения.

Усилитель постоянного тока работает на лампе Л7 (6Т7) и представляет собой балансный мост постоянного тока. В одну диагональ включен микроамперметр Ш14, контролирующий ток моста, а к другой подводится постоянное напряжение от выпрямителя. Переменное сопротивление R16 служит для установки баланса моста («Установка нуля»).

Выпрямленное напряжение с нагрузки диода подается на сетку лампы Л7, вызывая изменение тока через лампу, и вследствие нарушения баланса моста — соответствующее отклонение стрелки микроамперметра. Микроамперметр имеет одну шкалу, градуированную в амплитудных значениях напряжения.

### Питание установки

Питание установки осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 гц и напряжением 110, 127 и 220 в  $\pm 10\%$  (рис.3).

Выпрямление осуществляется с помощью двух выпрямителей, собранных по мостиковой схеме на селеновых столбиках и соединенных последовательно.

Для стабилизации выпрямленного напряжения применена схема стабилизации на трех лампах Л2, Л3, Л4.

В качестве токорегулирующей лампы Л2 работает пентод ГУ-50, в качестве управляющей лампы Л3 — пентод 6Ж8. Постоянство начального напряжения смещения на сетке управляющей лампы поддерживается газоразрядным стабилизатором напряжения Л4 (СТ2С).

Накал ламп Л5 и Л6 осуществляется от отдельного трансформатора Тр2, стабилизированного барретором Л1 ИВ10-171.

### Органы управления и контрольно-измерительные приборы

На передней панели генератора ГСС-12 расположены следующие органы управления и контроля:

- ручка перестройки длины линий, связанная со спиральной шкалой «Длина линий, см.»;
- вольтметр для измерения амплитуды выходного напряжения на нагрузке;
- ручка плавной регулировки связи автогенератора с нагрузкой «Установка уровня в.ч.»;
- ручка микровольтного аттенуатора «Установка выхода»;

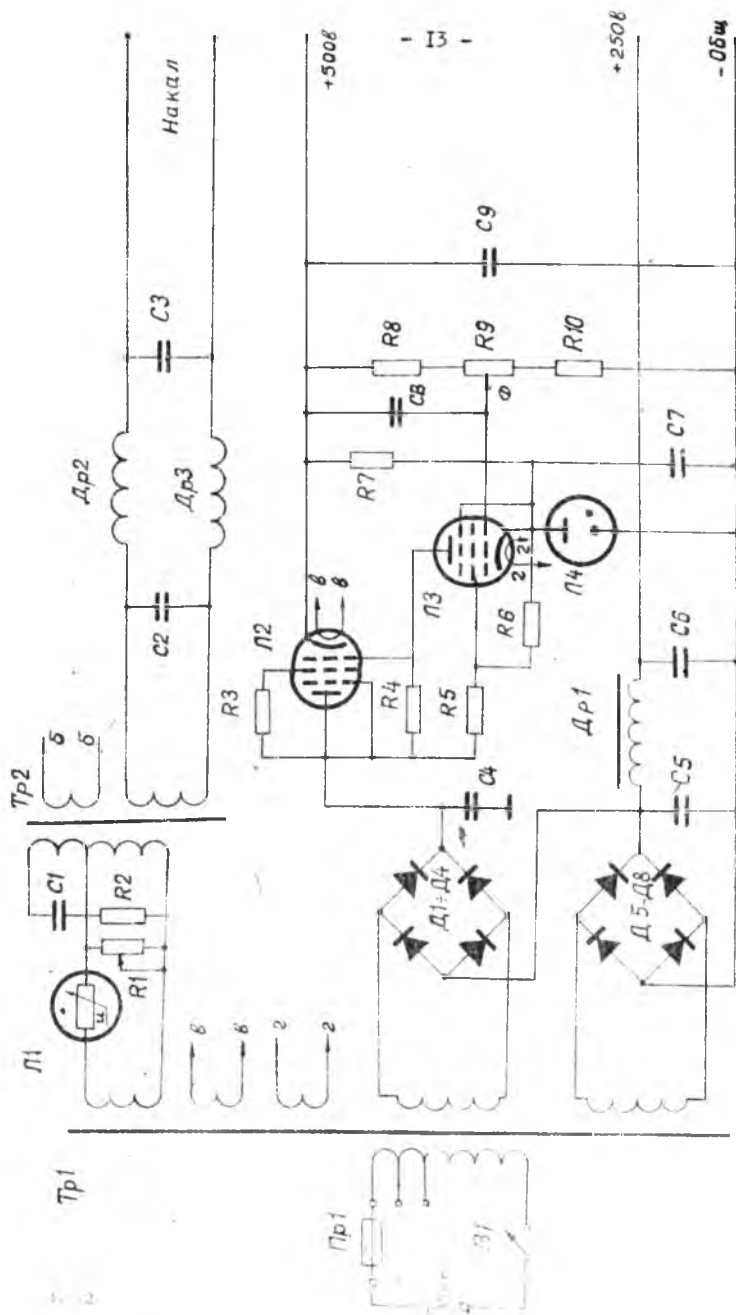


Рис. 3. Схема питания установки для исследования  
 коаксиального автогенератора.

ручка "Расстройка". Положение ручки определяется при настройке установки и в процессе выполнения лабораторной работы не изменяется;

переключатель выходов, имеющий два положения "Ватты" и "мкв.";

переключатель видов работы, имеющий шесть положений;

ручки "Частота имп." "Ширина имп." "Задержка" и два переключателя в нижнем правом углу, изменяющие режим работы импульсного подмодулятора, не используются, так как при выполнении лабораторной работы в качестве подмодулятора используется генератор импульсов типа МГМ-2;

переключатель "Внешн. мод. и синхрон." - "V" "Λ";

коаксиальные разъемы мощного и микровольтного выходов;

два штеккерных гнезда для внешней модуляции и синхронизации.

Для контроля режима работы генераторной лампы служат контрольно-измерительные приборы ИП1, ИП2, ИП3, переключатель В4 и ручка потенциометра R21

## РАБОТА № I

### ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРА ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН НА КОАКСИАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ

Цель работы - ознакомление со схемой и конструкцией автогенератора дециметровых волн, элементами колебательной системы которого являются отрезки коаксиальных линий, а генераторной лампой - металлокерамический триод с цилиндрическими выводами электродов;

изучение зависимости частоты и режимов работы автогенератора от настройки анодной, катодной колебательных систем, напряжения смещения и элемента связи с нагрузкой.

#### З а д а н и е

А. Выполняется при подготовке.

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки для исследования автогенератора ДМВ.
3. Прочитать описание работы и продумать порядок выполнения в лаборатории. Изобразить ожидаемый характер зависимостей, исследуемых в работе.

Б. Выполняется в лаборатории.

4. Ознакомиться с установкой для исследования автогенератора ДМВ и с измерительной аппаратурой.
5. Проверить схему соединения приборов согласно рис. 4.
6. Подготовить установку к работе, для чего установить: переключатель видов работ ВЗ в положение непрерывной генерации - «НГ»; переключатель В4 в положение «1»; переключатель «Ген.в.ч.» в положение «выкл.»; переключатель выходов в положение «ватты»; микровольтный аттенкатор «Установка выхода» в положение «100 т».

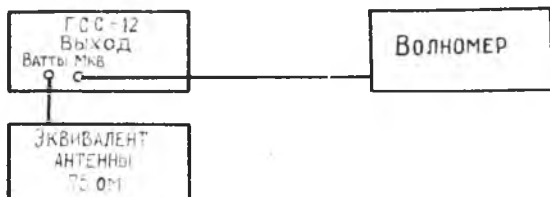


Рис.4. Схема соединения приборов

ручку «Установка уровня в.ч.» в крайнее левое положение.

7. Выключить тумблер «Сеть» и дать прогреться прибору в течение двух минут.

8. Установить нуль вольтметра.

9. Включить генератор высокой частоты, для чего переключатель «Ген. в.ч.» поставить в положение «вкл.».

10. Ручкой «Установка уровня в.ч.» добиться появления напряжения на вольтметре (стрелка ИП-4 должна быть примерно в середине шкалы).

11. Снять зависимость частоты и колебательной мощности автогенератора от длины анодно-сеточной линии.

Перемещая короткозамыкающий корнень в анодно-сеточной колебательной системе ручкой перестройки длины линий, изменять длину  $l_{aq}$  через каждые 20 мм в пределах, указанных преподавателем.

Для каждого значения  $l_{aq}$  ручкой «Установка уровня в.ч.» устанавливается оптимальная связь с нагрузкой по максимуму показаний вольтметра.

Оптимальный коэффициент обратной связи при изменении частоты получается автоматически, так как одновременно с изменением длины анодно-сеточной линии изменяется длина сеточно-катодной линии  $l_{gk}$ , которая определяет величину коэффициента обратной связи.

Генериремая частота измеряется волномером, подключенным к микровольтовому выходу. Выходная мощность подсчитывается по формуле:

$$P = \frac{U^2}{2R_n} = \frac{U^2}{150}$$

где  $U$  - напряжение в вольтах, отсчитываемое по шкале вольтметра;

$R_n$  - сопротивление нагрузки 75 ом.

Данные заносятся в таблицу:

Таблица I

$l_{aq}$ [см]	:	:	:	:	:	:
$f$ [МГц]	:	:	:	:	:	:
$U$ [В]	:	:	:	:	:	:
$P_{вых}$ [Вт]	:	:	:	:	:	:
$Q$ [дБ]	:	:	:	:	:	:

измеренная частота по волномеру.



По полученным результатам строятся на общем графике зависимости  $\lambda = f_1(\ell_{aг}), R_2 = f_2(\ell_{aг})$ . Длина волны  $\lambda$  определяется по формуле

$$\lambda(\text{м}) = \frac{300}{f[\text{МГц}]}$$

12. Рассчитать длину анодно-сеточной линии для трех значений длины волны. Длина волны указывается преподавателем.

Полученную теоретическую зависимость  $\lambda_{расч} = f_3(\ell_{aг})$  нанести для сравнения на график, построенный при выполнении пункта II.

Длина анодно-сеточной линии может быть приближенно рассчитана по формуле:

$$\ell_{aг} = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon}} a_{2\epsilon} ctg \frac{1}{W_0 \omega C_{aг}} + n \frac{\lambda}{2},$$

где  $\ell_{aг}$  - длина анодно-сеточной линии в метрах;

$\lambda$  - длина волны в метрах;

$\omega$  - круговая частота в I/сек;

$W_0$  - волновое сопротивление анодно-сеточной линии в омах.

Волновое сопротивление подсчитывается по формуле:

$$W_0 = 138 \ell_{aг} \frac{z_2}{z_1} (\text{ом})$$

Здесь  $z_2$  - внешний радиус внутреннего цилиндра;

$z_1$  - внутренний радиус внешнего цилиндра;

$z_2 = 2,85 \text{ см};$

$z_1 = 2 \text{ см};$

$C_{aг}$  - емкость между анодом и сеткой лампы, равная  $11 \pm 2 \text{ пф};$

$n$  - число полуволн, на которое увеличена минимальная резонансная длина линии.

В данной конструкции  $n = 0$ .

13. Исследовать влияние величины связи анодно-сеточной колебательной системы с нагрузкой на режим работы автогенератора.

При трех длинах анодно-сеточной линии, заданных преподавателем, изменяя ручкой "Установка уровня в.ч." связь колебательной системы с нагрузкой, произвести измерения анодного  $J_{a_0}$ , катодного  $J_{к_0}$  токов и снять показания вольтметра ИП4. Ручка "Установка уровня в.ч." снабжена шкалой с относительными делениями. Каждому делению соответствует определенная емкость связи с нагрузкой  $C_{св}$ .

Вычислить сеточный ток  $J_{g_0}$ :

$$J_{g_0} = J_{к_0} - J_{a_0}$$

и колебательную мощность  $P_2$ .

Результаты занести в таблицу 2.



По полученным результатам на общем графике строятся зависимости:

$$\begin{aligned} J_{a_0} &= f_1(E_g) \\ J_{q_0} &= f_2(E_g) \quad \text{при } \ell_{ag} = \text{const} \\ P_{\omega} &= f_3(E_g) \end{aligned}$$

15. Уменьшив связь с нагрузкой до минимума, переключатель "Ген.в.ч." поставить в положение "выкл.", а затем выключить тумблер "Сеть".

### В. Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

Принципиальная схема автогенератора (рис.1) и эквивалентная схема автогенератора.

Графики зависимостей

$$\lambda = f_1(\ell_{ag}), \quad P_{\omega} = f_2(\ell_{ag}), \quad \lambda_{расч} = f_3(\ell_{ag})$$

Графики зависимостей:

$$\begin{aligned} J_{a_0} &= f_1(C_{сб}) \\ J_{q_0} &= f_2(C_{сб}) \quad \text{при } \ell_{ag} = \text{const} \\ P_{\omega} &= f_3(C_{сб}) \end{aligned}$$

Графики зависимостей:

$$\begin{aligned} J_{a_0} &= f_1(E_g) \\ J_{q_0} &= f_2(E_g) \quad \text{при } \ell_{ag} = \text{const} \\ P_{\omega} &= f_3(E_g) \end{aligned}$$

Краткие выводы по полученным результатам.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

Основная:

Г. М.С.НЕЙМАН. Курс радиопередающих устройств. "Советское радио", гл. I - П, 1965.

Дополнительная литература:

Г. А.Б.ИВАНОВ, Л.Н.СОСНОВКИН. Импульсные передатчики СВЧ. "Советское радио", гл. П, У, 1956.

2. С.Н. ТЫРНТЬЕВ, В.Ф.КАРТАВЫХ, Триодные передатчики дециметровых волн. ГИИТ СССР, 1962.

3. И.Д. ДЕНИСОВ. Генераторы и усилители колебаний радиочастот, "Госэнергоиздат", гл.Ш, 1963.

4. М.Н. АНДРЕЕВСКИЙ. Конструкции генераторов дециметровых волн, Оборонгиз, 1956.

### Контрольные вопросы

1. На рис. 1 и 2 показать пути прохождения постоянных составляющих и первых гармоник токов сетки и анода.

2. Изобразить эквивалентные схемы генератора по высокой частоте и постоянному току для двух значений  $\ell_{gk}$

$$\ell_{gk} < \frac{\lambda}{4}; \quad \frac{\lambda}{2} > \ell_{gk} > \frac{\lambda}{4}.$$

Написать выражения для коэффициента обратной связи для обоих случаев.

3. Какие элементы и почему сильнее влияют на генерируемую частоту и как на коэффициент обратной связи?

В каком случае возможна раздельная регулировка частоты и коэффициента обратной связи?

4. Изобразить и объяснить ход кривых:

$$a) \quad \lambda = f(\ell_{gk}), \quad P_m = f(\ell_{gk})$$

при двух значениях  $\ell_{gk}$ ,  $[\ell_{gk} < \frac{\lambda}{4}]$

$$б) \quad J_{a0}, J_{g0}, P_m = f(C_{sk}) \quad \text{при двух значениях } \ell_{gk}; \quad [\ell_{gk} < \frac{\lambda}{4}]$$

$$в) \quad P_{00}, J_{g0}, P_m = f(E_g) \quad \text{при двух значениях } C_{sk};$$

$$г) \quad J_{a0}, J_{g0}, P_m = f(\ell_{gk}) \quad \text{при двух значениях } C_{sk}.$$

5. Изобразить эпюры токов и напряжений в анодно-сеточной и сеточно-сеточной линиях. Рассмотреть два случая:

$$\ell_{gk} < \frac{\lambda}{4}; \quad \frac{\lambda}{4} < \ell_{gk} < \frac{\lambda}{2}$$

6. Какие преимущества и недостатки имеет схема автогенератора с обертонной сеткой?

7. В каких случаях применяется работа автогенератора на обертонах?

Отметить достоинства и недостатки этого режима работы.

8. Если в схеме возникли нежелательные колебания на оберitone линии, каким образом можно избавиться от них ?

9. Объяснить назначение и возможные способы включения блокировочных элементов в генераторах дециметрового диапазона.

Как определяется величина блокировочных элементов ?

10. Объяснить назначение всех элементов схемы установки.

11. Какие виды колебательных систем, применяемых в генераторах СВЧ, вы знаете ?

12. Перечислить основные виды потерь, имеющих место в коаксиальных резонаторах. Как подсчитываются эти потери ?

Какие меры применяются для их уменьшения ?

13. Какими эквивалентными параметрами характеризуется колебательная система СВЧ ?

Как подсчитывается запасенная энергия в коаксиальном резонаторе ?

14. Какие способы перестройки колебательных систем СВЧ вы знаете ?

15. Какие виды контактных и бесконтактных поршней вы знаете ?

16. Объяснить принцип работы, достоинства и недостатки Ш-образного поршня и зигзагообразного поршня.

17. Как определить длины анодной и катодной коаксиальных линий в автогенераторе, необходимые для получения заданных величин частоты и коэффициента обратной связи ?

18. Какие способы осуществления дополнительной обратной связи вы знаете ?

19. Какие виды связей с нагрузкой применяются в автогенераторах ДМВ волн ?

20. Как изменится режим работы автогенератора, если резко увеличить или уменьшить величины  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ ,  $C_{14}$ ,  $Dp_4$ ,  $R_{18+}$  21 ?

21. Нарисовать принципиальные схемы автогенератора ДМВ волн с односторонней и двухсторонней конструкциями.

22. От чего зависит и как стабилизируется частота автогенераторов СВЧ ?

## РАБОТА № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРА ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛН В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Цель работы - ознакомление с работой автогенератора ДМВ в импульсном режиме; изучение зависимости времени задержки и крутизны фронта высокочастотного импульса от длительности модулирующего импульса, от генерируемой частоты, от величины связи колебательной системы с нагрузкой.

В настоящей работе не ставится задача исследования импульсного режима работы автогенератора с целью получения в импульсе гораздо большей мощности, нежели в непрерывном режиме. Основное внимание в ней уделяется исследованию вопросов, связанных с временем установления и затухания колебаний, которое может быть соизмеримым с длительностью модулирующих импульсов. Поэтому импульсная модуляция осуществляется по сетке, а не по аноду, мощность в импульсе не превышает мощность в непрерывном режиме. Средняя мощность, отдаваемая автогенератором в нагрузку в  $\frac{1}{T}$  (скважность) раз меньше мощности в импульсе. Подробное описание способа осуществления импульсной модуляции в исследуемом автогенераторе дано в настоящем руководстве (стр.7). При таком способе модуляции сводятся к минимуму переделки в генераторе стандартных сигналов ГСС-12.

#### З а д а н и е

##### А. Выполняется при подготовке

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием установки для исследования автогенератора ДМВ.

3. Прочитать пояснения к работе и продумать порядок выполнения работы в лаборатории.

4. Нарисовать ожидаемый характер зависимостей, исследуемых в данной работе.

Б. Выполняется в лаборатории

5. Ознакомиться с установкой для исследования автогенератора ДМВ и с измерительной аппаратурой.

6. Проверить схему соединения приборов согласно рис.5.

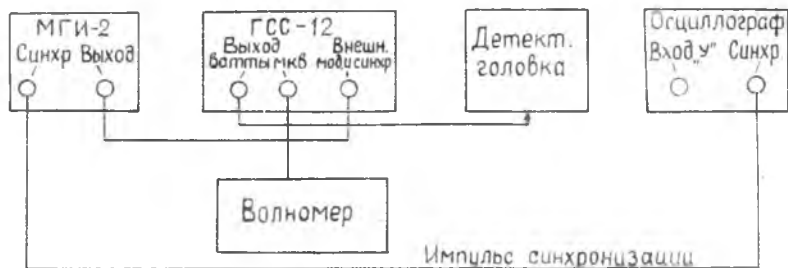


Рис.5. Схема соединения приборов

7. Подготовить установку к работе, для чего: переключатель видов работ поставить в положение «НГ»;

переключатель В4 - в положение «1»;

переключатель «Ген.в.ч.» - в положение «выкл.»;

ручку «Установка уровня в.ч.» - в крайнее левое положение.

переключатель выходов - в положение «ватты»;

микровольтный аттенуатор «Установка выхода» - в положение «100 т».

8. Включить тумблер «Сеть» и дать прогреться прибору в течение двух минут.

9. Установить нуль вольтметра.

10. Включить генератор высокой частоты, для чего переключатель «Ген. в.ч.» поставить в положение «вкл.»

11. Ручкой «Установка уровня в.ч.» добиться появления напряжения на вольтметре (стрелка ИЧ4 должна быть приблизительно в середине шкалы).

12. Снять зависимость частоты автогенератора от длины анодно-сеточной линии в режиме непрерывной генерации.

Перемещая короткозамыкающий поршень в анодно-сеточной колебательной

системе ручкой перестройки длины линий, изменять длину через каждые 20 мм в пределах, указанных преподавателем.

Для каждого значения  $l_{ag}$  ручкой «Установка уровня в.ч.» устанавливается оптимальная связь с нагрузкой по максимуму показаний вольтметра.

Генерируемая частота измеряется волномером, подключенным к микровольтовому выходу.

Данные заносятся в таблицу I.

Таблица I

$l_{ag}$ [см]	:	:	:	:	:
$f$ [МГц]	:	:	:	:	:
$\omega r = 2\pi f$ [1/сек]	:	:	:	:	:

$f$  - измеренная волномером частота.

13. Переключатель видов работ поставить в положение «Внешняя имп. мод», а переключатель «Внеш. мод. и синхр.» - в положение «V».

14. Включить генератор импульсов МГМ-2 и установить максимальную амплитуду выходных импульсов.

15. Исследовать зависимость времени задержки и формы высокочастотного импульса от длительности модулирующего импульса на фиксированной частоте, указанной преподавателем. Для этого, используя таблицу I, установить соответствующую длину анодно-сеточной линии и, поставив переключатель видов работ в положение «НГ» установить оптимальную связь с нагрузкой.

Переключатель видов работ поставить в положение «Внешн. имп. мод». Изменяя длительность модулирующего импульса в пределах от 10 мксек до 0,1 мксек, по осциллографу определять длительность огибающей в.ч. импульса по уровню 0,5 от амплитуды импульса, длительность переднего фронта огибающей в.ч. импульса по уровню 0,1-0,9 от амплитуды импульса и время задержки огибающей в.ч. импульса. Время задержки огибающей в.ч. импульса относительно модулирующего отсчитывается от начала развертки до начала огибающей в.ч. импульса.

Таблица 2

$T_{ог}$ [мксек]	:	:	:	:	:
$T_{вч}$ [мксек]	:	:	:	:	:
$T_{ф}$ [мксек]	:	:	:	:	:
$T_{заг}$ [мксек]	:	:	:	:	:



По полученным данным на общем графике строятся зависимости:

$$T_{\text{вч}} = f_1 (T_{\text{мод}}),$$

$$T_{\text{ф}} = f_2 (T_{\text{мод}}).$$

$$T_{\text{заг}} = f_3 (T_{\text{мод}}).$$

16. Исследовать зависимость формы и длительности в.ч. импульса от генерируемой частоты при фиксированной длительности модулирующего импульса.

Установить длительность модулирующего импульса:

$$T_{\text{мод}} = 5 \text{ мксек}$$

Пользуясь таблицей 1, снять зависимость длительности огибающей в.ч. импульса, длительности переднего фронта огибающей в.ч. импульса и времени задержки огибающей в.ч. импульса от частоты.

Необходимо помнить, что всякий раз при изменении частоты, т.е. при изменении длины  $l_{\text{заг}}$ , необходимо устанавливать оптимальную связь с нагрузкой. Оптимальная связь устанавливается ручкой «Установка уровня в.ч.» по максимуму показания вольтметра.

Данные свести в таблицу 3.

Таблица 3

$l_{\text{заг}} [\text{см}]$	:	:	:	:	:	:
$\omega = 2\pi f [\frac{1}{\text{сек}}]$	:	:	:	:	:	:
$T_{\text{вч}} [\text{мксек}]$	:	:	:	:	:	:
$T_{\text{ф}} [\text{мксек}]$	:	:	:	:	:	:
$T_{\text{заг}} [\text{мксек}]$	:	:	:	:	:	:

$f$  - частота, измеренная волномером.

По полученным данным построить зависимости:

$$T_{\text{вч}} = f_1 (\omega); T_{\text{ф}} = f_2 (\omega); T_{\text{заг}} = f_3 (\omega)$$

17. Исследовать влияние связи колебательной системы автогенератора с нагрузкой на форму в.ч. импульса.

Установить частоту генерации, указанную преподавателем, используя таблицу 1. Установить длительность модулирующего импульса  $T_{\text{мод}} = 5$  мксек.

С помощью ручки «Установка уровня в.ч.» изменять величину связи с нагрузкой и всякий раз измерять длительность огибающей в.ч. импульса, длительность переднего фронта огибающей в.ч. импульса и время задержки огибающей в.ч. импульса. Данные свести в таблицу 4.

$T_{\text{пог}} = 5 \text{ мксек}; \quad \omega =$

Таблица 4

$C_{\text{сб}}$ [дел шк]	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{\text{вч}}$ [мксек]								
$T_{\text{ф}}$ [мксек]								
$T_{\text{зад}}$ [мксек]								

По полученным результатам построить зависимости:

$$T_{\text{вч}} = f_1(C_{\text{сб}})$$

$$T_{\text{ф}} = f_2(C_{\text{сб}})$$

$$T_{\text{зад}} = f_3(C_{\text{сб}})$$

18. Переключатель «Ген.в.ч.» поставить в положение «выкл.», затем выключить тумблер «Сеть».

#### В. Содержание отчета

Отчет о работе должен содержать:

Принципиальную схему автогенератора с модулятором (рис.1).

Графики зависимостей

$$T_{\text{вч}} = f_1(T_{\text{пог}})$$

$$T_{\text{ф}} = f_2(T_{\text{пог}})$$

$$T_{\text{зад}} = f_3(T_{\text{пог}})$$

Графики зависимостей

$$T_{\text{вч}} = f_1(\omega)$$

$$T_{\text{ф}} = f_2(\omega)$$

$$T_{\text{зад}} = f_3(\omega)$$

Графики зависимостей

$$T_{\text{вч}} = f_1(C_{\text{сб}})$$

$$T_{\text{ф}} = f_2(C_{\text{сб}})$$

$$T_{\text{зад}} = f_3(C_{\text{сб}})$$

Осциллограммы огибающих в.ч. импульсов при выполнении п.п.15,16,17.  
Краткие выводы по полученным результатам.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

Основная:

А.Б.ИВАНОВ, Л.Н.СОСНОВКИН. Импульсные передатчики СВЧ. «Советское радио», гл.УШ §8.1-8.3.

Дополнительная:

1. Н.Ф.АЛЕКСЕЕВ. К вопросу установления колебаний в автогенераторах дециметрового диапазона волн. «Радиотехника» № 5, 1956.

2. М.В.БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ. Переходные процессы в автогенераторах с катодным автосмещением, НДВШ, Р и Э, № 2, 1958.

3. С.Н.ТЕРЕНТЬЕВ и В.Ф.КАРТАВЫХ. Триодные передатчики дециметровых волн. ГИТЛ УССР, гл. X, 1962.

#### Контрольные вопросы

1. Нарисовать схему автогенератора ДМВ с модулятором и объяснить принцип осуществления импульсной модуляции.

2. Нарисовать кривые установления амплитуды колебаний в автогенераторе ДМВ:

при двух положениях катодного поршня;

при двух значениях связи между контурами;

при двух значениях связи с нагрузкой;

при двух значениях длины анодно-сеточной линии.

3. Нарисовать зависимость времени задержки высокочастотного импульса от длины сеточно-катодной линии при двух значениях емкости связи между контурами. Начертить схему автогенератора ДМВ, модулируемого на анод положительными импульсами. Задаться значениями блокировочных емкостей и определить емкость, шунтирующую выход модулятора.

4. Начертить схему автогенератора ДМВ при анодной модуляции. Модулирующие импульсы отрицательны относительно корпуса.

5. Начертить схему автогенератора ДМВ, модулируемого на сетку положительными импульсами. Показать включение питающих напряжений и измерительных приборов. Пояснить влияние блокировочных емкостей на форму импульса.

6. Нарисовать форму отгибающей высокочастотного импульса при нескольких значениях постоянной времени автосмещения.

7. Какие требования предъявляются к модулирующим импульсам при модуляции трехфазных автогенераторов ?

8. Чем отличаются модуляции по сетке и по аноду ?

Можно ли в импульсном режиме при модуляции по сетке получить мощности существенно большие, чем в непрерывном ?

### РАБОТА № 3

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО ПЕРЕДАТЧИКА

Цель настоящей работы - ознакомиться с элементами конструкции магнетронного передатчика и некоторыми методами контроля его параметров;  
исследовать влияние нагрузки на режим и частоту магнетронного генератора;  
исследовать рабочие характеристики импульсного магнетронного генератора.

#### Описание установки

Установка представляет собой импульсный магнетронный передатчик и состоит из следующих основных узлов:

- а) магнетрона
- б) импульсного модулятора;
- в) подмодулятора;
- г) блока питания;
- д) волноводного тракта с поглощающей нагрузкой;
- е) системы "Контроль, защита, управление" - КЗУ;
- ж) комплекса измерительных приборов.

Принципиальная схема установки показана на рис.6.

#### Магнетрон

Магнетрон предназначен для генерирования мощных кратковременных импульсов сверхвысокой частоты. По конструктивным соображениям анод магнет-

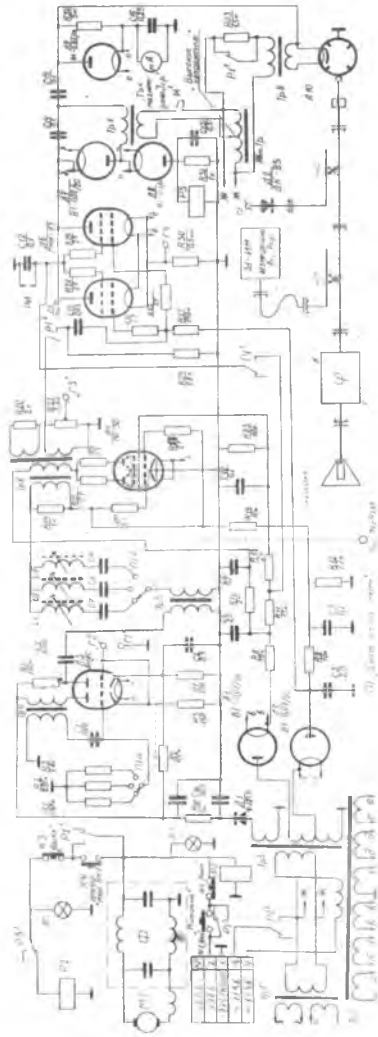


Рис.6. Принципиальная схема установки

пульсов сверхвысокой частоты. По конструктивным соображениям анод магнетрона заземлен, а импульс высокого напряжения отрицательной полярности от модулятора подается на катод.

В качестве высокочастотного вывода энергии применяется прямоугольный волновод сечением 23 x 10 мм с водной типа  $H_{10}$ . При помощи дроссельного фланца магнетрон соединяется с волноводным измерительным трактом.

Питание накала магнетрона производится от накального трансформатора Тр8, вторичная обмотка которого находится под высоким импульсным напряжением, поэтому она выполнена в виде хорошо изолированной галеты. Такое выполнение способствует также снижению емкости вторичной обмотки относительно шасси, включенной параллельно паразитной емкости катод-анод магнетрона. Для предотвращения перегрева катода при подаче высокого напряжения на магнетрон напряжение накала снижается с 6,5 до 2,5 в. Это осуществляется с помощью сопротивления R33, включаемого реле P1 в цепь первичной обмотки накального трансформатора. Параллельно магнетрону включено проволочное сопротивление R32, предназначенное для заряда накопительной емкости за время  $T$  при отсутствии запускающего импульса на модуляторные лампы и для разряда паразитной емкости  $C_n$ , включенной параллельно аноду, после прекращения запускающего импульса. Последовательно с сопротивлением R32 включен миллиамперметр  $\mu_{Ток}$  магнетрона  $I_{ср}$ , измеряющий постоянную составляющую тока магнетрона. По переменной составляющей измерительный прибор зашунтирован емкостью C16.

Измерение среднего тока магнетрона производится следующим образом (рис.7). Через прибор протекают следующие токи:

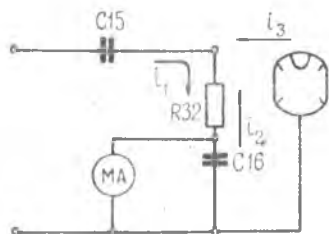


Рис.7. Схема измерения среднего тока магнетрона

- $i_1$  - постоянная составляющая тока заряда накопительной емкости;
- $i_2$  - постоянная составляющая тока, отвечающего в цепь измерительного прибора во время импульса модулятора.

Стрелками показано направление токов. Миллиамперметр показывает алгебраическую сумму постоянных токов  $i_1$  и  $i_2$ . В соответствии с первым законом Кирхгофа:  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

следовательно,  $|i_1 + i_2| = |i_3|$

и ток, показываемый прибором, равен по величине постоянной составляющей

цей тока магнетрона.

Анодный блок магнетрона снабжен ребрами для улучшения охлаждения и непрерывно обдувается вентилятором МІ. Двигатель вентилятора снабжен фильтром для подавления помех, создаваемых коллектором.

### М о д у л я т о р

Модулятор служит для получения кратковременных импульсов высокого напряжения, необходимых для питания анода магнетрона. В данном передатчике применен модулятор с частичным разрядом накопительной емкости. В качестве накопителя энергии используются емкости фильтра источника питания модулятора СІ4 и СІ5, а в качестве коммутаторных ламп Л5, Л6 тетроды типа ГМИ-83, включенные параллельно. Это вызвано тем, что одна лампа не обеспечивает коммутации необходимого импульсного тока. Последовательно с модуляторными лампами включено измерительное сопротивление  $R_{30}$ , падение напряжения на котором пропорционально току через лампы, а, следовательно, приблизительно, и току магнетрона. В цепях управляющих и экранных сеток ламп Л5, Л6 включены антипаразитные небольшие сопротивления  $R_{25}$ - $R_{26}$  и  $R_{28}$ - $R_{29}$  для предотвращения самовозбуждения модуляторных ламп.

К экранным сеткам модуляторных ламп подключен искровой разрядник РИ, необходимый для защиты от пробоя конденсатора СІ2, блокирующего по высокой частоте экранные сетки модуляторных ламп. Искровой промежуток пробивается в случае, если напряжение на экранных сетках превысит 1000 в. Это возможно при внутривольном пробое промежутка экранная сетка-анод.

Запускающий импульс на управляющие сетки и высокое напряжение на экранные сетки и аноды модуляторных ламп подаются только при включенной кнопке "Генератор"-"вкл." Отрицательное запирающее напряжение на управляющие сетки подается постоянно.

### П о д м о д у л я т о р

Подмодулятор, собранный на двойном тетроде Л4 типа ГМ-30, служит для генерации импульсов, управляющих лампами модулятора и представляет собой заторможенный блокинг-генератор с тремя фиксированными длительностями импульсов.

Для предотвращения паразитной генерации схемы в цепи анодов и управляющих сеток включены антипаразитные сопротивления  $R_{15}$ - $R_{16}$ - $R_{17}$ - $R_{18}$  по 27-ом каждое.



Обмотки импульсного трансформатора блокинг-генератора зашунтированы активными сопротивлениями, снижающими добротность паразитных колебательных контуров, образованных индуктивностью и собственной емкостью каждой обмотки. Фиксация длительностей импульсов производится с помощью цепочек  $L1-C7$ ,  $L2-C8$ ,  $L3-C9$ , которые могут с помощью переключателя П1 "Длительность импульса мксек", попеременно подключаться к сеточной обмотке блокинг-генератора. Цепочки настроены на длительности импульса 0,6 мксек, 1,0 мксек и 2,25 мксек.

Импульсы запуска подмодулятора снимаются с импульсного трансформатора  $Tr5$ , первичная обмотка которого включена в анодную цепь импульсного усилителя, собранного на правой триоде Л3 типа 6Н8С. На сетку импульсного усилителя сигналы поступают с задающего блокинг-генератора, собранного на левой триоде лампы Л3. Задающий генератор вырабатывает импульсы постоянной длительности. Для того, чтобы при изменении длительности импульсов подмодулятора скважность оставалась постоянной, изменится частота следования импульсов задающего блокинг-генератора с помощью переключателя П1а, включающего в цепь управляющей сетки левой половины Л3 одно из сопротивлений  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$ .

### Источники питания

В установке смонтированы следующие источники питания:

1. Высоковольтный выпрямитель (до 17000 в) с регулируемым напряжением. Выпрямитель собран по схеме удвоения на высоковольтных кенотронах Л7-Л8 типа В1-0,02/20. Емкости фильтра источника С14, С15 одновременно используются как накопительные.

На первичную обмотку высоковольтного трансформатора  $Tr7$  подается регулируемое напряжение от автотрансформатора "АвтTr". Ручка регулировки высокого напряжения выведена на переднюю панель стенда. Высоковольтный выпрямитель включается кнопкой К4 "Генератор" "вкл" через реле Р1. При перегрузке высоковольтного выпрямителя, могущей возникнуть в случае пробоя ламп модулятора или магнетрона, реле Р3 отключает высокое напряжение.

2. Выпрямитель 1200/900 вольт. Он представляет собой два однополупериодных выпрямителя, собранных на высоковольтных кенотронах Л1 и Л2 с частично общей обмоткой повышающего трансформатора  $Tr3$ . С выпрямителя, собранного на кенотроне Л1, напряжение питания подается на экранные сетки модуляторных ламп Л5, Л6, на аноды и экранные сетки  $Tr4$ . С выпрямителя

ля на кенотроне Л2 снимаются напряжения смещения на управляющие сетки ламп Л4, Л5, Л6.

3. Однополупериодный выпрямитель, собранный на диоде Д1, служит для питания анодов лампы Л3. Для выбора рабочей точки лампы в исходном состоянии при отсутствии импульсов задающего блокинг-генератора через делитель R4 - R7 небольшое положительное напряжение подается в катод правой лампы Л3, являющейся импульсным усилителем.

4. Накальные трансформаторы Tr1, Tr2, Tr3 служат для питания цепей накала ламп выпрямителей, модулятора, подмодулятора и магнетрона. Все трансформаторы блока питания в целях снижения габаритов и веса питаются переменным напряжением повышенной частоты 400 гц.

Все реле, а также двигатель вентилятора, питаются постоянным напряжением +27 в.

#### Волноводный тракт

Волноводный тракт установки служит для канализации и поглощения энергии СВЧ, вырабатываемой магнетроном.

Волноводный тракт содержит:

1. Два направленных ответвителя НО1 и НО2 с переходным затуханием около 30 дБ для подключения измерительных приборов.

2. Неотражающий фазовращатель  $\varphi$  для изменения фазы коэффициента отражения нагрузки, представляющий собой отрезок волновода, в который введена диэлектрическая пластина специальной формы. Глубина погружения пластины, а, следовательно и величина поворота фазы, может регулироваться с помощью винта.

3. Поглощающую водяную нагрузку типа 52И-К18.

К направленным ответвителям подключены детекторная головка Д2 с клеммой Р5 для подключения осциллографа и радартестер типа З1-ИИ или 43-И.

#### Система "Контроль, защита, управление" (КЗУ)

Для включения установки и защиты отдельных элементов и узлов схемы от перегрузок служит схема КЗУ, включающая в себя четыре кнопки включения и выключения К1-К4, три реле Р1 - Р3, две сигнальных лампочки ЛС-1 и ЛС-2, контрольно-измерительные приборы, вынесенные на переднюю панель, и искрового разрядника РИ.

Работа схемы КЗУ заключается в следующем: при нажатии кнопки К1 - „Питание“ „вкл.“ через нормально замкнутую кнопку К2 на обмотку реле Р2 подается напряжение + 27 в, загорается сигнальная лампочка ЛС2 и начинает работать двигатель вентилятора. Контакты реле Р2' и Р2'' блокируют кнопку К1 и замыкают цепь напряжения II5 в, питающего первичные обмотки Тр1, Тр2, Тр3, Тр8, и автотрансформатора „Авт Тр“.

При этом появляются показания прибора „~ II5 в“. При включении напряжений на первичные обмотки вышеперечисленных трансформаторов подается питание накалов всех ламп и магнетрона. Напряжение накала магнетрона через нормально замкнутый контакт подается полностью (~ 6,3 в). Кроме того, подаются напряжения смещения на лампы Л5, Л6, Л4, правую лампу Л3 и напряжения питания на аноды ламп Л3, Л4, а также на экранные сетки Л4. Напряжения питания на модуляторных лампах Л5-Л6 и запускающие импульсы на сетках модуляторных ламп отсутствуют, так как контакты Р1<sup>2</sup>, Р1<sup>5</sup> разомкнуты. После пятиминутного прогрева ламп можно включить высокое напряжение питания на модулятор, а следовательно, и на магнетрон. Высокое напряжение включается нажатием кнопки К4 - „Генератор“ - „вкл.“.

Напряжение + 27 в через нормально замкнутую кнопку К3 подается на обмотку реле Р1; загорается лампочка ЛС1, сигнализирующая о включении высокого напряжения. Одновременно срабатывает реле Р1 и его контакты Р1<sup>1</sup>, Р1<sup>2</sup>, Р1<sup>3</sup>, Р1<sup>4</sup>, Р1<sup>5</sup> замыкаются, что обеспечивает: блокировку кнопки К4; подачу запускающих импульсов на сетки модуляторных ламп; подачу напряжения питания на экранные сетки модуляторных ламп; включение последовательно с накальной обмоткой магнетрона ограничивающего сопротивления R33, которое снижает напряжение накала магнетрона; подачу напряжения питания на высоковольтный выпрямитель, питающий модулятор.

Реле Р3 служит для защиты высоковольтного выпрямителя от перегрузок. При превышении допустимого значения тока выпрямителя реле Р3 срабатывает и его контакт Р3' размыкает цепь питания реле Р1, контакты которого возвращаются в исходное положение, снимая высокое напряжение и запускающие импульсы с модулятора.

На переднюю панель вынесены:

- прибор для измерения среднего тока магнетрона „Ток магнетрона  $I_{cp}$ “;
- прибор для контроля напряжения питающей сети „~ II5 в“ (на принципиальной схеме не показан);
- прибор для измерения напряжений питания анода задающего генератора Л3, экранной сетки Е<sub>г</sub> и анода Е<sub>а</sub> подмодулятора Л4.

Измерение соответствующих напряжений осуществляется с помощью переключателя на три положения, также вынесенного на переднюю панель. На принци-

пильной схеме прибор и переключатели не показаны;

прибор для измерения напряжения на экранных сетках модуляторных ламп Л5, Л6 (на принципиальной схеме не показан);

переключатель длительностей запускающих импульсов "Длит. импульса мксек";

две неоновых лампочки ЛС1 и ЛС2;

две кнопки "Генератор" - "вкл." и "выкл.";

две кнопки "Питание" - "вкл." и "выкл.";

четыре клеммы П1-П4 для подключения осциллографа с целью контроля параметров импульсов в характерных точках схемы.

Для контроля параметров передатчика служат следующие измерительные приборы:

статический киловольтметр типа С-96 для измерения напряжения на модуляторе;

осциллограф типа СИ-1 (или ИО-4, СИ-5) для контроля параметров импульсов;

радар-тестер типа З1-ИМ (или 43-И) для измерения несущей частоты передатчика и средней мощности излучения.

### Работа с установкой

Установка для исследования магнетрона содержит ряд цепей с весьма высоким (до 17000 вольт) напряжением. Поэтому прикосновение к частям установки, находящимся под высоким напряжением, смертельно опасно!

Снятие кожухов при работе установки **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!**

Помните, что входной зажим киловольтметра также находится под высоким потенциалом!

При работе передатчика запрещается отсоединять поглощающую нагрузку во избежание выхода из строя магнетрона и облучения окружающих! Включать установку без разрешения преподавателя **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ!**

Измерения проводить быстро, записывая только деления аттенуаторов и частотомера радар-тестера. Переводить их в децибелы и частоту производить при выключенной установке.

### З а д а н и е

А. Выполняется при подготовке.

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием установки для исследования магнетронного генератора.

3. Прочитать остальную часть задания и продумать порядок выполнения работы в лаборатории.

4. Изобразить предполагаемый характер графиков, снимаемых при эксперименте.

Б. Выполняется в лаборатории

1. Включить питание контрольно-измерительной аппаратуры и подготовить ее к работе в соответствии с прилагаемыми инструкциями.

2. Включить установку, для чего:

а) нажать кнопку «Питание» - «вкл» и дать прогреться установке в течение 5 минут;

б) переключатель «Длит.импульса мксек» поставить в положение «2,25 мксек»;

в) включить высокое напряжение, нажав кнопку К4 «Генератор»-«вкл».

При этом регулятор высокого напряжения должен стоять приблизительно в среднем положении.

3. Снять зависимость среднего тока магнетрона от напряжения на аноде магнетрона  $U_0$ . Высокое напряжение изменять от 14 кв и ниже через 0,5 кв. При пробоях в модуляторных лампах, сопровождающихся сильным треском внутри установки, слегка снижать высокое напряжение до прекращения пробоев, и, через 30+60 сек, устанавливать прежнюю величину  $U_0$ . При отсутствии либо при малой величине тока магнетрона включение высокого напряжения производить лишь на время отсчета, так как в противном случае переохлаждается катод магнетрона и режим работы магнетрона становится недопустимым.

Результаты измерений занести в таблицу I.

Таблица I

$U_0$ [кв]	:	:	:	:	:	:	:	:	:
$J_{cp}$ [ма]	:	:	:	:	:	:	:	:	:

По полученным данным построить график:  $U_0 = f(J_{cp})$

4. Установить  $U_0 = 14$  кв. Просмотреть форму напряжений в различных точках схемы с помощью осциллографа (гнезда Г2, Г3, Г4). Зарисовать полученные осциллограммы. Измерить длительность импульсов, длительность передних и задних фронтов импульсов и частоту их следования.

По полученным данным вычислить скважность по формуле:

$$S = \frac{T}{T_u}$$

здесь  $S$  - скважность;

$T$  - период следования импульсов в мксек;

$T_u$  - длительность импульсов.

Желательно скважность определять по параметрам импульсов подмодулятора (гнездо ГЗ).

5. Зная скважность, по данным п.3 определить импульсный ток магнетрона, расчетные данные занести в таблицу 2 и построить зависимость

$$U_0 = f(J_{\text{имп расч}}).$$

Таблица 2

$U_0$ [кВ]	:	:	:	:	:
$J_{\text{имп расч.}}$ [а]	:	:	:	:	:

6. Снять зависимость импульсного тока магнетрона от напряжения на аноде магнетрона  $U_0$ . Импульсный ток магнетрона вычисляется путем замера напряжения на измерительном сопротивлении  $R_{30}$ . Изменяя напряжение  $U_0$  от 14 кВ и ниже, измерять напряжение  $U_1$  на сопротивлении  $R_{30}$  с помощью осциллографа. Сопротивление  $R_{30} = 0,5$  ома.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 3.

Таблица 3

$U_0$ [кВ]	:	:	:	:	:
$U_1$ [В]	:	:	:	:	:
$J_{\text{имп}} = \frac{U_1}{0,5}$ [а]	:	:	:	:	:

По полученным данным построить зависимость  $U_0 = f_1 [J_{\text{имп}}]$  на том же графике, что и зависимость  $U_0 = f(J_{\text{имп расч}})$ , вычисленную в пункте 9.

7. Снять зависимость частоты  $f_0 = F_1(U_0)$  и средней мощности магнетрона  $P_{\text{вых ср}} = F_2(U_0)$ , для чего:

а) проверить калибровку радар-тестера ЗИ-ИМ (или 43-И);

б) изменяя напряжение  $U_0$  от 14 кв и ниже через 0,5 кв, всякий раз измерять среднюю мощность магнетрона и частоту с помощью радар-тестера в соответствии с прилагаемыми градуировочными графиками;

в) зная скважность, определить импульсную мощность магнетрона.

При определении средней мощности магнетрона необходимо помнить, что на радар-тестер мощность от магнетрона поступает через направленный ответвитель, переходное затухание которого указано на установке. Чтобы экономить время при расчете импульсной мощности можно пользоваться таблицей перечета децибел в отношении мощностей, приведенной в приложении № I. Экспериментальные и расчетные данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

$U_0$ [кВ]					
$P_{\text{магн ср}}$ [Вт]					
$P_{\text{магн имп}}$ [кВт]					
$f_0$ [МГц]					

По полученным результатам построить зависимости:

$$P_{\text{имп. маг}} = F_1(U_0)$$

$$f_0 = F_2(U_0)$$

8. Исследовать зависимость частоты магнетрона от сопротивления нагрузки, для чего, вращая винт фазовращения, измерять частоту радар-тестером через каждый оборот. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5

Число оборотов $n$					
$f_0$					

По полученным данным построить зависимость  $f_0 = F(n)$ .

Определить максимальную величину отклонения частоты.

9. Зарисовать осциллограммы импульсов магнетрона при длительностях запускающих импульсов 0,6; 1; 2,25 мксек. Определить  $T_{\text{об}}$ ,  $T_{\text{а}}$ ,  $T_{\text{ог}}$  огибающей высокочастотных импульсов.

При этом осциллограф подключается к детекторной головке (Г5), а на-

пряжение на аноде магнетрона  $U_0$  устанавливается равным 14 кв.

10. Вычислить электронный коэффициент полезного действия магнетрона

$$\eta_e = \frac{P_{имп}}{P_0}$$

Здесь  $P_{имп}$  - высокочастотная мощность магнетрона в импульсе, измеренная в п.6;

$P_0$  - подводимая мощность к аноду магнетрона в импульсе

$$P_0 = U_0 \cdot J_{имп\ расч}$$

$J_{имп\ расч}$  - импульсный ток магнетрона из таблицы 2.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 6.

Таблица 6

$U_0$ [кВ]					
$J_{имп\ расч}$ [а]					
$P_0$ [кВт]					
$P_u$ [кВт]					
$\eta_e$					

По полученным данным построить зависимость:

$$\eta_e = f(U_0)$$

#### Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

Блок-схема передатчика.

Упрощенная принципиальная схема передатчика (блоки питания, подмодулятор и систему КЗУ можно не показывать).

Осциллограммы с указанием длительности импульсов  $T_u$  и длительностей передних и задних фронтов  $T_{ф}$ ,  $T_{сп}$ . Каждая осциллограмма должна иметь пояснение, с какой целью она снята.

Таблицы измеренных и расчетных данных и их графики:

а)  $U_0 = f(J_{ср})$



б)  $U_o = f(J_{\text{имп расч}})$  и  $U_o = f_1(J_{\text{имп}})$

в)  $R_{\text{магн имп}} = F_1(U_o)$

г)  $f_o = F_2(U_o)$

д)  $f_o = F(n)$

е)  $\eta_e = f(U_o)$

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М.С.НЕЙМАН. Курс радиопередávющих устройств. «Сов.радио», гл.УП,УШ, 1965.
2. С.И.БЫЧКОВ. Магнетронные передатчики. «Воениздат», 1955.

#### Контрольные вопросы

1. Объяснить работу данного импульсного передатчика в целом.
2. Изменением величины каких элементов инвальной схемы можно менять частоту посылок импульсов передатчика, длительность импульса, полезную мощность передатчика ?
3. Какие функции выполняют сопротивления  $R32, R30, R33, R25, R26, R28, R29, R20, R21$ ; конденсаторы  $CI4, CI5, CI2, CI0$ ; цепочки  $L1-C7; L2-C8; L3-C9$  ?
4. Почему уменьшается ток магнетрона при повышенном значении  $U_o$  ?
5. Объяснить принцип работы магнетрона.
6. Как образуются «спины» в магнетроне ?
7. Как можно повысить  $\eta_e$  магнетрона ?
8. Что такое рабочие, нагрузочные характеристики магнетрона ? Нарисуйте их.
9. Что такое искрение магнетрона ? Вследствие чего оно возникает ?
10. Что такое параметр затягивания частоты магнетрона ? Как он определяется ?
11. Какие требования предъявляются к модулирующему импульсу магнетронного передатчика ?
12. В чем различие зависимостей  $U_o = f(J_{\text{имп расч}})$  и  $U_o = f(J_{\text{имп}})$  ?

13. Нарисовать на одном графике

$$T_{зап} = f(t)$$

$$T_{мод} = f(t)$$

$$T_{вч} = f(t)$$

при работе модулятора на магнетрон.

- Здесь
- длительность запускающего импульса;
  - длительность модулирующего импульса;
  - длительность высокочастотного импульса;
  - время.

14. Известно рабочее напряжение магнетрона  $E_{ар}$  и рабочий ток магнетрона  $J_{ор}$ .

По семейству характеристик  $J_a = f(E_a, U_q)$  при  $E_{q_0} = const$  определить режим модуляторной лампы, который обеспечит формирование заданной длительности фронта модулирующего импульса  $T_{\phi}$ . Определить требования к запускающему импульсу.

15. Когда в модуляторе с частичным разрядом  $C_n$  в качестве зарядно-разрядного элемента применяется сопротивление и когда индуктивность? Как влияет величина индуктивности на форму модулирующего импульса?

16. Какие требования предъявляются к демпфирующему диоду? В каких случаях он ставится?

17. Нарисовать эквивалентные схемы импульсного модулятора при работе на магнетрон:

- а) при расчете  $T'_{\phi}$  модулирующего импульса;
- б) при расчете  $T''_{\phi}$  модулирующего импульса;
- в) при расчете  $T_{сн}$  модулирующего импульса;
- г) при расчете зарядного сопротивления модулятора;
- д) при расчете накопительной емкости  $C_n$ .

Здесь  $T'_{\phi}$  - длительность фронта модулирующего импульса, в течение которой напряжение на аноде магнетрона возрастает от нуля до порогового, а  $T''_{\phi}$  - от порогового до рабочего ( $E_{ар}$ ).

18. Как выбирается модуляторная лампа, если известны  $E_{ар}$ ,  $J_{ор}$  магнетрона?

19. Какие меры принимаются для улучшения вершины в.ч. импульса магнетрона?

20. В каких случаях можно применять искусственную линию в качестве

накопителя модулятора магнетронного генератора ? Какие особенности при этом имеет все устройство в целом ?

21. Почему вольтамперная характеристика магнетрона строится в координатах  $U_0 = f(J_0)$  , а не в координатах  $J_0 = f(U_0)$  ?

Приложение I

Таблица пересчета отношений напряжений, токов и мощностей в децибелах

Децибелы	Отношение напряж. токов	Отношение мощностей	Децибелы	Отношение напряжен. токов	Отношение мощностей
0	1,000	1,000	29	28,18	794,3
0,1	1,012	1,023	30	31,62	1000
0,2	1,023	1,047	31	35,48	1259
0,3	1,035	1,072	32	39,81	1585
0,4	1,047	1,096	33	44,67	1995
0,5	1,059	1,122	34	50,12	2510
0,6	1,072	1,148	35	56,23	3160
0,7	1,084	1,175	36	63,10	3980
0,8	1,096	1,202	37	70,79	5010
0,9	1,109	1,230	38	79,43	6310
1,0	1,122	1,259	39	89,13	7940
2	1,26	1,58	40	100,0	10000
3	1,41	1,99	41	112,2	12600
4	1,58	2,51	42	125,9	15800
5	1,78	3,16	43	141,3	19900
6	1,99	3,98	44	158,5	25100
7	2,24	5,01	45	177,8	31600
8	2,51	6,31	46	199,5	39800
9	2,82	7,94	47	223,9	50100
10	3,16	10,00	48	251,2	63100
11	3,55	12,59	49	281,8	79400
12	3,98	15,85	50	316,2	100000
13	4,47	19,05	51	354,8	126000
14	5,01	25,12	52	398,1	158000
15	5,62	31,62	53	446,7	199000
16	6,31	39,81	54	501,2	251000
17	7,08	50,12	55	562,3	316000

Продолж.приложения I

Децибелы	Отношение напряж. токов	Отношение мощностей	Децибелы	Отношение напряжен. токов	Отношение мощностей
18	7,94	63,10	56	631,0	399000
19	8,91	79,43	57	707,9	501000
20	10	100	58	794,3	631000
21	11,22	125,9	59	891,3	794000
22	12,59	158,5	60	1000,0	1000000
23	14,13	199,5	70	3162	$10^7$
24	15,85	251,2	80	10000	$10^8$
25	17,78	316,2	90	31620	$10^9$
26	19,95	398,1	100	100000	$10^{10}$
27	22,39	501,2	110	316200	$10^{11}$
28	25,12	631,0	120	$10^6$	$10^{12}$

## Р А Б О Т А № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ НА ЛАМПЕ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ (ЛБВ)

Цель настоящей работы - ознакомление с действием и конструкцией генератора с независимым возбуждением СВЧ на лампе с бегущей волной;

снятие зависимостей, характеризующих основные свойства генератора:

- а) зависимость усиления от напряжения на фокусирующей электроде;
- б) зависимость усиления от ускоряющего напряжения;
- в) зависимость усиления от частоты усиливаемых колебаний (частотная характеристика);
- г) зависимость усиления от величины мощности усиливаемых колебаний (амплитудная характеристика);
- д) зависимость усиления от напряжения на первом аноде.

Описание установки для исследования генератора  
с независимым возбуждением на лампе с бегущей волной (ЛБВ)

Установка позволяет проводить исследования генератора с независимым возбуждением на ЛБВ в диапазоне 10 см. Она содержит катушку, в которой помещается ЛБВ, два стабилизированных выпрямителя, схему защиты по току спирали и органы управления и контроля.

#### Лампа бегущей волны и катушка

Генератор состоит из собственно лампы с бегущей волной и дополнительных внешних конструктивных элементов установки, так называемой катушки, включающей в себя фокусирующие катушки, входное и выходное устройства, приспособления для юстировки лампы, многопроводные кабели питания.

Схематическое устройство ЛБВ с катушкой показано на рис.8.

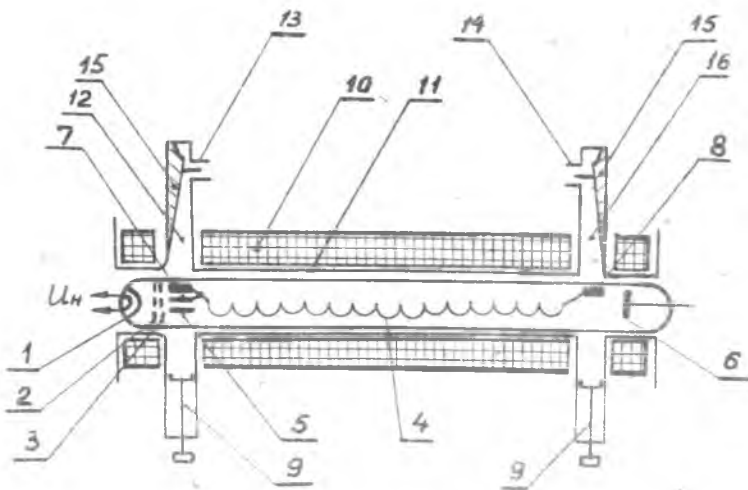


Рис. 8. Схематическое устройство ЛВБ с арматурой

1 - катод; 2 - фокусирующий электрод; 3 - I анод; 4 - спираль; 5 - 2-ой анод; 6 - коллектор; 7 - входная антенна; 8 - выходная антенна; 9 - настрелный поршень; 10 - фокусирующая система (соленоид); 11 - металлическая труба; 12 - входной волновод; 13, 14 - коаксиально-волноводный переход; 15 - согласующий трансформатор; 16 - выходной волновод.

В арматуре с помощью кабеля питания и лампы панели (на рисунке не показаны) на электроды лампы подаются необходимые питающие напряжения. На коллектор 6 подводится напряжение с помощью кабеля и контактного колпачка. На спираль 4 и второй анод 5 обычно подается одно и то же положительное относительно катода напряжение. Спираль 4 вместе с металлической трубой 11 арматуры образует спиральную коаксиальную линию, являющуюся замедляющей системой. Напряжение на замедляющей системе (в данном случае спирали) определяет скорость электронов, взаимодействующих с электромагнитной волной, распространяющейся вдоль спирали, и выбирается таким, чтобы это взаимодействие было максимальным.

Все питающие напряжения лампы подаются от источников постоянного тока.

На трубу 11 надета фокусирующая система 10, представляющая собой соленоид, питающийся постоянным током от централизованного источника +27 в и создающий однородное магнитное поле для поперечной фокусировки электронов в пучке. К металлической трубе 11 примыкают входной 12 и выходной 16 волноводы, связанные со спиралью через элементы связи - антенны 7 и 8

соответственно. К входному и выходному водноводам присоединяются волно-водно-коаксиальные устройства I3, I4 с согласующими трансформаторами сопротивлений I5. Практически в усилителях на ЛБВ делают так, чтобы входной и выходной водноводы представляли для спиральной линии согласованную нагрузку, что необходимо для получения вдоль линии бегущей волны с возможно большим КБВ.

Подстроечные плунжеры 9 служат для согласования спиральной коаксиальной линии в диапазоне частот. Приспособление для юстировки лампы не показано. Оно является составной частью арматуры, расположенной у коллектора, и представляет два эксцентрических металлических кольца, взаимное расположение которых относительно друг друга может изменяться. Вращая кольца, можно изменять положение лампы относительно оси фокусирующей системы как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

#### Схема питания ЛБВ

Принципиальная схема установки показана на рис.9.

Напряжение питания на коллектор ЛБВ (Л1) подается от нестабилизированного источника, выполненного по схеме удвоения на диодах Д1-Д2, через переключатель «В1» включения высокого напряжения «+500 в».

Напряжение питания фокусирующего электрода, первого анода и спирали стабилизированные. Стабилизатор выполнен на лампах Л2 (регулирующая), Л3 (управляющая), Л4. Стабилитрон Л4 определяет постоянный потенциал катода лампы Л3. Стабилизированное напряжение на фокусирующий электрод ЛБВ снимается с делителя R3-R4-R5, на первый анод - с делителя R6-R7-R8 и на спираль - с делителя R9-R10-R11. Напряжения  $U_{\phi}$ ,  $U_{a1}$ ,  $U_{cп}$  могут регулироваться с помощью потенциометров R4, R7, R10 соответственно. Контроль напряжений осуществляется вольтметром ИП1 при изменении положения переключателя В4. Питание накала ЛБВ стабилизируется барреттером Л5.

#### Схема защиты спирали

При неправильном выборе режима лампы или недостаточной фокусировке электронного луча лампа может выйти из строя, так как ток спирали превысит допустимое значение. Чтобы предотвратить выход лампы из строя предусмотрено схема защиты по току спирали.

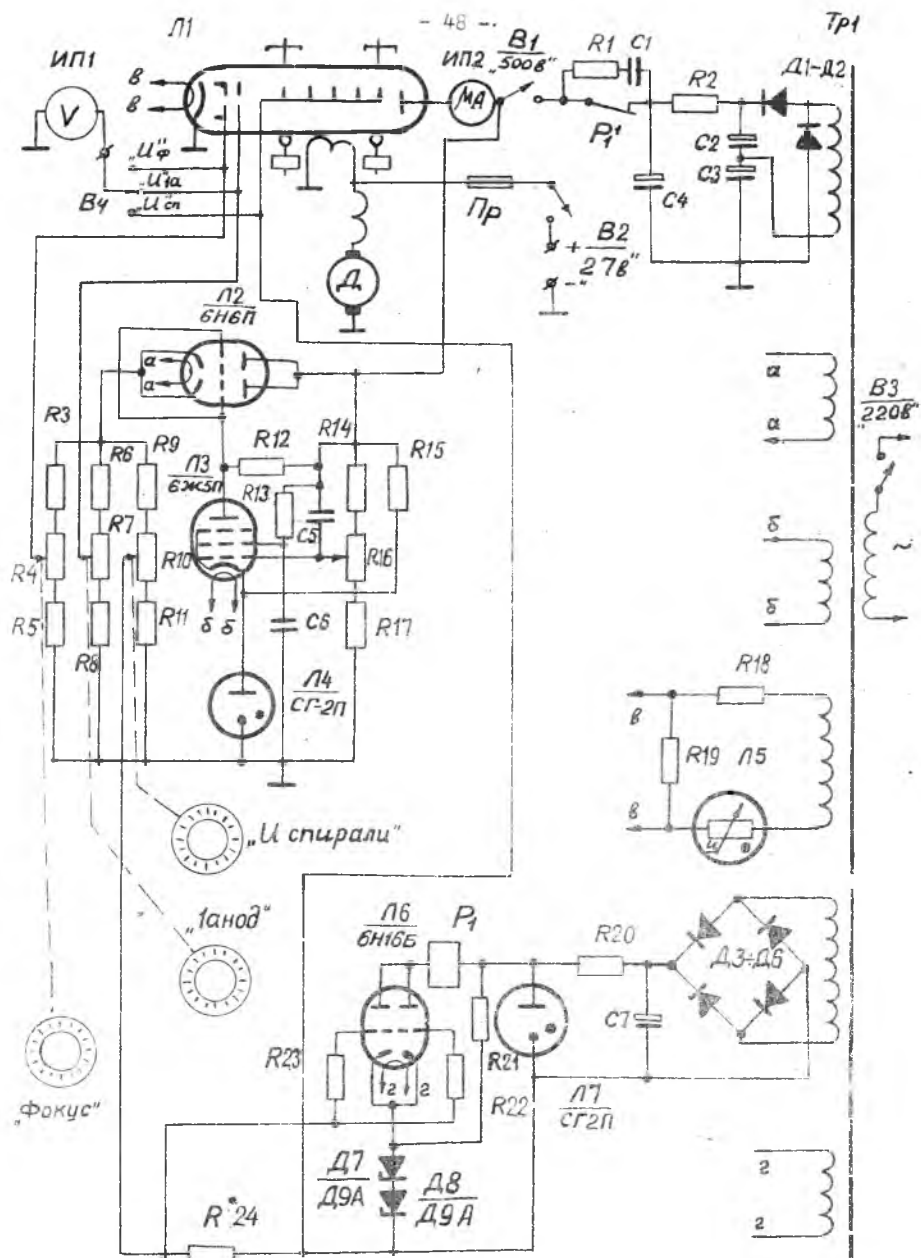


Рис.9. Принципиальная схема установки для исследования генератора с независимым возбуждением на Д.В.В.



Схема защиты собрана на лампах Л6, Л7 и стабилитронах Д7, Д8. Лампа Л6 питается от стабилизированного выпрямителя, собранного на диодах Д3-Д6 по мостиковой схеме. Стабилизация напряжения осуществляется стабилитром Л7.

В анод лампы Л6 включена обмотка реле Р1, контакты которого Р1' включены в цепь питания стабилизатора и коллектора ЛБВ. Работа схемы защиты заключается в следующем: при токе спирали  $J_{cl} < J_{cl\,nom}$ , т.е. при нормальном режиме ЛБВ, через лампу Л6 протекает ток порядка 2-3 ма, определяемый потенциалом на управляющей сетке, который, в свою очередь, определяется фиксированным потенциалом катода (потенциал фиксируется стабилитронами Д7, Д8) и напряжением на сопротивлении R24 за счет протекания по нему тока спирали. Ток срабатывания реле Р1 составляет около 6 ма, поэтому нормально-замкнутый контакт остается в исходном состоянии и на ЛБВ подаются все питающие напряжения. Как только ток  $J_{cl}$  превысит допустимое значение, напряжение, снимаемое с сопротивления R24, повысится, лампа Л6 приоткроется, ток через нее увеличится и станет достаточным для срабатывания реле Р1. В результате контакт Р1' размыкается и питание с электродов ЛБВ снимается.

#### Органы управления и контроля

На переднюю панель вынесены следующие органы управления и контроля: Ручки потенциометров R4 - "фокус", R7 - "Анод", R10 - "Спираль", ИП2 - прибор для измерения тока коллектора на 400 мка.

В1 - тумблер "500 в", для включения высокого напряжения на электроды ЛБВ;

В2 - тумблер "+27в" для включения питания на фокусирующую систему;

В3 - тумблер "220 в" для включения напряжения сети;

В4 - переключатель на три положения "U<sub>д</sub>", "U<sub>а</sub>", "U<sub>cl</sub>" для подключения вольтметра ИП1 к соответствующему электроду.

Из вспомогательной измерительной аппаратуры в работе используется в качестве прибора ИП1 вольтметр типа АВО-5м, подключаемый к установке через клеммы, выведенные на переднюю панель; измеритель малых мощностей типа МЗ-1 (ИММ-6) и генератор стандартных сигналов типа Г4-9 (ГСС-27).

#### З а д а н и е

А. Выполняется при подготовке

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием установки для исследования генератора на ЛБВ.
3. Продумать порядок выполнения работы в лаборатории.
4. Изобразить ожидаемый ход кривых, которые будут сниматься в работе.

Б. Выполняется в лаборатории

5. Ознакомиться с установкой и измерительной аппаратурой, используемой в работе.

6. Подготовить измерительную аппаратуру к работе. Включить измеритель мощности МЗ-1 и генератор Г4-9, дать им прогреться 10-15 минут и откалибровать их в соответствии с прилагаемыми инструкциями и графиками.

7. Включить установку, строго соблюдая правильный порядок включения ее:

- а) поставить переключатель ВЗ - "220 в" в положение "вкл.";
- б) включить питание на фокусирующую систему ЛБВ, поставив тумблер В2 - "27 в" в положение "вкл.". Дать прогреться ЛБВ 1-2 минуты;
- в) вывести потенциометры "фокус", "1 анод" в крайнее левое положение. Включить высокие напряжения на электроды ЛБВ, поставив переключатель В1 - "500 в" в положение "вкл."

8. Снять зависимость коэффициента усиления по мощности от напряжения на ускоряющем электроде.

При выполнении этого пункта напряжения на электродах должны быть следующие:

$$U_{a1} = 50 \text{ в};$$

$$U_{\phi} = 8 \text{ в};$$

$U_{\text{коллектора}} = 500 \text{ в}$  (не регулируется).

Как было отмечено ранее, в ЛБВ второй анод и замедляющая система (спираль) имеют одинаковый потенциал, поэтому ускоряющее напряжение является напряжением на спирали.

Изменяя напряжение на спирали через 10 в, снять зависимость  $P_{\text{вых}} = f(U_{\text{ан}})$ . Зависимость снимается при двух неизменных величинах входной мощности генератора

$$P_{\text{вх}} = 5 \text{ мкВт} \quad \text{и} \quad P_{\text{вх}} = 30 \text{ мкВт} \quad \text{при частоте колебаний } f = 2970 \text{ МГц}$$

По полученным данным рассчитать коэффициент усиления мощности в децибелах по формуле  $K(195) = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$ . Для экономии времени можно воспользоваться таблицей пересчета отношения мощностей в децибелы, используя приложение I.

Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

$U_{ан}$ [В]	:	:	:	:
$P_{вх}$	:	:	:	:
мВт	:	:	:	:
$K$	:	:	:	:
[дБ]	:	:	:	:

По полученным данным на одном графике построить зависимости  $P_{вх} = f_1(U_{ан})$ ,  $P_{вх} = f_2(U_{ан})$  для  $P_{вх} = 5 \text{ мкВт}$  и  $P_{вх} = 30 \text{ мкВт}$ .

Зафиксировать значение оптимального напряжения на спирали  $U_{ан опт}$ , соответствующего максимальному усилению при  $P_{вх} = 5 \text{ мкВт}$ .

9. Снять зависимость коэффициента усиления по мощности от напряжения на фокусирующем электроде.

При выполнении этого пункта напряжения на электродах и параметры входного сигнала должны быть следующие:

$$U_{ан} = 50 \text{ В};$$

$$U_{св} = U_{св опт}, \text{ при } P_{вх} = 5 \text{ мкВт};$$

$$U_{пол} = 500 \text{ В};$$

$$P_{вх} = 5 \text{ мкВт};$$

$$f = 2970 \text{ МГц}.$$

Изменяя напряжение  $U_{ф}$  от 9 до 0 в через 1 вольт, снять зависимость  $P_{вх} = f(U_{ф})$  и вычислить коэффициент усиления по мощности  $K$ .

Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

$U_{ф}$ [В]	:	:	:	:
$P_{вх}$ [мВт]	:	:	:	:
$K$ [дБ]	:	:	:	:

По полученным данным на одном графике построить зависимости:

$$P_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{эф}})$$

$$K = f_2(U_{\text{эф}})$$

10. Снять зависимость коэффициента усиления  $K$  от напряжения на первом аноде.

При этом:

$$U_{\text{эф}} = 8 \text{ в};$$

$$U_{\text{сел}} = U_{\text{сел опт}} \quad ; \quad \text{при} \quad P_{\text{вх}} = 5 \text{ мквт};$$

$$U_{\text{конт}} = 500 \text{ в};$$

$$P_{\text{вх}} = 5 \text{ мквт};$$

$$f = 2970 \text{ мгц.}$$

Изменяя напряжение  $U_{a_1}$  от 100 в до 10 в, снять зависимость

$$P_{\text{вых}} = f(U_{a_1})$$

По полученным данным вычислить коэффициент усиления по мощности  $K$ .  
Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

$U_{a_1} [\text{В}]$					
$P_{\text{вых}} [\text{мвт}]$					
$K [\text{дБ}]$					

По данным таблицы на одном графике построить зависимости:

$$P_{\text{вых}} = f_1(U_{a_1})$$

$$K = f_2(U_{a_1})$$

11. Снять частотную характеристику ДБВ, т.е. зависимость коэффициента усиления от частоты входных колебаний.

При этом установить:

$$U_{\text{сел}} = U_{\text{сел опт}} \quad , \quad \text{при} \quad P_{\text{вх}} = 5 \text{ мквт};$$

$$U_{a_1} = 50 \text{ в};$$

$$U_{\text{эф}} = 8 \text{ в};$$

$$U_{\text{конт}} = 500 \text{ в.}$$

На каждой частоте поддерживать постоянное значение входной мощности  $P_{вх} = 5$  мквт.

Изменяя частоту колебаний в пределах от 2650 мГц до 3100 мГц через 50 мГц, фиксировать значение выходной мощности.

По полученным данным вычислить коэффициент усиления  $K$ .

Результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4

$f$ (мГц)	:	:	:	:
$P_{вх}$ [мВт]	:	:	:	:
$K$ [дБ]	:	:	:	:

По данным таблицы на одном графике построить зависимости:

$$P_{вх} = F_1(f),$$

$$K = F_2(f).$$

12. Снять амплитудные характеристики для трех частот диапазона:

$$f = 2650 \text{ мГц}; \quad f = 2970 \text{ мГц}; \quad f = 3100 \text{ мГц}.$$

При этом установить:

$$U_{ф} = 8 \text{ в};$$

$$U_{сн} = U_{сн. опт} \quad \text{при} \quad P_{вх} = 5 \text{ мквт};$$

$$U_{аг} = 50 \text{ в};$$

$$U_{холл} = 500 \text{ в}.$$

Изменяя на каждой частоте величину входной мощности от 0,1 мквт до 50 мквт, снять зависимость  $P_{вх} = f(P_{вх})$ .

По полученным данным вычислить коэффициент усиления по мощности  $K$ .

Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5

$P_{вх}$ [мквт]	$f = 2650$ мГц
	$f = 2970$ мГц
	$f = 3100$ мГц
$P_{вых}$ [мвт]	$f = 2650$ мГц
	$f = 2970$ мГц
	$f = 3100$ мГц
$K$ [дБ]	$f = 2650$ мГц
	$f = 2970$ мГц
	$f = 3100$ мГц

По полученным данным строятся зависимости:

$$P_{вых} = f_1(P_{вх}) \quad \text{при} \quad \begin{aligned} f &= 2650 \text{ мГц;} \\ f &= 2970 \text{ мГц;} \\ f &= 3100 \text{ мГц.} \end{aligned}$$

и  $K = f_2(P_{вх})$

#### Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

Принципиальная схема установки.

Графики зависимостей

$$P_{вых} = f_1(P_{вх}) \quad \text{при} \quad P_{вх} = 5 \text{ мквт;} \\ K = f_2(P_{вх}) \quad \text{и} \quad P_{вх} = 30 \text{ мквт.}$$

Графики зависимостей

$$P_{вых} = f_1(P_{вх}) \\ K = f_2(P_{вх})$$

Графики зависимостей

$$P_{\text{внх}} = f_1(U_{\text{аг}}) ,$$

$$P_{\text{внх}} = f_2(U_{\text{аг}}) .$$

Частотная характеристика

$$K = F(f)$$

Амплитудные характеристики

$$P_{\text{внх}} = f_1(P_{\text{вх}}) \quad \text{при} \quad f = 2650 \text{ мГц};$$

$$P_{\text{внх}} = f_2(P_{\text{вх}}) \quad \text{при} \quad f = 2970 \text{ мГц};$$

$$P_{\text{внх}} = f_3(P_{\text{вх}}) \quad \text{при} \quad f = 3100 \text{ мГц}.$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М.С.НЕЙМАН. Курс радиопередающих устройств. "Сов.радио", гл.ІХ, 1965.

2. Н.А.ТРОШАНОВ. Радиоаппаратура на лампах с бегущей волной. "Судпромгиз", гл.І. § І, гл.У+УП. 1961.

Контрольные вопросы

1. Рассказать об устройстве усилителя на ЛБВ.
2. В чем состоит условие синхронизации для ЛБВ и каков его физический смысл.
3. Назначение замедляющих систем и основные требования, предъявляемые к ним. Что такое дисперсионная характеристика ?
4. Что такое амплитудная характеристика ? Пояснить ее ход.
5. Для чего необходимы согласующие устройства на входе и выходе генераторов на ЛБВ ?
6. Пояснить все зависимости, снятые при выполнении работы.
7. С какой целью ставится схема защиты по току спирали ? Как она работает ?

8. По каким электродам и какие виды модуляции можно осуществлять в ЛБВ ?

9. Написать выражение для выходной волны в ЛБВ. Какие выводы можно сделать на основании этого выражения ?

10. Нарисовать принципиальную схему маломощной ЛБВ с источниками питания: а) с амплитудной модуляцией, б) с фазовой модуляцией.

11. Нарисовать принципиальную схему мощной ЛБВ с источниками питания: а) с амплитудной модуляцией; б) с фазовой модуляцией.

12. Какие требования предъявляются к источникам питания ЛБВ ?

13. Охарактеризовать основные виды фокусирующих систем.

14. Пояснить принцип работы ЛБВ типа "О" и типа "М".

15. Как настроить ЛБВ ?

16. Почему генератор с независимым возбуждением на ЛБВ может самовозбуждаться ? Как определить, что ЛБВ возбудилась ? Как устранить самовозбуждение ЛБВ ?

17. Какой порядок коэффициента усиления у ЛБВ ? Какие условия необходимы для получения широкополосности усиления ?

18. Написать выражения для коэффициентов усиления ЛБВ по напряжению и по мощности.



## РАБОТА № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

Целью работы являются: ознакомление с конструкцией отражательного клистрона; изучение зависимости мощности и частоты генерируемых колебаний от напряжения на отражателе в различных зонах генерации; получение линий постоянной мощности для отражательного клистрона; ознакомление с измерительным прибором «Анализатор спектра частот» типа СЧ-2.

#### Описание установок для исследования отражательного клистрона

Лабораторные работы выполняются на двух типах установок:

1. На спектр-анализаторе частот типа СЧ-2 (установка № 1), где исследуется клистрон гетеродина.
2. На лабораторной установке № 2, содержащей клистронную секцию с источниками питания и модуляторы. В обеих установках исследуется отражательный клистрон 3-см диапазона типа К-19.

Номер установки для выполнения работы определяется преподавателем на занятии.

#### А. Краткое описание анализатора спектра частот типа СЧ-2 (установки № 1)

##### Назначение прибора

Анализатор спектра частот типа СЧ-2 предназначен для лабораторного исследования частотных спектров импульсно- и амплитудно-модулированных сигналов.

колебаний. Анализатор спектра дает возможность получить осциллографическое изображение спектра в координатах "частота-мощность", измерять ширину спектра, а также амплитуду отдельных составляющих спектра по отношению к амплитуде основной частоты.

### Блок-схема и принцип действия прибора

Анализатор спектра состоит из двух отдельных блоков - высокочастотного и индикаторного. Блок-схема анализатора спектра приведена на рис.10.

На этой схеме:

- 1 - первый кнопочный ослабитель сигнала на 30 дб;
- 2 - вольтмер;
- 3 - второй градуированный ослабитель сигнала;
- 4 - дополнительный ослабитель сигнала;
- 5 - детекторная головка с кристаллическим смесителем;
- 6 - частотно-модулированный гетеродин;
- 7 - генераторная секция с калибраторным кलिстроном;
- 8 - ослабитель с плавной регулировкой;
- 9 - калибратор;
- 10 - блок питания высокочастотной части анализатора спектра;
- 11 - приемник сигнала;
- 12 - генератор развертки;
- 13 - электронно-лучевая трубка с органами управления;
- 14 - блок питания индикаторной части анализатора спектра.

Принцип работы анализатора спектра заключается в следующем:

Исследуемый высокочастотный импульс поступает во входное устройство анализатора и смешивается в кристаллическом смесителе с сигналом гетеродина.

Первый гетеродин приемника, работающий на отражательном кलिстроне типа К-19, модулируется по частоте тем же пилообразным напряжением, которое создает напряжение развертки на горизонтально-отклоняющих пластинах электронно-лучевой трубки.

При подаче на вход анализатора импульсных высокочастотных сигналов через усилитель промежуточной частоты приемника проходят те составляющие импульса, которые в данный момент времени образуют с меняющейся частотой первого гетеродина промежуточную частоту (40 мГц).

Для получения узкой полосы пропускания усилителя промежуточной частоты (60 кГц) применяется двойное преобразование частоты.

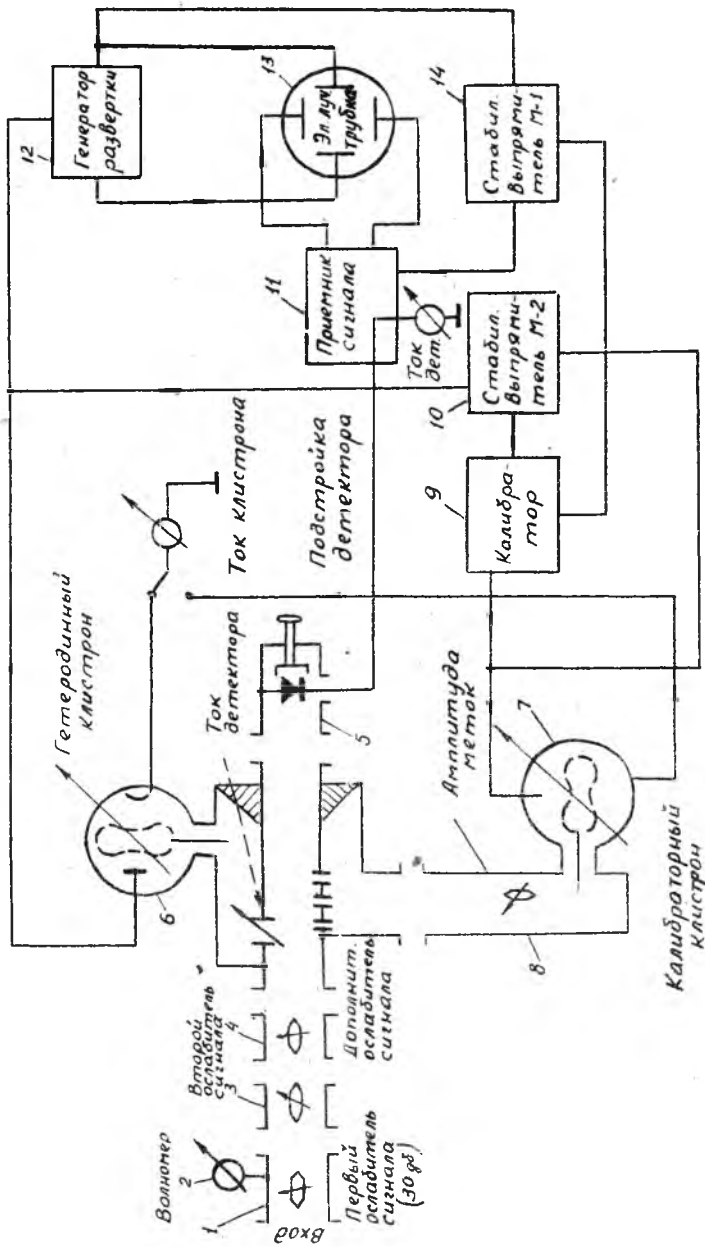


Рис.10. Блок-схема анализатора частот типа СЧ-2.

Так как усилитель промежуточной частоты имеет узкую полосу по сравнению с полосой, занимаемой исследуемым спектром, на экране осциллографа будет выделен узкий участок спектра исследуемых частот, в момент прихода следующего импульса частота гетеродина изменится и через усилитель промежуточной частоты пройдет другая составляющая импульса. Напряжение промежуточной частоты подводится к квадратичному детектору и после усиления по видеочастоте - к вертикально отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки. Амплитуда каждой составляющей на экране трубки будет пропорциональна мощности отдельных составляющих участка спектра, заключенного в полосу частот усилителя.

Работа анализатора спектра в диапазоне частот обеспечивается перестройкой первого гетеродина.

Оптимальный режим клистрона для данной волны устанавливается при помощи изменения постоянного напряжения на отражательной электроде клистрона. Для определения разности частот между характерными точками спектра применяется калибраторный клистрон, настраиваемый на частоту, которая образует с частотой местного гетеродина промежуточную частоту.

Промодулированный синусоидальным напряжением от специального калибраторного генератора этот клистрон дает спектр, в котором боковые частоты находятся от основной и друг от друга на расстояниях, равных частоте модуляции.

Спектр частот, получившийся в результате модуляции калибраторного клистрона, используется в качестве систем калибровочных меток.

### Органы управления и их назначение

Все органы управления анализатора спектра расположены на передних панелях высокочастотного и индикаторного блоков, за исключением кнопок дополнительного ослабителя, расположенных на левой боковой стенке высокочастотного блока и потенциометра, (на правой боковой стенке в.ч. блока) изменяющего напряжение на резонаторе.

Ниже приводится перечень органов управления, необходимых для проведения лабораторной работы.

Органы управления на в.ч. блоке и их назначение

1. "Умножитель" - регулирует амплитуду сигнала "исследуемого" и "калибровочного".

2. Тумблер "Ток клистронов" с положениями "Калибратор" - "Гетеродин". Предназначается для переключения прибора, измеряющего токи клистронов, в цепь клистрона гетеродина и клистрона калибратора.

3. Ручка "Резонатор", "Частота гетеродина" - для перестройки частоты гетеродина по диапазону. При этом изменяются геометрические размеры резонатора клистрона, определяющего частоту.

4. Ручка "Отражатель" - для выбора оптимальной области гетеродина клистрона и установки ее по центру экрана трубки. Регулировка производится изменением постоянного напряжения на отражателем электроде клистрона.

5. Ручка "Волномер" - для измерения частоты исследуемого сигнала. Измерение производится путем настройки в резонанс коаксиального контура волномера. Индикация настройки производится по уменьшению изображения сигнала на экране трубки или по уменьшению показаний прибора "Ток детектора" на индикаторном блоке, когда выход детектора подключен к прибору. (Тумблер под прибором в положении "Спектр").

6. Кнопка "Первый ослабитель сигнала"  $30 \text{ дБ}$  - для изменения уровня исследуемого сигнала на  $30 \text{ дБ}$ . Уровень сигнала изменяется введением затухания в тракт сигнала.

7. Ручка "Второй ослабитель сигнала" - для плавной регулировки уровня исследуемого сигнала. Изменение уровня осуществляется путем введения переменного затуханий в тракт исследуемого сигнала.

8. Ручка "Ток детектора" - для установки нормального тока кристаллического детектора. Установка осуществляется изменением длины резонансного штыря, расположенного в сечении окна, соединяющего волновод гетеродина с волноводом основного тракта, т.е. с помощью этой ручки изменяется связь клистрона с волноводом основного тракта.

9. Ручка "Подстройка детектора" - для подстройки детектора по диапазону частот. Подстройка производится перемещением поршня, расположенного в волноводе детекторной головки. При этом на каждой частоте вывод клистрона помещается точно в пучность электрического поля, что соответствует максимуму показаний прибора "Ток детектора".

#### Органы управления, расположенные на индикаторном блоке

1. Тумблер "Сеть" с положениями "Включено" и "Выключено" предназначается для включения и выключения напряжения питающей сети.

2. Тумблер с положениями "Область генерации клистрона" - "Спектр". В

положении «Область генерации клистрона» выход кристаллического детектора по постоянному току включается на вход усилителя видеочастоты, что позволяет вести наблюдение областей генерации гетеродина клистрона вместе с изображением спектра. В положении «Спектр» выход кристаллического детектора по постоянному току подключается к прибору «Ток детектора».

3. Ручка «Горизонтальная установка» - для перемещения развертки в горизонтальном направлении. Перемещение развертки осуществляется изменением постоянной составляющей выходного усилителя напряжения развертки.

4. Ручка «Вертикальная установка» - для перемещения изображения в вертикальном направлении. Перемещение осуществляется изменением постоянной составляющей выходного усилителя приемника сигнала.

5. Ручка «Яркость» - для регулировки яркости изображения. Регулировка производится изменением смещения на сетке электронно-лучевой трубки.

6. Ручка «Фокусировка» - для регулировки фокусировки изображения. Регулировка производится изменением напряжения на первом аноде электронно-лучевой трубки.

7. Ручка «Амплитуда развертки» - для регулировки амплитуды развертки на горизонтально отклоняющих пластинах электронно-лучевой трубки. Регулировка осуществляется изменением пилообразного напряжения, подаваемого на вход парафазного усилителя генератора развертки.

8. Ручка «Частотный масштаб спектра» - для изменения частотной девиации клистрона - частотного масштаба спектра. Регулировка производится изменением амплитуды пилообразного напряжения, подаваемого на отражательный электрод клистрона.

9. Ручка «Частота развертки плавно» - для плавной регулировки частоты развертки. Регулировка производится изменением сопротивления разрядной лампы генератора развертки.

#### Узел исследуемого клистрона гетеродина и волномер

Конструктивно узел клистрона гетеродина представляет собой сочетание трех отрезков волновода стандартного сечения с металлическим кожухом, внутри которого устанавливается клистрон.

В качестве генераторной лампы в генераторе анализатора спектра применяется клистрон типа К-19. Клистроны этого типа имеют мощность в середине диапазона порядка 25 мвт. В крайних точках диапазона отдаваемая мощность падает, но все же остается в пределах, минимально необходимых для работы емкостного детектора.

Клистрон К-19 обеспечивает работу прибора в диапазоне 3,15-3,45 см. Диапазон свипирования у клистрона К-19 составляет величину примерно 30 мгц, считая по полуспадам отдаваемой мощности.

Связь канала клистрона с каналом местного гетеродина выполнена в виде окна в узкой стенке волновода и регулируется с помощью перекрывающего окно штыря. При минимальной связи с основным каналом почти вся отдаваемая клистроном энергия поглощается в оконечной нагрузке волновода гетеродина. Энергия, попавшая через окно связи в основной канал, делится пополам: одна половина ее используется смесительным детектором, другая поглощается ослабителями, стоящими в основном канале. Регулировка винта обеспечивает изменение связи в пределах 4-5  $q\delta$ .

Волномер коаксиального типа с полуволновым резонансом. Поршень в волномере реактивный,двигающийся вместе с центральным стержнем коаксиальной линии. С волноводом канала сигнала волномер связывается небольшим штырем, расположенным на середине широкой стенки волновода и переходящим в коаксиальной линии волномера в петлю. В момент резонанса шунтирующее волновод эквивалентное сопротивление резко уменьшается, что уменьшает амплитуду сигнала на экране трубки индикаторного блока.

В канал сигнала волномер включен между кнопочным и плавным ослабителем, это дает возможность устранить реакцию волномеров на источник сигнала и местный гетеродин.

Для контроля напряжений на резонаторе и отражателе служат два вольтметра.

## Б. Описание лабораторной установки № 2

Установка состоит из автогенератора СВЧ с детекторной головкой, источников питания и модуляторов. Принципиальная схема установки показана на рис. II.

### Автогенератор СВЧ

Автогенератор СВЧ собран на отражательном клистроне типа К-19 (Л7) и конструктивно выполнен в виде клистронной секции, представляющей собой отрезок волновода, по широкой стенке которого размещаются коаксиальный вывод клистрона и плунжер подстройки по частоте.

Для контроля параметров клистрона служит детекторная секция волномера. Детекторная головка служит для измерения мощности СВЧ сигнала.

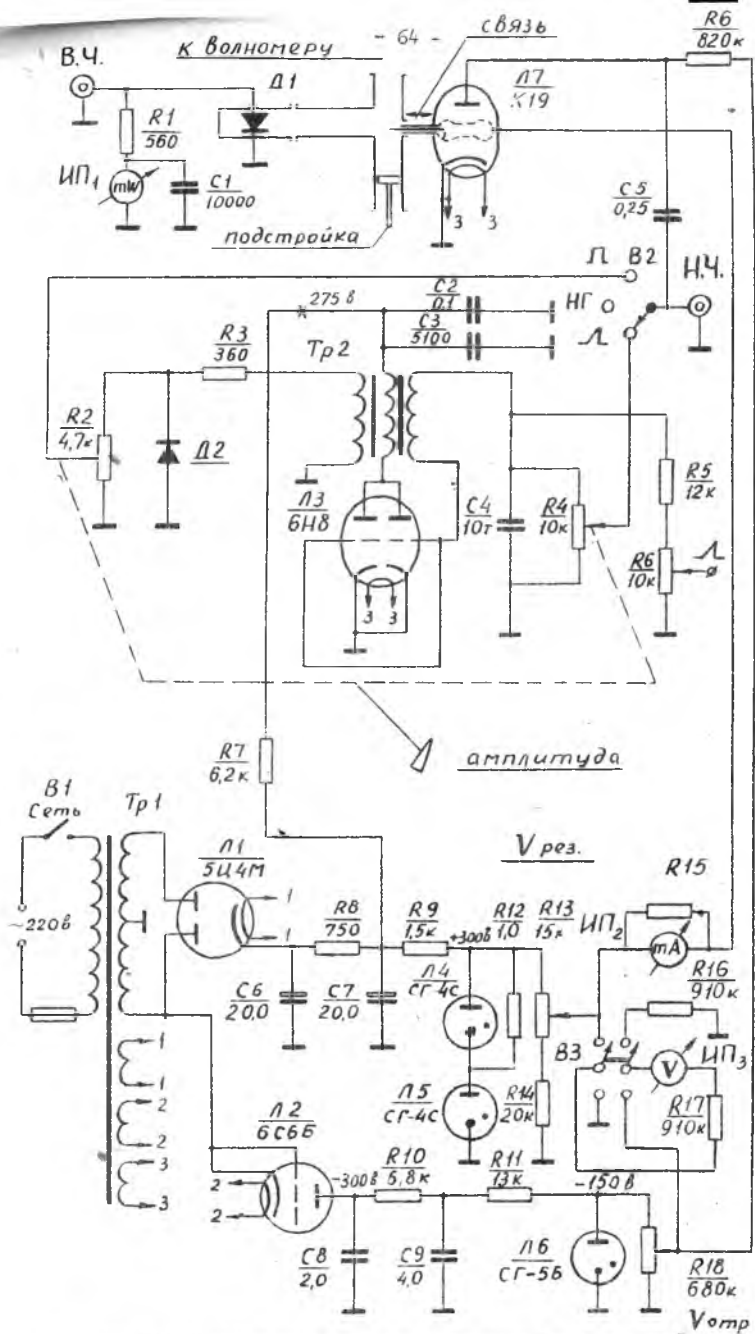


Рис. II. Принципиальная схема установки № 2 для исследования отражательного клистрона.



счет работы на квадратичном участке характеристики детектора), генерируемых клистроном, а также для детектирования СВЧ колебаний с последующим просмотром на осциллографе.

Максимум СВЧ мощности, подаваемой на детекторную головку, устанавливается короткозамыкающим поршнем, перемещающимся с помощью винта «Подстройка».

Величина связи клистрона с волноводным трактом регулируется ручкой «Связь» путем изменения глубины погружения вывода клистрона в волновод.

Для измерения частоты генерируемых колебаний предусмотрен отдельный волноводный выход. Частота измеряется резонансным волномером типа ЗСИМ.

### Модулятор

Модулятор собран на лампе ЛЗ и представляет собою блокинг-генератор в автоколебательном режиме. Частота генерируемых импульсов около 5 кГц, длительность 3 мксек. Амплитуда импульсов регулируется с помощью потенциометра R2, ручка которого выведена на переднюю панель установки «Амплитуда модуляции». Модулирующее импульсное напряжение подается на отражатель клистрона через емкость C5 при положении переключателя В2 «Род работы» - « $\perp$ ».

Частотный модулятор использует импульсы, генерируемые блокинг-генератором и вырабатывает двустороннюю пилу. Работает частотный модулятор следующим образом.

Импульс со вторичной обмотки трансформатора Tr2 заряжает емкость C4, напряжение на которой растет по экспоненте. За время отсутствия импульсов конденсатор C4 разряжается через сопротивление R4. За счет большой постоянной цепи заряда и соответствующего выбора цепи разряда получается практически линейная двусторонняя пила.

Пилообразное напряжение с потенциометра R4, ручка которого спарена с ручкой потенциометра R2 и выведена на переднюю панель под названием «Амплитуда модуляции», подается на отражатель через емкость C5, если переключатель «Род работы» находится в положении - « $\perp$ ». При этом осуществляется частотная модуляция клистрона. Для просмотра зон генерации клистрона на осциллографе предусмотрена клемма « $\perp$ », пилообразное напряжение на которую подается с делителя R5·R6. На переднюю панель выведены клеммы «в.ч.» - для просмотра импульсов с детекторной головки и клемма «н.ч.» для просмотра модулирующих напряжений.

### Источники питания

В установке применены два стабилизированных источника питания. Источник питания резонатора собран на кенотроне Л1 по схеме двухполупериодного выпрямления. Стабилизация газовая, на двух стабилитронах Л4 и Л5.

Напряжение на резонаторе может изменяться с помощью потенциометра R13, ручка которого выведена на переднюю панель. Ток резонатора клистрона контролируется миллиамперметром ИП2. Питание отражателя осуществляется однополупериодным выпрямителем на лампе Л2 с газовой стабилизацией с помощью стабилитрона Л6. Напряжение отражателя изменяется потенциометром R18, ручка которого выведена на переднюю панель.

Напряжения резонатора и отражателя контролируются вольтметром ИП3, переключение которого осуществляется переключателем В3.

### З а д а н и е

#### А. Выполняется при подготовке к работе

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описаниями установок.
3. Прочитать описание работы и продумать порядок выполнения.
4. Нарисовать ожидаемый характер кривых, которые будут сниматься в работе.

#### Б. Выполняется в лаборатории

#### Порядок выполнения работы на установке № I

5. Подготовить прибор к работе, для чего:

Переключатель «Обл. ген. клистр.» — «Спектр» поставить в положение «Спектр». При этом выход детектора подключается к прибору «Ток детектора» который является индикатором мощности клистрона гетеродина, так как детектор работает на квадратичном участке;

Включить питание в.ч. блока. Калибраторный клистрон и питание индикаторного блока должны быть выключены;

Установить напряжение на резонаторе  $U_p = 300$  в. Ручка потенциометра, изменяющая  $U_p$ , находится на боковой стенке в.ч. блока справа.

Тумблер под прибором «Ток резонатора» поставить в положение «гетеро-

дин". Убедиться в наличии тока клистрона гетеродина около 20 ма ;

Плавно вращая ручку "Отражатель" гетеродинного клистрона, заметить максимальное показание прибора "Ток детектора" на индикаторном блоке, а затем вернуться в эту точку.

Ручкой "Подстройка детектора" добиться максимального  $J_{дет}$  прибора. Ручкой "Ток детектора" установить отклонение стрелки прибора "Ток детектора" на полную шкалу. Прибор готов к работе.

6. Снять зависимость  $P, \Delta f = F(U_{отр})$  для нескольких зон генерации при  $U_p = 300 В$ .

Для выполнения этого пункта необходимо:

- установить  $U_p = 300 В$ ;
- изменяя  $U_{отр}$ , записывать  $J_{дет}$  и измерять частоту колебаний. Измерение частоты клистрона осуществляется волномером по минимуму показаний прибора "Ток детектора". При пересчете показаний шкалы волномера в частоту пользоваться прилагаемым графиком.

Примечания: 1.  $J_{дет}$  фиксировать при расстроенном волномере.

2. Изменение  $U_{отр}$  производить таким образом, чтобы в каждой зоне генерации было измерено не менее 7 точек (по 3 точки влево и вправо от максимума мощности).

3. Изменение  $U_{отр}$  производить с максимального значения ( $\sim n=200 В$ ).

Результаты измерений свести в таблицу I.

Таблица I

Измеряется	$U_{отр} [В]$			
	$J_{дет} [ма]$			
	$\alpha_г$			
Рассчитывается	$f [мгц]$			
	$\Delta f [мгц]$			

$\alpha_г$  - показания шкалы волномера;

$$\Delta f = f - f_0 ;$$

$f_0$  - частота, соответствующая максимуму мощности в зоне (в центре зоны). По полученным данным построить зависимости:

$$P = F_1(U_{отр}) ,$$

$$\Delta f = F_2(U_{отр}) .$$

7. Снять кривые постоянной мощности  $U_{res} = f(U_{отр})$  при  $J_{дет} = const$  для двух значений  $J_{дет}$  :

$$J_{дет1} = 0,7 J_{дет макс}$$

$$J_{дет2} = 0,4 J_{дет макс}$$

$J_{дет макс}$  — максимальное значение тока детектора в данной зоне.

Этот пункт выполняется следующим образом:

а) установить  $U_p = 380 \text{ В}$  ;

б) установить  $U_{отр}$  таким образом, чтобы ток детектора был максимальным для I зоны генерации, ручкой "Ток детектора" получить отклонение стрелки прибора на полную шкалу;

в) плавно увеличить напряжение  $U_{отр}$  до значения, которое соответствует  $J_{дет} = 0,7 J_{дет макс}$ .

Зафиксировать значение напряжения отражателя  $U'_{отр}$ . Затем плавно уменьшить  $U_{отр}$  до получения  $J_{дет} = 0,4 J_{дет макс}$  и снова зафиксировать  $U''_{отр}$  (рис. I2).

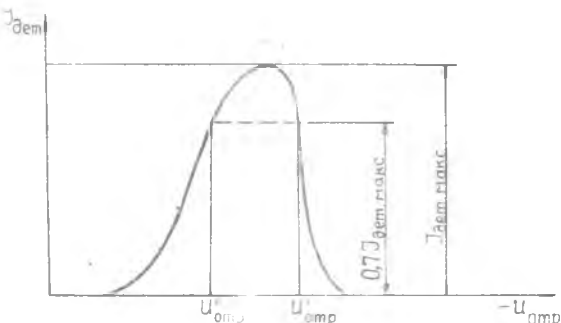


Рис. I2. График изменения напряжения тока детектора

8. Уменьшая  $U_p$  через 20 В до 240 В, повторить предыдущие измерения для каждого значения  $U_p$  при  $J_{дет} = 0,4 J_{дет макс}$ .

Полученные результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

$U_p [В]$	380		360		240		380		360		240	
$U_{отр.} [В]$	$U'_{отр.}$	$U^*_{отр.}$	$U'_{отр.}$	$U^*_{отр.}$	$U'_{отр.}$	$U^*_{отр.}$	$U'_{отр.}$	$U^*_{отр.}$	$U'_{отр.}$	$U^*_{отр.}$	$U'_{отр.}$	$U^*_{отр.}$
$I_{дет.} [мА]$	0,4 $I_{дет. макс.}$						0,7 $I_{дет. макс.}$					

По данным таблицы построить графики  $U_{рез} = f(U_{отр.})$  для двух значений тока детектора.

9. Просмотреть зоны генерации клистрона. Для этого необходимо включить питание индикаторного блока, а переключатель «Обл.ген.клистр.-спектр» поставить в положение «Обл.ген.клистр.» Ручками 3-9 индикаторного блока добиться четкого изображения зон генерации.

Зарисовать на кальку осциллограмму зон генерации.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

Блск-схему анализатора спектра частот СЧ-2.

Таблицы 1,2.

Характеристики  $I_{дет} = f_1(U_{отр.})$   $\Delta f = f_2(U_{отр.})$  построенные по данным табл 1 на одном графике.

Характеристики  $U_p = f(U_{отр.})$  при  $I_{дет} = 0,4 I_{дет макс.}$  и  $I_{дет} = 0,7 I_{дет макс.}$  построенные по данным табл.2 на одном графике.

Кальку с осциллограммой зон генерации.

Эскиз отражательного клистрона.

### Порядок выполнения работы на установке № 2

1. Включить питание и установить напряжение резонатора 300 В .
2. Плавно изменяя напряжение на отражателе, заметить максимальное показание прибора «РМВм». С помощью ручек «Узлы» и «Подстройка» добиться максимального показания прибора «РМВм»
3. Снять характеристики  $P_{\omega} = f_1(U_{отр.})$  при  $U_{рез} = 300 В$  .

При этом выключатель ВЗ поставить в положение "  $V_{omr}$  " и, плавно меняя напряжение на отражателе от  $- 200 \text{ в}$  до 0, фиксировать показания прибора ВВ - "V".

данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

$P_{\text{ввм}}$				
$U_{omr} [\text{В}]$				

4. Во второй или третьей зоне генерации снять кривую электронной перестройки частоты  $\Delta f = F(U_{omr})$  при  $U_p = 300 \text{ в}$ . Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

$f [\text{МГц}]$		
$U_{omr} [\text{В}]$		
$\Delta f = f_2 - f_1$		

$f_0$  - частота генерации в центре зоны

Построить вышеуказанную зависимость и определить крутизну электронной перестройки частоты по отражателю  $\frac{\Delta f}{\Delta U_{omr}}$ . Частота  $f_0$  измеряется с помощью резонансного волномера 35ИИ. Разность числовых значений шкалы волномера, каждое из которых соответствует минимальному показанию прибора, равна  $\frac{\lambda}{2}$ .  $\lambda$  - длина волны.

5. Снять кривые постоянной мощности  $U_p = f(U_{omr})$  при  $T_{gen} = const$  для двух значений  $T_{gen} = 0,7 T_{gen макс}$  и  $T_{gen} = 0,4 T_{gen макс}$ .

эта зависимость снимается аналогично тому, как описано в пункте 3 настоящей инструкции при исследовании отражательного клистрона на приборе С4-2. При этом напряжение на резонаторе изменять от  $150 \text{ в}$  до  $300 \text{ в}$  через  $20 \text{ в}$ .

6. Определить крутизну электронной перестройки частоты по напряжению резонатора, для этого установить  $U_{res} = 280 \text{ в}$ . Меняя напряжение отражателя, настроиться на максимум мощности во второй или третьей зоне. Замерить частоту. Затем изменить  $U_{res}$  на  $10 \text{ в}$ . вновь замерить частоту. Крутизна по частоте определяется по формуле  $\frac{\Delta f}{\Delta U_{res}}$ .

7. В третьей зоне генерации клистрона на осциллографе СИ-1 для двух значений амплитуды тока резонатора  $I_{res} (10, 15, 20 \text{ а})$ . Зоны зарисовать. Горизонтальную развертку на СИ-1 подать с клеммы "синхр." на макете.

На вертикальный вход СИ-1 напряжение подавать с фишки «ВЧ». Ток резонатора устанавливать потенциометром « $V_{res}$ ».

8. Пользуясь графиком  $P_{\Sigma} = f(U_{отпр})$  (при  $U_{res} = 300 В$ ); установить необходимое постоянное напряжение отражателя и необходимую амплитуду модулирующего положительного импульса для осуществления режима модуляции «на возбуждение», просмотреть на осциллографе и зарисовать модулирующий импульс (на фишке «Н.Ч.») и протектированный в.ч. импульс (фишка «ВЧ»).

Отчет должен содержать:

Принципиальную схему установки № 2.

Таблицы, графики, осциллограммы, соответствующие п.п. 3-8.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить материал, изложенный в учебнике В.Ф.Бласова «Электронные и ионные приборы», стр. 401-416. Госиздат, 1960.

#### Дополнительная литература

1. С.А.ДРОБОВ, С.И.БЕЧКОВ. Радиопередающие устройства. Изд.ЛВКА г.Денинград, стр.572-589.

2. В.Ф.КОВАЛЕНКО. Введение в электронику сверхвысоких частот. «Сов. радио», Москва, стр.110-138, 1959.

3. В.Н.СРЕТЕНСКИЙ. Основы применения электронных приборов сверхвысоких частот. «Сов.радио», Москва, стр.176-197, 1963.

#### Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия отражательного клистрона, пояснить существование колебательных зон.

2. Вывести и пояснить уравнение баланса амплитуд и фаз для отражательного клистрона.

3. Что такое пусковой ток отражательного клистрона? Нарисовать зависимость  $P_{\Sigma} = f(I)$  для различных зон генерации. Объяснить почему с увеличением номера зоны пусковой ток уменьшается.

4. Куда переместится зона генерации при увеличении или уменьшении напряжения на резонаторе ? Увеличится или уменьшится мощность в центре зоны ? Почему ?

5. Нарисовать кривые постоянной мощности и частоты. Объяснить, как снимались эти кривые и почему они имеют такой вид ?

6. Что такое коэффициент модуляции  $M$  ?

Нарисовать зависимость  $M = f(\theta)$  .  $\theta$  - угол пролета электронов между сетками резонатора.

7. Нарисовать эквивалентную схему колебательной системы отражательного клистрона с учетом нагрузки.

8. Как влияет связь с нагрузкой на колебательную мощность клистрона ?

9. Нарисовать зависимость  $P_n = f(U_1)$  при различных связях с нагрузкой для одной зоны генерации. ( $U_1$  - переменное напряжение на сетках резонатора).

10. Нарисовать зависимость  $P_n = f(U_1)$  для различных зон генерации.

11. В какой зоне рекомендуется работать для получения максимального электронного к.п.д. отрицательного клистрона. Почему ?

12. Какие виды модуляции возможно осуществить на отражательном клистроне ?

13. Нарисовать принципиальную схему отражательного клистрона, когда используется импульсная и частотная модуляции. Как выбираются переходные цепочки  $RC$  для подачи модулирующих напряжений ? На какое пробивное напряжение должен быть рассчитан конденсатор, если заземляется резонатор, а модулирующее напряжение подается относительно корпуса ?

14. По характеристикам  $P_n, \Delta f = f(U_{omp})$  при подаче импульсного и пилообразного напряжений нарисовать зависимость  $P_n, f = f(t)$  . Как необходимо выбрать исходную рабочую точку при импульсной и частотной модуляциях ?

15. Какова минимальная длительность модулирующего импульса при импульсной модуляции клистрона ? Чем она определяется ?

16. Что такое коэффициент токопрохождения в клистроне ? Как его подсчитать ?

17. В каком диапазоне применяются клистроны с внешним и внутренним резонатором ?

18. Каков диапазон электронной и механической перестройки частоты в отражательных клистронах ? Как осуществляется механическая перестройка клистронов ?

19. Где находят применение отражательные клистроны ?

20. Объяснить принцип действия спектро-анализатора СЧ-2. От чего зависит число зон генерации, наблюдаемых на экране осциллографа ?

21. В какой зоне генерации наибольшая выходная мощность ? Почему ?



### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ

Установка предназначена для исследования импульсного модулятора с частичным разрядом накопительной емкости, когда в качестве коммутатора используется электронная лампа, и импульсного модулятора с полным разрядом накопительной емкости, когда в качестве накопителя энергии используется искусственная накопительная линия, а в качестве коммутаторной лампы - тиратрон.

Установка содержит импульсные модуляторы, измерительные приборы, источники питания, элементы управления, а также комплект сменных деталей.

#### Импульсные модуляторы

Принципиальная схема установки показана на рис.13. Импульсный модулятор с полным разрядом накопительной емкости состоит из зарядного сопротивления, искусственной накопительной линии, сопротивления нагрузки и тиратрона.

Напряжения питания и контрольно-измерительные приборы подключаются к модулятору при включении переключателей В2, В3, В4 в положение "I" соответственно.

Зарядные сопротивления  $R1-R3$  сменные и могут изменяться с помощью переключателя В5. Величина сопротивлений:

$$R1 = 100 \text{ ком};$$

$$R2 = 200 \text{ ком};$$

$$R3 = 1 \text{ мгом.}$$

Искусственная накопительная линия, разомкнутая на конце и в процессе заряда, эквивалентная накопительной емкости, состоит из восьми ячеек.

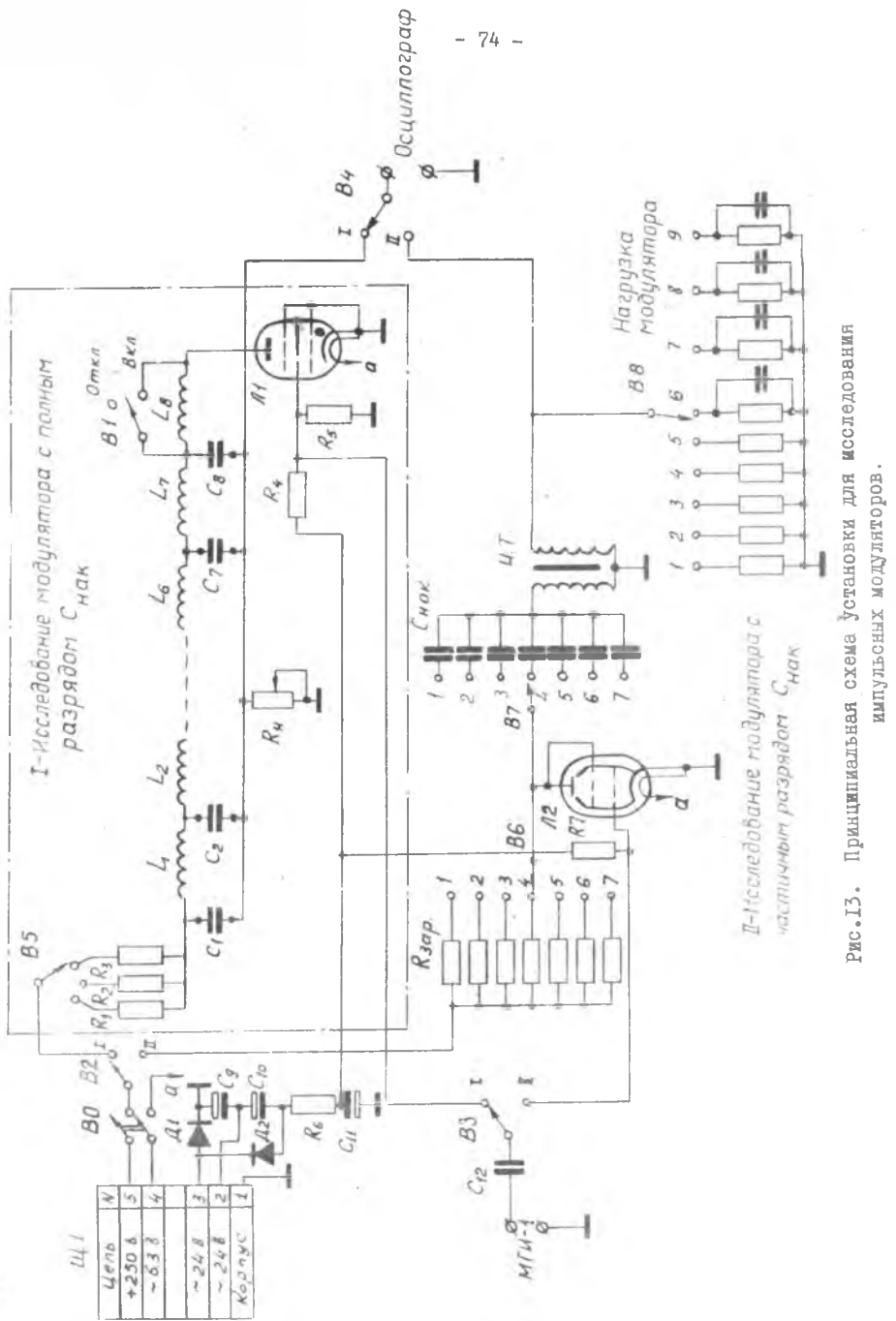


Рис.13. Принципиальная схема установки для исследования импульсных модуляторов.

Щ 1	№	Цель
	5	+250 В
	4	~0,3 З
	3	~24 В
	2	~24 В
	1	Корпус

Индуктивность каждой ячейки  $L_1 - L_8$  постоянная и составляет 1060 мкГн, однако путем исключения емкостей в линии можно изменять величину индуктивностей каждой ячейки в целое число раз за счет изменения общего числа ячеек линии в то же самое число раз.

Емкости ячеек линии С1-С8 съемные, величина их может меняться; они прилагаются к установке в виде комплекта сменных деталей. Переключатель «В1» позволяет закортить индуктивность  $L_8$ .

Нагрузка модулятора ( $R_n = 5,6$  ком) линейная в виде активного переменного сопротивления, имитирующая цепь постоянной составляющей анодного тока, триодного или магнетронного генератора.

В качестве коммутаторной лампы Л1 используется тиратрон типа ТГ-1-0,1/03. Для устойчивой работы на управляющую сетку тиратрона подается небольшое отрицательное смещение через делитель  $R_4 \cdot R_5$  от двухполупериодного выпрямителя, собранного на диодах Д1-Д2. Запускающие импульсы подаются на управляющую сетку тиратрона от генератора импульсов типа МГМ-1 через емкость С12 при включении переключателя В3 в положение «1».

Импульсный модулятор с частичным разрядом состоит из зарядного сопротивления, накопительной емкости, коммутаторной лампы и нагрузки, подключаемой к модулятору с помощью импульсного трансформатора «ИТ». Зарядное сопротивление и накопительная емкость изменяются с помощью переключателей В6 и В7 на семь положений и могут принимать следующие значения (табл.3).

Таблица 3

Положения переключателя В6 и В7	Величина зарядного сопротивления $R_{зар} / \text{ком} /$	Величина накопительной емкости $C_{нак} / \text{мкФ} /$
1	10	0,001
2	20	0,002
3	40	0,003
4	60	0,004
5	100	0,01
6	200	0,1
7	500	0,25

Нагрузка модулятора изменяется с помощью переключателя В8 на девять положений и представляет собой либо чисто активное сопротивление, либо активно-емкостное. Емкость, включенная параллельно активному сопротивлению, имитирует паразитные емкости  $C_{ак}$  и  $C$  монтажа генераторной лампы или магнетрона. Значения нагрузки приведены в таблице 4.

Таблица 4

Положения переключателя В8:	Величина нагрузки
1	10 ком
2	5 ком
3	4 ком
4	2 ком
5	1 ком
6	1 ком; 500 пф
7	1 ком; 1000 пф
8	1 ком; 1500 пф
9	1 ком; 2000 пф

В качестве коммутаторной лампы Л2 используется лучевой тетрод типа 6П3С. В исходном состоянии, при отсутствии запускающего импульса, лампа закрыта отрицательным напряжением, подаваемым с выпрямителя на управляющую сетку через сопротивление утечки лампы R7.

Запускающий импульс на сетку коммутаторной лампы подается через емкость С12 от генератора импульсов типа МГН-1 при включении переключателя «В2» в положение «П».

#### Источники питания

Питание установки осуществляется от централизованного выпрямителя через штепсельный разъем Ш1 при включении переключателя «В0» в положение «Вкл.». При этом напряжение питания подается либо на модулятор с полным разрядом  $C_{нак}$ , либо на модулятор с частичным разрядом  $C_{нак}$  в зависимости от положения переключателя «В2».

Источник смещения тиратрона и электронной лампы расположен непосредственно в установке и выполнен по схеме двухполупериодного выпрямления на диодах Д1-Д2.

## Органы управления и контрольно-измерительные приборы

На переднюю панель вынесены следующие органы управления и контроля:

### Переключатели:

В0 - для включения питания установки;

В1 - для закорачивания индуктивности ячейки линии L8 в модуляторе с полным разрядом

В2 - для включения питания на модулятор с частичным разрядом (положение «П») либо на модулятор с полным разрядом (положение «П»);

В3 - для подачи запускающих импульсов на коммутатор в модуляторе с частичным разрядом  $C_{max}$  (положение «П») либо в модуляторе с полным разрядом  $C_{max}$  (положение «П»);

В4 - для контроля импульсов на нагрузке в модуляторе с частичным разрядом (положение «П») либо в модуляторе с полным разрядом  $C_{max}$  (положение «П»);

В5 - для изменения величины зарядного сопротивления в модуляторе с полным разрядом  $C_{max}$ ;

В6 - для изменения величины зарядного сопротивления в модуляторе с частичным разрядом  $C_{max}$ ;

В7 - для изменения величины накопительной емкости в модуляторе с частичным разрядом  $C_{max}$ ;

В8 - для изменения нагрузки модулятора с частичным разрядом  $C_{max}$ .

Клеммы - для подключения осциллографа типа СИ-1 и генератора импульсов типа МГИ-1.

Гнезда - для сменных конденсаторов ячеек линии в модуляторе с частичным разрядом  $C_{max}$ .

Ручка потенциометра и  $R_n$  - для изменения сопротивления нагрузки в модуляторе с полным разрядом  $C_{max}$ .

## РАБОТА № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА С ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

Настоящая работа ставит целью:

изучить работу импульсного модулятора при частичном разряде накопительной емкости;

исследовать зависимость формы импульса на нагрузке от режима коммутаторной лампы и параметров схемы;

исследовать зависимость формы импульсов от длительности запускающих импульсов.

#### З а д а н и е

А. Выполняется при подготовке

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
3. Рассчитать ряд теоретических зависимостей, которые будут проверяться экспериментально:

а) зависимость коэффициента формы импульса от величины накопительной емкости:

$$\gamma_c = f(C_{\text{нак}})$$

Зависимость рассчитывается по формуле:

$$\gamma_c = \frac{\Delta U_{\text{на}}}{U_{\text{на}}} = \frac{R_{\text{на}}}{R_{\text{на}} + R_{\text{с}} \cdot \tau} \left( \frac{1}{C_{\text{нак}} R_{\text{на}}} + \frac{R_{\text{на}}}{L_1} \right) \tau$$

Здесь:

$\beta$  - коэффициент формы импульса;

$\Delta U_n$  - максимальное уменьшение амплитуды импульса на вершине от номинального значения;

$U_n$  - номинальная амплитуда импульса;

$R_n = \frac{R_n}{n^2}$  - приведенное к первичной обмотке трансформатора сопротивление нагрузки в омах.  $R_n = 1 \cdot 10^3$  ом;

$n$  - коэффициент трансформации и в данной установке  $n = 1$ ;

$R_n$  - внутреннее сопротивление модуляторной лампы.

При амплитуде запускающего импульса  $U_{зап} = 60$  в;  $R_n = 650$  ом;

$C_{нак}$  - накопительная емкость в фарадах;

$L_1$  - индуктивность первичной обмотки трансформатора в генри,

$$L_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ гн.};$$

$T_3$  - длительность запускающего импульса в секундах.

Принять  $T_3 = 2 \cdot 10^{-6}$  сек.

Рассчитать 7 точек в интервале изменения  $C_{нак}$  от  $0,001 \cdot 10^{-6}$  ф до  $0,25 \cdot 10^{-6}$  ф.

На графике построить теоретическую зависимость  $\beta = f(C_{нак})$ ;

б) зависимость формы импульса от величины сопротивления нагрузки:

$$\beta = f(R_n)$$

Зависимость рассчитывается по той же формуле, что и в пункте "а".

В расчетах принять

$C_{нак} = 0,25 \cdot 10^{-6}$  ф, а значения остальных величин такие же, как и в пункте "а".

Сопротивление нагрузки изменять в пределах от  $1_{ком}$  до  $10_{ком}$ . Рассчитать 5 точек.

По полученным результатам построить график:

$$\beta \cdot f(R_n)$$

в) зависимость коэффициента формы импульса от длительности запускающего импульса:

$$\beta = f(T_3)$$

Зависимость рассчитывается по той же формуле, что и в пункте "а". Значения величин  $R_n$ ,  $n$ ,  $R_n$ ,  $C_{нак}$ ,  $L_1$  принять те же, что и в пункте "а".

Длительность запускающего импульса изменять от  $1_{мксек}$  до  $10_{мксек}$ .

По полученным результатам построить график:

4. Прочсть остальные разделы описания, продумать порядок выполнения работы в лаборатории и нарисовать ожидаемый характер графиков.

Б. Выполняется в лаборатории

5. Проверить схему соединения приборов согласно рис.14.
6. Переключатели В2, В3, В4 поставить в положение "И".
7. Исследовать зависимость коэффициента формы импульса на нагрузке от величины емкости накопительного конденсатора. Установить длительность

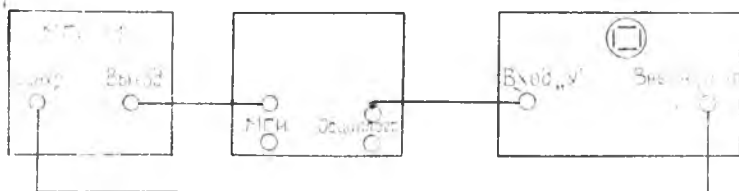


Рис.14. Схема соединения приборов

падающего импульса  $T_1 = 2$  мксек с амплитудой  $U_1 = 60$  в и частотой повторения  $F = 2$  кГц. Сопротивление нагрузки  $R_n = 1$  ком, зарядное сопротивление  $R_c = 60$  ком. Изменяя величину накопительной емкости с помощью переключателя В7, всякий раз определять коэффициент формы импульса и зарисовывать форму импульса (рис.15).

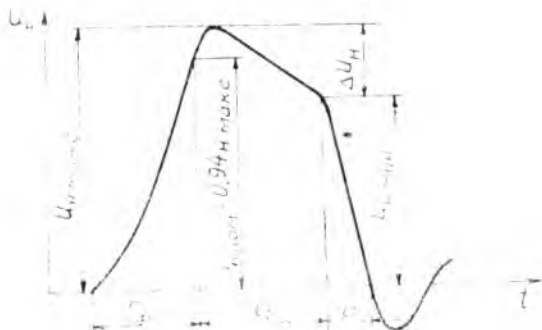


Рис.15. Форма импульса



Коэффициент формы импульса определяется как

$$\beta = \frac{U_{\text{н макс}} - U_{\text{н мин}}}{U_{\text{н ном}}} \cdot \frac{\Delta U_{\text{н}}}{U_{\text{н ном}}}$$

Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

$C_{\text{ном}}$ [мкФ]				
$\beta_{\text{расч}}$				
$\beta_{\text{эмп}}$				

По полученным данным на одном графике строятся зависимости:

$$\beta_{\text{расч}} = f(C_{\text{ном}}),$$

$$\beta_{\text{эмп}} = f(C_{\text{ном}})$$

к. При тех же параметрах запускающего импульса (см. п. 7) исследовать зависимость коэффициента формы импульса на нагрузке от величины сопротивления нагрузки, для чего установить

$$R_{\text{зар}} = 60 \text{ ком},$$

$$C_{\text{ном}} = 0,25 \text{ мкФ}.$$

Сопротивление  $R_{\text{н}}$  изменять от 1 ком до 10 ком. Определить коэффициент формы и зарисовать осциллограммы импульсов.

Полученные результаты заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

$R_{\text{н}}$ [ком]				
$\beta_{\text{расч}}$				
$\beta_{\text{эмп}}$				

По полученным данным на одном графике строятся зависимости:

$$\beta_{расч} = f(R_n),$$

$$\beta_{эксп} = f(R_n)$$

9. Исследовать зависимость формы импульса от длительности запускающего импульса, для чего установить:

$$R_3 = 60 \text{ ком};$$

$$C_{наг} = 0,25 \text{ мкФ};$$

$$R_n = 1 \text{ ком};$$

$$U_3 = 60 \text{ в};$$

$$F_n = 2 \text{ кГц}.$$

Изменяя длительность запускающего импульса от 1 до 10 мксек, определить коэффициент формы импульса и зарисовать осциллограммы импульсов. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

$T_3$ [мксек]			
$\beta_{расч}$			
$\beta_{эксп}$			

По полученным данным на общем графике строятся зависимости:

$$\beta_{расч} = f(T_3)$$

$$\beta_{эксп} = f(T_3)$$

10. Исследовать зависимость длительности фронта и длительности спада импульса от величины емкости нагрузки, для чего установить:

$$R_3 = 60 \text{ ком};$$

$$C_{наг} = 0,25 \text{ мкФ};$$

$$T_3 = 2 \text{ мксек};$$

$$F_n = 2 \text{ кГц};$$

$$U_3 = 60 \text{ в}.$$

Определить  $\tau_{ср}$ ,  $\tau_{ф}$  и зарисовать осциллограммы импульса для следующих значений нагрузки:

- |    |                           |                        |
|----|---------------------------|------------------------|
| а) | $C = 0$                   | $R_n = 1 \text{ ком};$ |
| б) | $C = 0,0005 \text{ мкф};$ | $R_n = 1 \text{ ком};$ |
| в) | $C = 0,0012 \text{ мкф};$ | $R_n = 1 \text{ ком};$ |
| г) | $C = 0,0015 \text{ мкф};$ | $R_n = 1 \text{ ком};$ |
| д) | $C = 0,002 \text{ мкф};$  | $R_n = 1 \text{ ком}.$ |

Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

$C$ [мкф]			
$\tau_{ф}$ [мксек]			
$\tau_{ср}$ [мксек]			

По полученным данным строятся зависимости  $\tau_{ф} = f(C)$ ;  $\tau_{ср} = f(C)$ .

II. Исследовать влияние на коэффициент формы импульса величины зарядного сопротивления, для чего установить:

- $C_{нак} = 0,003 \text{ мкф};$   
 $\tau_s = 2 \text{ мксек};$   
 $U_s = 60 \text{ в};$   
 $F_n = 2 \text{ кгц};$   
 $R_n = 1 \text{ ком}$

Изменяя зарядное сопротивление от 10 до 500 ком, определить коэффициент формы импульсов и зарисовать их осциллограммы. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5

$R_{зар}$ [ком]			
$\beta$			

По полученным данным по трети график  $\beta = f(R_{\text{н.д.}})$

#### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены:

Принципиальная схема модулятора с частичным разрядом.

Теоретические и экспериментальные зависимости  $\beta = f(C_{\text{н.д.к}})$

Теоретические и экспериментальные зависимости  $\beta = f(R_{\text{н.д.}})$

Теоретические и экспериментальные зависимости  $\beta = f(T_{\text{н.д.}})$

Экспериментальная зависимость  $\beta = f(R_{\text{н.д.р}})$

Экспериментальные зависимости  $T_{\text{н.д.}} = f(C)$

$T_{\text{н.д.}} = f(C)$

краткие выводы по проделанной работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

Основная:

М.С.НЕЙМАН. Курс радиопередатчиков устройств. «Сов.радио», гл.IV § I-3, 67; гл.V § I-4, 8-12, 1956.

Дополнительная литература:

А.Б.ИВАНОВ, В.И.ОСНОВКИН. Импульсные передатчики СВЧ. «Сов.радио», Раздел III, гл.VIII § 8.I+8.2; 8.6+8.9, гл.IX, XI+XII, Москва, 1956.

#### Контрольные вопросы

1. Нарисовать принципиальную схему импульсного модулятора с частичным разрядом при работе на магнетрон, на триодный автогенератор. Расписать принцип работы модулятора.

2. Почему импульсные модуляторы для импульсных генераторов имеют, как правило, законительный элемент?

3. Как изменится работа схемы (рис.13), если выбрать зарядное сопротивление, конденсительную емкость и внутреннее сопротивление модуляторной лампы с величинами, близкими к единице или с величинами малой величины?

4. Как влияет на форму импульса напряжения на нагрузке изменение величины:

- а) зарядного сопротивления;
- б) нагрузочного сопротивления;
- в) шунтирующей паразитной емкости;
- г) длительности запускающего импульса;
- д) индуктивности первичной обмотки трансформатора;
- е) индуктивности рассеяния импульсного трансформатора.

5. Почему в импульсном модуляторе с частичным разрядом в качестве модулятора используется вакуумная лампа, а не тиратрон?

6. Каким требованиям должна удовлетворять выбранная модуляторная лампа?

7. Как выбирается режим работы модуляторной лампы?

8. Объяснить причины расхождения теоретических и экспериментальных соотношений.

9. Какие требования предъявляются к форме модулирующего импульса при системе модулятора на магнетронный генератор, на триодный автогенератор.

10. В чем отличие модуляторных ламп от генераторных? Можно ли в качестве модуляторной лампы использовать генераторную?

11. Дать сравнительную оценку модуляторов типов емкостный накопитель с частичным разрядом  $C_{\text{нз}}$ : накопитель на искусственной линии; индуктивный накопитель.

12. Из каких соображений выбирается тип и число модуляторных ламп?

13. Как перемещается рабочая точка по статической характеристике лампы при разных амплитудах запускающих импульсов на сетке, как это повлияет на форму импульса и длительность задержки?

14. Как следует выбирать частоту на сетке модулятора?

15. Как изменится к.п.д. лампы при этом, если уменьшить емкость  $C_{\text{нз}} = 100$  до  $20$  пФ?

16. Каким образом в цепи Лунда можно определить к.п.д. заряда и к.п.д. модулятора?

17. Как определить мощность, рассеиваемую на зарядном и нагрузочном сопротивлениях во время задержки и разряда?

18. Как определить коэффициент полезного действия, потребляемая мощность сетки модулятора?

## РАБОТА № 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА С ПОЛНЫМ РАЗРЯДОМ НАКОПИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ

Цель работы - изучить работу импульсного модулятора с полным разрядом накопительной емкости, где в качестве накопителя применяется искусственная линия;

исследовать влияние согласования нагрузочного сопротивления с волновым сопротивлением линии на форму импульса на нагрузке и влияние параметров линии на форму и длительность импульса.

#### З а д а н и е

А. Выполняется при подготовке

1. Изучить рекомендованную литературу.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
3. Рассчитать величину емкости и индуктивности ячеек линии, работающей на согласованную нагрузку ( $R_n = W$ ), равную 2,3 ком и формирующую импульсы длительностью 7,4 мксек, 15 мксек. Число ячеек  $n = 8$ .

Расчет вести по формулам:

$$W = \sqrt{\frac{L}{C}} = R_n = W \quad T_n = 2\pi\sqrt{LC}$$

- Здесь  $W$  - волновое сопротивление линии в омах;  
 $R_n$  - сопротивление нагрузки в омах;  
 $T_n$  - длительность импульса в секундах;  
 $n$  - число ячеек;

$L$  - индуктивность каждой ячейки в генри;

$C$  - емкость каждой ячейки в фарадах.

4. Рассчитать величину зарядного сопротивления  $R_z$  для данной линии, имеющей частоту повторения импульсов 1000 гц и длительность сформированного модулирующего импульса  $T_{\text{и}} = 7,4$  мсек. Расчет произвести по формуле

$$R_z = \frac{\theta}{3Cn} = \frac{1}{3CnF}$$

где  $\theta$  - промежуток между импульсами;

$$\theta = T - T_{\text{и}} \quad ;$$

$C$  - емкость ячейки линии;

$n$  - число ячеек;

$F$  - частота следования импульсов.

5. Рассчитать длительность импульса для различных емкостей ячеек линии по формулам, приведенным в пункте 3 настоящего задания, приняв  $n = 8 = 1060$  мкги.

Для значений емкостей  $C = 200$  пф,  $C = 300$  пф,  $C = 500$  пф рассчитать значения  $T_{\text{и}}$ ,  $R_z$ .

По расчетным данным построить график зависимости:

$$T_{\text{и}}_{\text{расч}} = f_1(C)$$

6. Прочтеть остальные разделы описания, продумать порядок выполнения работы в лаборатории и нарисовать ожидаемый характер графиков.

## б. выполняется в лаборатории

7. Установить по манете измерительные значения зарядного сопротивления и частоты ячеек линии для заданной длительности импульса  $T_{\text{и}} = 7,4$  мсек. Величина  $R_z = 300$  ом, частота повторения импульсов  $F = 1000$  гц, число ячеек  $n = 8$  (среднее значение емкости каждой ячейки измерять по условиям задания). Предметы измерения записать в таблицу.

8. Измерить длительность импульса  $T_{\text{и}}$  для заданной емкости  $C$  и зарядного сопротивления  $R_z$  по формулам, приведенным в пункте 3 настоящего задания. Результаты измерений записать в таблицу.

9. По результатам измерений построить график зависимости  $T_{\text{и}}_{\text{изм}} = f_2(C)$  от емкости  $C$  для заданного значения  $R_z$ . Сравнить с графиком  $T_{\text{и}}_{\text{расч}} = f_1(C)$  и сделать вывод о соответствии результатов измерений расчетным данным.

4. Исследовать зависимость формы импульса напряжения на нагрузочном сопротивлении от величины этого сопротивления.

Для трех нижеуказанных случаев нагрузки  $R_n$  зарисовать в масштабе форму импульса, определить длительность  $T_u$  импульса и его ступеней и напряжение "U" импульса и его ступеней:

а) сопротивление нагрузки  $R_n = W = 2,3 \text{ ком};$

б) сопротивление нагрузки  $R_n$  больше волнового в  $1,5+2$  раза;

в) сопротивление нагрузки меньше волнового сопротивления линии в  $1,5+2$  раза.

Параметры линии, величина  $R_0$ , положения переключателей остаются теми же, что и в предыдущих пунктах.

5. Исследовать влияние числа ячеек линии на форму импульса.

Для параметров модулятора:

$$n = 8;$$

$$C = 200 \text{ пф};$$

$$L = 1060 \text{ мкГн};$$

$$R_0 = 200 \text{ ком};$$

$$F_n = 1000 \text{ Гц};$$

$$T_0 = 5+10 \text{ мксек};$$

$$R_n = W = 2,3 \text{ ком};$$

$$T_u = 7,4 \text{ мксек}.$$

Зарисовать форму импульса и определить его длительность  $T_u$  и длительность переднего фронта импульса  $T_f$  в соответствии с рис.15.

Затем собрать линию с числом ячеек в два раза меньшим, чем в предыдущем случае, но параметры самих ячеек должны быть в два раза больше, чтобы длительность импульса осталась прежней. Параметры модулятора при этом следующие:

$$n = 4;$$

$$C = 400 \text{ пф};$$

$$L = 2120 \text{ мкГн};$$

$$R_0 = 200 \text{ ком};$$

$$R_n = W = 2,3 \text{ ком};$$

$$T_u = 7,4 \text{ мксек};$$

$$F_n = 1000 \text{ Гц};$$

$$T_0 = 5+10 \text{ мксек}.$$

В этом случае конденсаторы  $C_2, C_4, C_6, C_8$  выключить, а вместо конденсаторов  $C_1, C_3, C_5, C_7$  по 200 пф поставить конденсаторы по 400 пф. Тогда величина индуктивности каждой ячейки становится равной  $2 \times 1060 \text{ мкГн} = 2120 \text{ мкГн}$ . Зарисовать осциллограмму импульса, измерить его длительность и длительность переднего фронта.



Затем снова в два раза уменьшить число ячеек, одновременно в два раза увеличивая их параметры:  $n = 2$ ;  $C = 800$  пф.;  $L = 4240$  мкГн, для чего все конденсаторы выключить, за исключением конденсаторов  $C_7, C_8$ , величины которых устанавливаются равными 800 пф.

Сделать измерения, аналогичные предыдущему пункту.

Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

Число ячеек	8	4	2
$T_{\text{ш}} [\text{мксек}]$			
$T_{\text{ф}} [\text{мксек}]$			

По полученным результатам строится график:

$$\frac{T_{\text{ф}}}{T_{\text{ш}}} = f(n)$$

6. Исследовать влияние величины индуктивности, ближайшей к нагрузке ячейки линии, на форму импульса. В этом случае сопротивление нагрузки равно волновому. Путем соответствующих переключений емкостей число ячеек в линии сохранить постоянным и равным 6, для чего в ячейки линии необходимо установить емкости по 200 пф каждая и измерения производить при следующих комбинациях включения:

- включением конденсаторов  $C_7, C_8$  установить  $L_8 = 3L$  ;
- выключением конденсаторов  $C_7, C_8$  установить  $L_8 = 2L$  ;
- выключением конденсаторов  $C_7, C_8$  установить  $L_8 = L$  ;
- выключением конденсаторов  $C_7, C_8$  и одновременно замыканием переключателя В1, шунтирующего индуктивность последней ячейки, установить  $L_8 = 0$  .

Здесь индуктивность  $L = 1060$  мкГн.

Осциллограммы зарисовать, результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

$L_8 [\text{мкГн}]$	$L_8 = 0$	$L_8 = L$	$L_8 = 2L$	$L_8 = 3L$
$T_{\text{ф}} [\text{мксек}]$				
$T_{\text{ш}} [\text{мксек}]$				

По полученным данным построить график  $\frac{I_m}{I_a} = f(L_n)$

7. Исследовать зависимость длительности импульса от величины емкости ячеек линии. Число ячеек линии оставить постоянным и равным  $n = 8$ . В этом случае конденсаторы одинаковой емкости включают во все ячейки макета. Выключатель В1 поставить в положение «откл.»

Исследовать влияние величины емкостей ячеек линии по 200, 300 и 500 пф. н. длительность импульса. Величину нагрузки устанавливать в каждом случае равной волновому сопротивлению линии в соответствии с расчетом в п.3.

Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

$C$ [пф]	200 пф	300 пф	500 пф
$\tau_{и}$ [мксек]			

По полученным данным на общем графике строятся зависимости:

$$\tau_{эксп} = f_2(C)$$

$$\tau_{и,расч} = f_1(C)$$

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены:

Принципиальная схема модулятора с полным разрядом.

Расчеты величин индуктивностей и емкостей ячеек искусственной линии, работающей на согласованную нагрузку при длительностях импульсов  $\tau_{и} = 7,4$  мксек и  $\tau_{и} = 15$  мксек.

Расчет величины зарядного сопротивления.

Расчет длительностей импульсов при различных емкостях ячеек линии.

Осциллограмма импульса напряжения на нагрузке, снятая при расчетных параметрах линии. Для сравнения на этом же графике нарисовать идеальный прямоугольный импульс.

Осциллограммы импульса напряжения на нагрузке для  $R_n = W$ ,  $R_n > W$ ,  $R_n < W$  с указанием длительности элементов импульсов и величины напряжения импульса.

Осциллограммы импульсов для линий с различным числом ячеек и экспери-

ментально снятая зависимость  $\frac{T_{\Phi}}{T_{\Omega}} = f(\pi)$ .

Оциллограммы импульсов для линий с одинаковым числом ячеек, но с различными наборами емкостей. Графики зависимостей:

$$T_{расч} = f_1(C), \quad T_{эксп} = f_2(C)$$

Оциллограммы импульсов при различных величинах индуктивности ячейки, ближайшей к нагрузке. Экспериментальный график зависимости

$$\frac{T_{\Phi}}{T_{\Omega}} = f(L_0)$$

### Л И Т Е Р А Т У Р А

Основная:

М.С.НЕЙМАН. Курс радиопередающих устройств. «Сов.радио», гл.IV § I-5, гл.V § I,2,5+I2, 1965.

Дополнительная литература:

А.Б.ИВАНОВ, Л.Н.СОСНОВКИН. Импульсные передатчики СВЧ, «Сов.радио», 1956. Раздел III, гл.III § 8.I+8.2, 8.6+8.7, гл.X, гл.XII.

### Контрольные вопросы

I. Объяснить зависимость формы импульса при разряде линии на активную нагрузку от отношения сопротивления нагрузки к волновому сопротивлению линии.

2. От каких параметров модулятора зависит длительность импульса на нагрузке ?

3. Как зависит форма импульса при разряде линии на активное сопротивление от числа ячеек ?

4. Какие изменения и почему произойдут в форме импульса, если в согласованной линии емкость ячеек увеличить в два раза ?

5. Почему в качестве ключа, коммутирующего линию, целесообразно применять тиратрон, а не тетрод ?

Охарактеризовать этот вид коммутаторов.

6. Изобразить пространственную картину изменения напряжения на линии с распределенными параметрами в процессе разряда в моменты времени:

$$t=0; \frac{T_{\Omega}}{8}; \frac{T_{\Omega}}{4}; \frac{T_{\Omega}}{2}; \frac{3T_{\Omega}}{4}; T_{\Omega}$$

Рассмотрите случаи, когда  $R_n = W$ ;  $R_n > W$ ;  $R_n < W$ .

7. Нарисовать принципиальную схему модулятора на искусственной линии с импульсным трансформатором и зарядом линии через зарядное сопротивление; зарядный дроссель; зарядный дроссель и диод.

Отметить достоинства и недостатки этих схем. Как выбираются элементы зарядной цепи?

8. Каково назначение импульсного трансформатора в модуляторе с полным разрядом  $C_{\text{нак}}$ ?

9. Почему при анализе процесса заряда линии ее можно рассматривать как емкость?

10. Какими элементами схемы определяется к.п.д. модулятора? Какой порядок его величины?

11. Определить параметры источника постоянного напряжения для питания импульсного модулятора (ток, напряжение, мощность) при следующих данных: мощность импульса в нагрузке 1000 квт, напряжение на нагрузке 25 кв, скважность 1000. Коэффициент трансформации импульсного трансформатора 3, к.п.д. импульсного трансформатора и к.п.д. цепей заряда и разряда задаться.

12. Как на установке экспериментально определить к.п.д. модулятора?