

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Дивеев В.Н.

ФОРМИРОВАНИЕ И ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ

Пособие для выполнения лабораторных работ
(для всех видов обучения)

Москва – 2006г.

ББК 0.562.6-044
Д44

Научный редактор канд. техн. наук, доцент Яманов Д.Н.

Дивеев В.Н.

Д44 Формирование и передача сигналов. Пособие для выполнения лабораторных работ. –М.: МГТУ ГА, 2006. с. 40

Данное пособие издаются в соответствии с учебным планом для студентов III курса дневной и IV курса заочной форм обучения специальности 201300.

Рассмотрены и одобрены на заседаниях кафедры РТУ 27.12.05г. 2006г. и Методического совета по специальности

ВВОДНЫЕ УКАЗАНИЯ

Пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Формирование и передача сигналов» содержит описания восьми лабораторных работ, выполняемых как на универсальной лабораторной установке 87Л-01, так и на специальных макетах и ПЭВМ.

Этот цикл работ охватывает следующие разделы дисциплины:

1. Спектральную теорию сигналов.
2. Теорию кодирования.
3. Генераторы с внешним возбуждением.
4. Умножение частоты.
5. Возбуждение колебаний.
6. Модуляция.
7. Генераторы СВЧ.

При выполнении лабораторных работ студенты должны строго следовать методике выполнения работы во избежание поломок макетов и предотвращения нарушения требований охраны труда.

Перед выполнением каждой работы студенты опрашиваются преподавателем с целью определения степени подготовки их к работе, которая включает: знание содержания выполняемой работы, основные теоретические сведения по содержанию работы, какие зависимости должны быть получены в процессе исследований. При обнаружении недостаточной готовности студент не допускается к работе. При окончании измерений бригада студентов представляет черновой протокол исследований преподавателю и при удовлетворительных результатах получает разрешение на оформление отчёта по работе. Отчет должен быть защищён до выполнения следующей работы. Форма отчёта указана в тексте пособия, Приложение 1. Защита отчёта заключается в объяснении вида полученных зависимостей с точки зрения физических процессов, происходящих в исследуемой схеме, и анализе соответствия полученных результатов теории.

При оформлении отчета следует руководствоваться следующим. Первая страница – титульный лист. Далее – содержание, включающее: цель работы, изображение исследуемой схемы, озаглавленные разделы работы с таблицами измерений и соответствующими графическими зависимостями, выводы по работе. Отчет оформляется на стандартных листах бумаги формата А4 вертикально. Допускается оформление на тетрадных двойных страницах (в клетку). Графические зависимости следует оформлять на миллиметровке или на подобных материалах.

Студенты, не защитившие две предыдущих работы, к выполнению последующей не допускаются.

Описание универсальной лабораторной установки дано в Приложении 2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ С РАЗЛИЧНЫМ ВИДОМ МОДУЛЯЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СПЕКТРОВ.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

С помощью стандартной аппаратуры (генераторов колебаний, спектроанализатора) формируются колебания с амплитудной, частотной и импульсной модуляцией и исследуется изменения спектрального состава и параметров его при изменении параметров модуляции.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Спектром модулированного колебания называется распределение амплитуд его составляющих по частотам. При модуляции исходным гармоническим колебанием колебания несущей частоты (модулируемого колебания) при различных видах модуляции формируются и различные спектры.

При модуляции амплитудной изменениям подвергается амплитуда модулируемого колебания несущей частоты. В результате промодулированное колебание имеет спектр, состоящий из трёх спектральных составляющих: несущее колебание (на частоте несущей) и два боковых колебания, отстоящие от частоты несущей на величину плюс и минус частоту модулирующего колебания: $\omega_{\text{нес}}$, $\omega_{\text{нес}} + \Omega$, $\omega_{\text{нес}} - \Omega$. Степень или глубина модуляции определяется коэффициентом модуляции m , величина которого связана с величиной амплитуд составляющих спектра так:

$$m = 2 A_{\text{бок}} / A_0 \quad (1)$$

где $A_{\text{бок}}$ - амплитуда боковой составляющей, A_0 - несущего колебания.

Измеряя эти амплитуды на спектроанализаторе, определяют коэффициент модуляции амплитуды. Отметим, что при этом $m \leq 1$ во избежании перемодуляции.

Очевидно, что полоса частот, занимаемая спектром АМ, равна

$$\Pi = 2\Omega \text{ или в Герцах } 2F,$$

Где F – частота модулирующего колебания в герцах.

При частотной модуляции изменениям подвергается частота модулируемого колебания несущей частоты. При этом амплитуда изменения частоты Δf_d – девиация частоты пропорциональна амплитуде модулирующего сигнала: $\Delta f_d = k \cdot U_F$. В результате промодулированное колебание имеет спектр, состоящий из несущего колебания и двух симметричных боковых полос, в которых имеется множество спектральных составляющих с частотами $\omega_{\text{нес}} \pm n\Omega$, $n = 1, 2, 3, \dots$. Величина амплитуд спектральных составляющих зависит от индекса частотной модуляции $m_c =$

$\Delta f_d / F$ и, в частности, может быть нулевой для некоторых составляющих. Полоса спектра ЧМ колебания определяется соотношением: $\Pi = 2F (1 + m_{\text{ч}} + \sqrt{m_{\text{ч}}})$. При малых индексах ($m_{\text{ч}} \ll 1$) полоса спектра $\Pi = 2F$, такая же, как и при АМ, но амплитуды двух боковых составляющих на частотах $\omega_{\text{нес}} \pm \Omega$ очень малы. При $m_{\text{ч}} \gg 1$ полоса спектра становится равной $\Pi = 2F m_{\text{ч}}$ или $2\Delta f_d$.

При импульсной модуляции, являющейся видом АМ сигналом импульсной формы с множеством своих спектральных составляющих, полоса спектра модулированного сигнала определяется высшей частотой спектра последовательности импульсов, т.е. частотой, равной положению первого нуля спектра импульса: $\Delta F = 1/\tau$, τ – длительность импульса. Поэтому полоса спектра последовательности импульсно - модулированной несущей составит $\Pi = 2/\tau$ Гц при τ в секундах.

Задачей измерений в лабораторной работе является по параметрам наблюдаемого на экране спектроанализатора спектра определить полосу частот спектра и параметры модуляции для каждого вида модуляции, т.е.: Π , m , $m_{\text{ч}}$, τ . При этом частоты модуляции задаются исследователем, амплитуды модулирующего сигнала - тоже.

Лабораторная установка состоит из модулятора – генератора звуковых частот, генератора несущего колебания – генератора ВЧ, преобразователя частоты для переноса спектра в рабочую частотную область спектроанализатора. С помощью ЗГ и ГВЧ формируется тот или иной вид модуляции, спектроанализатор на своём экране представляет спектр модулированного колебания. Схема установки представлена на рис.1.

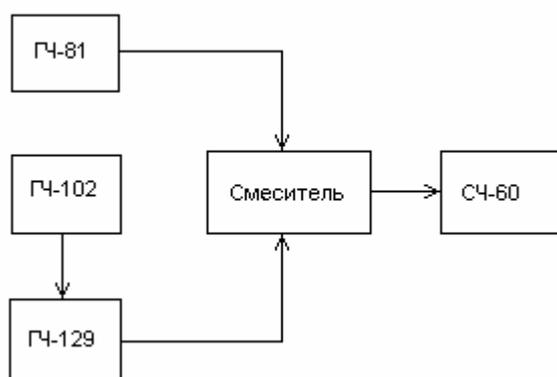


Рис. 1 Схема лабораторной установки

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.

3.1. Получив допуск к выполнению работы, ознакомьтесь с установкой, назначением её частей и способами переключения режимов работы,

управлением её частями. Только после уяснения этих вопросов начать выполнять исследования.

3.2. Установить режим амплитудной модуляции и исследовать изменения параметров спектра АМ при разных частотах модуляции и амплитудах модуляции. При этом руководствоваться следующими рекомендациями: частоты модуляции менять в пределах 100...200 кГц (три разных частоты) , амплитуды модуляции от ЗГ - от 1 В до максимума амплитуды на выходе ЗГ (три разных значения амплитуды). При исследовании влияния частоты модуляции амплитуду модуляции установить в области средних значений, при исследовании влияния амплитуды модуляции частоту модуляции тоже установить неизменной порядка 150 кГц. Для каждого конкретного исследования зарисовать вид спектра в масштабе, указать измеренное значение полосы спектра и вычислить на основании (1) величину m . Величины амплитуд спектральных составляющих определить по экрану спектроанализатора.

Общее примечание: внимательно относиться к правильному определению порядков измеренных величин при измерениях и вычислениях.

3.3. Установить режим частотной модуляции и провести исследования, аналогичные в АМ. Полосу спектров определять визуально как произведение частоты модуляции на число спектральных составляющих n в видимой на экране полосе спектра, т.е. как $n \cdot F$. Далее вычислить : Δf_d и m_c . Результаты измерений и вычислений занести в протокол работы. Отдельно провести измерения для $m_c \ll 1$.

3.4. Установить режим работы с ИМ и провести исследования по методике предыдущих. Полосу спектров определять в пределах первых нулей огибающей спектров визуально так же как и при ЧМ . По измеренной полосе определить длительности модулирующих импульсов как $\tau = 2/\Pi$. Результаты измерений и вычислений занести в протокол работы.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА: титульный лист, цель работы, схема установки, параграфы исследований с эюрами спектров, результатами измерений и вычислений по каждому конкретному случаю, выводы по работе.

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

5.1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. Учеб. для вузов, М.: Транспорт, 1998, с. 31...48.

5.2. Логвин А.И. Методы формирования сигналов. М.: РИО МИИГА, 1993, с. 39...40, 44...47, 48...51.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 6.1. Изобразите временную форму амплитудно-модулированного колебания.
- 6.2. То же для спектральной формы.
- 6.3. Чем определяется и чему равна полоса частот АМ – сигнала?
- 6.4. Как рассчитать коэффициент амплитудной модуляции на основе параметров спектра АМ-сигнала..
- 6.5. Изобразите временную форму частотно-модулированного сигнала.
- 6.6. Тот же для спектральной формы.
- 6.7. Как рассчитывается полоса спектра ЧМ-сигнала? Как её определить по виду спектра на экране спектроанализатора?
- 6.8. Чему равна полоса спектра ЧМ-сигнала при малых и больших индексах модуляции?
- 6.9. Определите индекс ЧМ.
- 6.10. Изобразите временную форму сигнала при импульсной модуляции.
- 6.11. То же для спектральной формы.
- 6.12. Как определяется полоса частот для ИМ, как она связана с длительностью импульса?
- 6.13. Как на основе параметров спектра ИМ определить длительность импульса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОДИРОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗДЕЛИМЫХ КОДОВ С ПОВЕРОЧНЫМИ СИМВОЛАМИ.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение процесса формирования линейных делимых кодов с проверочными символами и методики обнаружения и исправления ошибок на их основе.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Одним из способов построения корректирующих кодов является использование линейных кодов, состоящих из двух блоков: блока информационных символов кода и блока проверочных символов, которые функционально зависят от информационных. Эта функциональная зависимость, известная как на формирующей, так и на воспринимающей сторонах позволяет обнаруживать и исправлять ошибки, возникающие при передаче сообщений.

Блочный код общей длины n разрядов, содержащий k информационных и $r = n - k$ проверочных символов, называют делимым

кодом (n, k) . Информационные символы располагают на первых k позициях кода, а проверочные – на последних r позициях. Обозначения информационных позиций – a_j , проверочных – c_i , где $j = 0, 1, 2, 3, \dots, k-1$, $i = 0, 1, 2, 3, \dots, r-1$. Кодовую комбинацию тогда можно представить в виде:

$$(a_{k-1}, a_{k-2}, \dots, a_0, c_{r-1}, c_{r-2}, \dots, c_0) \quad (1)$$

Разделимый код с простым основанием m , проверочные символы которого формируются с помощью линейных уравнений-комбинаций из информационных символов, называется линейным или систематическим. Линейные уравнения составляются для каждого проверочного символа в таком виде:

$$C_i = v_{0i} a_0 + v_{1i} a_1 + v_{2i} a_2 + \dots + v_{(k-1)i} a_{k-1}, \quad (2)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, r-1$, v_{ij} – произвольные m -ичные числа, **суммирование производится по модулю m** . Обычно рассматривают двоичные линейные коды, поэтому $m = 2$, $v_{ij} = 0$ или 1 . Тогда уравнения типа (2) будут представлять из себя суммы по модулю 2 нулей и единиц. Таблица суммирования по модулю 2 такова:

$1 + 1 = 0$, $0 + 0 = 0$, $1 + 0 = 1$, $0 + 1 = 1$, а произведений – обычная.

Например, для кодовой комбинации типа $(5, 2)$: $(101 c_1, c_0)$ и уравнений для проверочных символов:

$$C_0 = a_1 + a_2, \quad C_1 = a_0 + a_2, \text{ имеем } C_0 = 1, \quad C_1 = 1.$$

Сформированный линейный код после приёма его декодируется на приёмной стороне путём проверки и восстановления информационных символов с помощью проверочных. Суть проверки заключается в следующем. Во-первых, считается, что проверочные символы не искажаются при передаче. Во-вторых, из принятых информационных символов вновь формируются по тем же линейным уравнениям проверочные символы C_i^* . Далее производится сравнение переданных проверочных символов с вновь сформированными на основе суммирования их по модулю (два, например): $C_i + C_i^* = (0 \text{ или } 1)$. Совокупность результатов сложения одноименных проверочных символов именуется синдромом кодовой комбинации. Этот синдром указывает на наличие или отсутствие ошибок. Если элемент синдрома равен 0, то это означает, что ни один из символов информационных, входящих в уравнение (2) для проверочного символа, соответствующего этому элементу, не претерпел искажения при передаче. Если же элемент равен 1, то какой-то из информационных символов уравнения (2) претерпел искажение. Проводя проверку для каждого элемента синдрома методом последовательных исключений, определяют конкретные искажения при передаче информационных символов кодовой комбинации. Для приведенного выше примера: пусть $C_0 = 0$, $C_1 = 1$. Это означает, что ни a_1 , ни a_2 не искажены при передаче, искажению же подвергся символ a_0 . Вот его и надо исправить на противоположный принятому. Вот поэтому рассматриваемые коды и называются обнаруживающими и исправляющими ошибки, корректирующими.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполняется на основе компьютерной программы, обозначенной как <Дивеев> <coder4.exe>. Последовательность действий обозначена в самой программе. Сперва надо по представленной таблице из 16 слов сформировать поверочные символы для каждого слова на основе указанных в программе уравнений. Вычисленные символы вводятся только через ВВОД. Далее выбираются любые семь слов по номерам из таблицы (тоже через ВВОД) и направляются на передачу. При передаче программа вносит ошибки и представляет принятые слова. Далее по методике, описанной выше, надо сформировать вновь поверочные символы из принятых, определить синдром кода для каждого слова, обнаружить и исправить ошибки. Для каждого слова в отчете должен быть представлен протокол поиска и исправления ошибок.

Исследования выполняются для двух любых вариантов программы. Первый вариант рассматривается как обучающий, второй – как профессиональный. Оба варианта представляются в отчете. Отчет должен содержать: титульный лист, исходную таблицу 16-ти слов с поверочными символами, таблицу переданных, таблицу принятых сообщений, протоколы поиска и исправления ошибок для каждого слова, выводы.

4. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

- 4.1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1998, с. 67...71.
- 4.2. Логвин А.И. Методы формирования сигналов. М.: РИО МИИГА, 1993, с 81...86.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 5.1. Почему код называется разделимым, линейным?
- 5.2. Как формируются поверочные символы при передаче и приеме?
- 5.3. Что такое сложение по модулю?
- 5.4. В чем состоит методика обнаружения ошибок? Исправления ошибок?
- 5.5. Объясните логику поиска и исправления ошибок при составлении протоколов в вашей работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение и исследование энергетических параметров и характеристик режимов работы генератора с внешним возбуждением, так называемых режимов колебаний первого и второго рода: без отсечки тока коллектора транзистора и с отсечкой тока при настроенной и ненастроенной нагрузках.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Генератором с внешним возбуждением называется усилитель мощности внешнего источника высокочастотных колебаний. Обычно такого рода генераторы – ГВВ являются оконечными каскадами радиопередатчиков. Они часто работают в режимах больших амплитуд напряжений и токов ВЧ, что ведёт к нелинейным режимам работы усилителей. Такие режимы, тем не менее, позволяют обеспечить оптимизацию энергетических параметров усилителей: получить достаточно большую выходную мощность при достаточно больших КПД. Параметром, характеризующим степень нелинейности режима является, в частности, угол отсечки коллекторного тока. При угле отсечки, равном 180 градусов, форма колебаний коллекторного тока (переменная составляющая тока) повторяет форму напряжения возбуждения генератора – синусоидальную. Этот режим именуется режимом колебаний I –го рода, без отсечки тока. При угле отсечки, меньшем 180 градусов, форма тока коллектора является усеченной синусоидой, например, в полпериода (90 градусов). Режим работы с отсечкой тока именуется режимом колебаний II рода. Наиболее распространённым углом отсечки является отсечка в 90 градусов, форма тока здесь – косинусоидальные импульсы.

Поскольку при отсечке форма тока искажена, то ток содержит наряду с первой гармоникой высшие гармоники тока. Нагрузкой ГВВ обычно является избирательная система – колебательный контур, настроенный на первую гармонику тока и выделяющий мощность этой гармоники. Расстройка контура по частоте относительно частоты первой гармоники приводит к уменьшению полезной мощности в нагрузке ГВВ и ухудшению КПД усилителя. Нужно отметить, что КПД ГВВ в режиме без отсечки сравнительно невелик (порядка 25% по максимуму) за счет большой величины постоянной составляющей тока. Величина КПД при отсечке зависит от угла отсечки и может быть существенно большей, чем в режиме без отсечки за счёт малой величины постоянной составляющей тока, которая тоже зависит от угла отсечки. В этом и состоит оптимизация энергетики ГВВ при колебаниях с отсечкой.

С изменением угла отсечки тока коллектора меняются следующие энергетические показатели ГВВ:

Полезная колебательная мощность первой гармоники в нагрузке, определяемая как:

$$P_1 = U_H^2 / R_H ,$$

где P_1 – мощность первой гармоники выходного тока, U_H – падение напряжения на нагрузке R_H . Если в измерениях величина U_H является амплитудой, то полезная мощность вычисляется по формуле:

$$P_1 = U_H^2 / 2R_H$$

Мощность, потребляемая от источника питания

$$P_0 = I_{ко} \cdot E_k ,$$

где $I_{ко}$ - постоянная составляющая коллекторного тока, E_k - модуль напряжения источника питания ГВВ.

Мощность рассеяния, потерь на транзисторе

$$P_k = P_0 - P_1$$

Коэффициент полезного действия ГВВ

$$\eta = P_1 / P_0 .$$

Содержанием работы является измерение всех этих энергетических показателей в режимах колебаний 1-го и 2-го рода при изменении частоты сигнала возбуждения ГВВ относительно частоты настройки нагрузки – колебательного контура в цепи коллектора ГВВ. При расстройке контура ГВВ относительно частоты возбуждения на входе импеданс (комплексное сопротивление) контура изменяется, модуль его уменьшается и уменьшается полезная колебательная мощность. Кроме того, при расстройке контура несколько возрастает постоянная составляющая коллекторного тока, а следовательно возрастают потери на коллекторе P_k и снижается КПД генератора.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

3.1. Изучить схему ГВВ, назначение её элементов и способ установки угла отсечки.

3.2. Исследовать влияние расстройки контура ГВВ в коллекторной цепи на энергетические показатели ГВВ.

3.3. Исследовать влияние угла отсечки коллекторного тока на энергетические показатели ГВВ.

4. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА

4.1. Универсальная лабораторная установка

4.2. Осциллограф С1-73 или другой на рабочем месте.

4.3. Частотомер ЧЗ-32 или иной на рабочем месте.

В схеме, показанной на Рис. 1 должны быть использованы следующие элементы:

$L1 = 5\text{ мГ}$ или элемент $Z2$ набора стандартных элементов установки,

$R1 = 33\text{ кОм}$, $R2 = 8,2\text{ кОм}$, $R3 = 200\text{ Ом}$, $R4 = 3,9\text{ кОм}$

$C1 = 1000\text{ пФ}$ (или больше), $C2 = 22\text{ пФ}$, $C3 = 0,01\text{ мкФ}$, $C4 = 0,033\text{ мкФ}$.

Питание коллекторной цепи осуществляется от источника ГН -2 установки через миллиамперметр АВМ -1. Ток смещения для установки рабочей точки транзистора с отсечкой коллекторного тока и без отсечки задаётся генератором тока стенда ГТ. Измерение напряжения в нагрузке R4 производится осциллографом по его измерительной шкале (вольт на клетку экрана). Измерение напряжения источника питания производится прибором в блоке ЧМ (нижний справа) при положении переключателя видов измерений 25 В ГН2. Измерение тока, потребляемого от источника питания, используется миллиамперметр в блоке АВМ-1 в режиме измерений токов. Отсчет значений частоты производится частотомером на выходе ГВВ или непосредственно на выходе ГНЧ, который является источником возбуждения ГВВ – задающим генератором. Регулировка тока ГТ и напряжения ГН -2 производится соответствующими потенциометрами, выведенными на лицевую панель блока питания установки – нижний блок. Исследуемая схема и её подключение к установке представлена на Рис.1

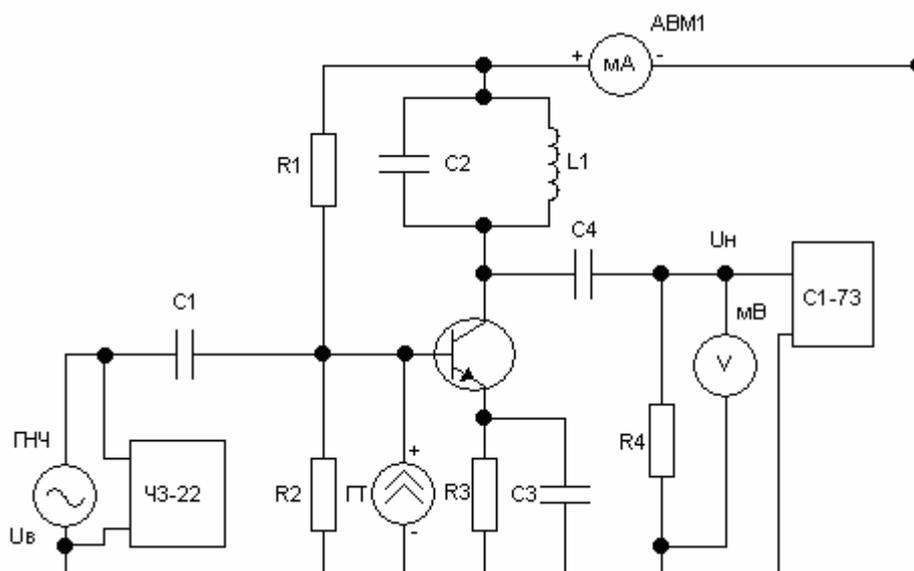


Рис . 1. Схема лабораторной установки.

5.ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

5.1. Подготовить установку для выполнения работы, для чего все тумблеры поставить в положение вниз, все регулировки установить в левое положение, собрать схему установки. После этого предъявить собранную установку ведущему занятию для проверки правильности сборки и получив разрешение, начать выполнение исследований.

5.2. Установить номинальное значение напряжения источника питания ГН-2 по прибору в блоке ЧМ (см выше) 13 -15 вольт.

5.3. На вход схемы подать от ГНЧ сигнал возбуждения и контролировать на выходе ГВВ прохождение его в схеме.

5.4. Установить угол отсечки 180° следующим образом. Отключить конденсатор С3 и в точки его включения подсоединить вход осциллографа. Форма напряжения на резисторе R3 будет повторять форму тока в цепи коллектор-эмиттер, т. е. отображать величину отсечки. При синусоидальной форме этого тока, такой же, как и на входе ГВВ, угол отсечки составит 180° . При форме тока, соответствующей косинусоидальному импульсу, соответствующей половине периода синусоиды, угол отсечки составит 90° . Регулировка угла отсечки производится генератором тока ГТ (см. выше). После установки требуемого угла отсечки конденсатор С3 следует вернуть на место.

5.5. Изменяя частоту ГНЧ, добиться максимума напряжения на выходе ГВВ- настройка в резонанс. Зафиксировать значения тока $I_{к0}$, U_H частоту f_p на соответствующих приборах.

5.6. Изменяя частоту ГНЧ в обе стороны от резонанса, через интервалы порядка 5...8 килогерц (пять точек) снять изменения тех же параметров ГВВ.

5.7. Свести все измерения в таблицу 1, показав их преподавателю. Произвести расчеты мощностей: полезной, потребляемой от источника питания, потерь и КПД, сведя все расчеты в таблицу 2.

5.8 Установить угол отсечки в 90° и повторить измерения в соответствии с пунктами 5.5...5.7. Составить такие же таблицы.

$$\Theta = 180^{\circ} \text{ (или } 90^{\circ} \text{)}$$

Таблица 1.

№ п/п	$f_{3Г}$, кГц	$I_{к0}$, мА	U_H , В
1.			
2.			
3.			
.			
.			

$$\Theta = 180^{\circ} \text{ (или } 90^{\circ} \text{)}$$

Таблица 2.

№ п/п	$f_{3Г}$, кГц	P_1 , мВт	P_0 , мВт	P_K , мВт	η , %
1.					
2.					
3.					
.					

По данным таблицы 2 построить зависимости всех мощностей и КПД от частоты для

$\Theta = 180^0$ и 90^0 , совмещая идентичные параметры на одном графике для возможности их сравнения.

Результаты расчетов предъявить преподавателю и получить разрешение на оформление отчета. В отчете должно быть: Титульный лист, цель работы, принципиальная схема установки, данные режимов работы, таблицы измеренных и рассчитанных величин, осциллограммы токов при разных углах отсечки, графики в соответствии с таблицами 2., выводы по работе.

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

- 6.1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1998, с. 102...117.
- 6.2. Логвин А.И. Выходные и промежуточные каскады радиопередатчиков. –М.: МИИГА, 1987, с. 10...13, 32...33.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 7.1. Изобразите схемы ГВВ с параллельным, последовательным питанием в коллекторной цепи.
- 7.2. Каким средствами устанавливается угол отсечки в ГВВ?
- 7.3. Как в эксперименте устанавливается угол отсечки?
- 7.4. Почему в эксперименте ток, потребляемый от источника питания, мало меняется?
- 7.5. Почему выходная мощность в нагрузке меняется с изменением частоты?
- 7.6. То же с изменением угла отсечки?
- 7.7. Как меняется КПД ГВВ в зависимости от угла отсечки?
- 7.8. Что такое – угол отсечки коллекторного тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ АВТОГЕНЕРАТОРА.

1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование стабильности частоты автогенераторов, собранных по различным схемам, при воздействии процесса выбега, температуры и питающих напряжений.

2.ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Стабильность частоты автогенератора является его основным качественным показателем. Этот показатель существенно зависит от многих внешних воздействий, которые именуются дестабилизирующими факторами. К ним относятся: изменения питающих напряжений,

температуры окружающей среды, атмосферные воздействия, радиация, механические воздействия и т.д. Наиболее существенное влияние на стабильность частоты оказывают изменения питающих напряжений и температуры. Изменения температуры вызывают изменения величины ёмкости р-п переходов в транзисторе, а поскольку эти ёмкости подключены к колебательному контуру автогенератора, определяющему частоту генерации, то их изменения являются одной из основных причин изменения частоты автоколебаний. Изменения питающих напряжений воздействуют на частоту колебаний более сложным образом как за счет изменения теплового режима, так и за счет изменения фазовых соотношений в цепи обратной связи.

Различают абсолютную нестабильность частоты

$$\Delta f = / f_H - f_T /$$

и относительную нестабильность частоты

$$\Delta f / f_H = / f_H - f_T / / f_H ,$$

где f_H - номинальное значение частоты автогенератора,

f_T - текущее, в данный текущий момент времени значение частоты.

Существует понятие выбега частоты автогенератора – процесс установление номинального значения частоты по мере прогрева схемы, после включения в работу до установления стационарного теплового режима. Это установившееся значения частоты принимают за номинальное.

Для повышения стабильности частоты автогенератора в его схеме используют в качестве колебательной системы кварцевые резонаторы. Кварцевые резонаторы, являясь механической колебательной системой, также подвержены влиянию внешних факторов, но их стабильность может быть на несколько порядков выше, чем стабильность электрических колебательных систем.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

3.1. Исследование трёх схем автогенераторов: LC – генератора, RC - генератора и генератора с кварцевой стабилизацией.

3.2. Исследуются: процесс выбега частоты, влияние температуры при нагреве транзистора и влияние изменения питающего напряжения на стабильность частота автогенераторов.

4. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА

4.1. Универсальная лабораторная установка со схемами автогенераторов.

4.2. Осциллограф С1 -73.

4.3. Частотомер ЧЗ-22 или другой.

5. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Принципиальные схемы исследуемых автогенераторов приведены на Рис. 1...3. В схеме : LC – автогенератора, собранного по схеме с индуктивной обратной связью, Рис. 1, используются следующие элементы схемы:

$R1 = 10 \text{ кОм}$, $R2 = R3 = 4,3 \text{ кОм}$, $R4 = 22 \text{ кОм}$ (переменный), $C1 = 0,01 \text{ мкФ}$, $C2 = 100 \text{ пФ}$, $C3 = C4 = 0,22 \text{ мкФ}$, $C5 = 510 \text{ пФ}$, $L1 = L2$ – фильтр Z4 (катушка $L2$ подключена к штырям элемента , $L1$ – к проводам с однополюсными вилками на концах), $VT1$ – транзистор МП40.

В схеме RC-автогенератора, Рис.2, используются следующие элементы:

$R1 = 5,1 \text{ кОм}$, $R2 = 0$ (перемычка), $R3 = 4,3 \text{ кОм}$, $R4 = 1 \text{ кОм}$, $R5 = 15 \text{ кОм}$, $R6 = 20 \text{ кОм}$, $R7 = 1,2 \text{ кОм}$, $R8 = 10 \text{ кОм}$ (переменный), $R9 = 51 \text{ кОм}$, $R10 = 5,1 \text{ кОм}$, $R11 = 3,9 \text{ кОм}$, $R12 = 510 \text{ Ом}$, $R13 = 15 \text{ кОм}$, $C1 = C2 = 1000 \text{ пФ}$, $C3 = C4 = 20 \text{ мкФ}$, оба транзистора типа МП40.

В схеме кварцевого автогенератора, Рис. 3, используются следующие элементы:

Панель со схемой транзисторного генератора с внешним возбуждением, используемой в работах №3 . Транзистор МП40, $L1$ – элемент Z1, $R1 = 51 \text{ кОм}$, $C1 = 51 \text{ пФ}$, в точки схемы X1-X2 через переходник включить емкость $C2 = 100 \text{ пФ}$, от которой подключить провод к контакту X6. Кварцевый резонатор включить в переходник, к которому подключить провода к точкам схемы X4 и корпусу. Осциллограф подключается к точкам схемы между эмиттером и корпусом , $R3 = 1 \text{ кОм}$, включаемый через переходник между эмиттером и корпусом.

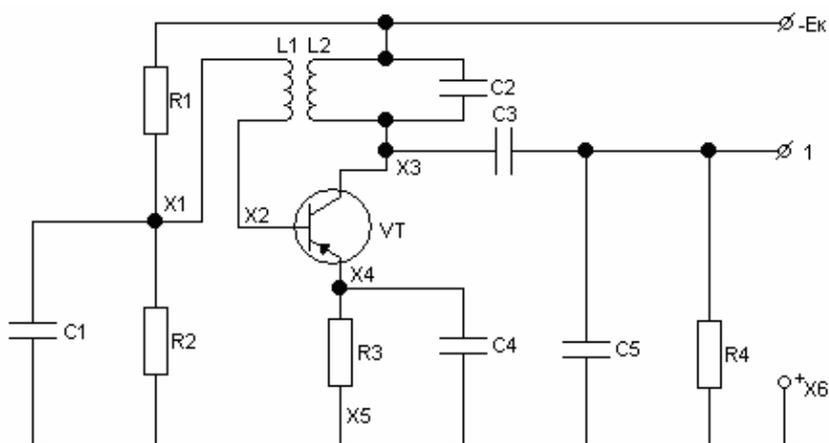


Рис. 1

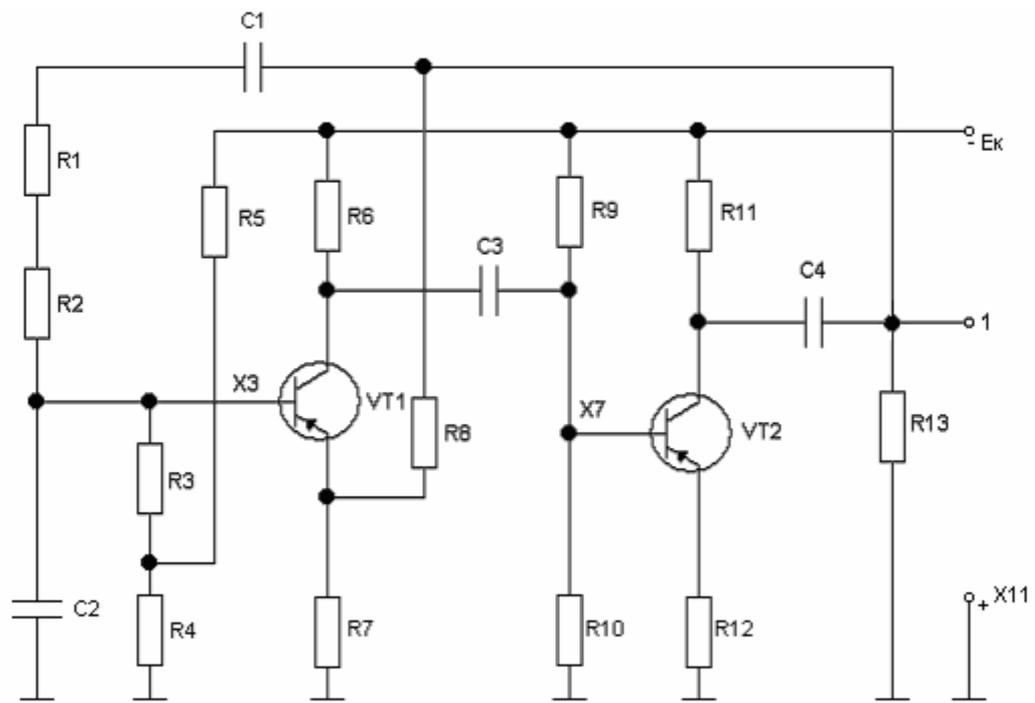


Рис. 2 .

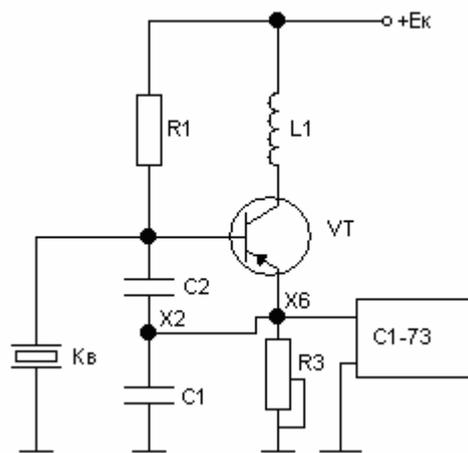


Рис. 3.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1 Подготовить установку к работе, для чего все тумблеры поставить в положение выключено. Все регулировки поставить в крайнее левое положение. Собрать схему по Рис.1. – генератор LC., проверить правильность сборки и с разрешения преподавателя включить питание установки и измерительных приборов.

6.2. Подать коллекторное питание 15 В и изменением величины сопротивления R4 добиться возникновения генерации колебаний, что наблюдать на экране осциллографа, подключенного к схеме, и измерить частоту генерации частотомером.

6.3. Снять характеристику выбега частоты. Для этого выключить питание схемы и дать остыть схеме в течении 5-ти минут. После этого включить питание и через каждую минуту с момента включения фиксировать значения частоты по частотомеру вплоть до момента времени, когда частота становится практически неизменной. Это значение частоты принять за номинальное - f_H . Если частота в течении 10 минут не стабилизируется, то за номинальное принять значение после 15 минутного прогрева. Результаты измерений внести в таблицу 1. Построить график выбега частоты. вида

$$\Delta f / f_H = \varphi (t, \text{мин})$$

Таблица 1.

t, мин.	1	2	3	4
f, кГц				
Δf , Гц				
$\Delta f / f_H$				

6.4. Снять и построить зависимость относительной нестабильности от температуры. Для этого в стационарном режиме нагревают транзистор с помощью малогабаритной лампочки накаливания, насаженной на транзистор с помощью специальной насадки. Провода питания от насадки с лампочкой включают в клеммы питания, указанные ведущим занятия преподавателем или лаборантом.

В течении 15 секунд осуществляется нагрев, в среднем, на 5 градусов Цельсия. Начальное значение принять равным 20 градусов и прогревать до 40°.

Далее произвести обратное: ровно через 1 минуту выключить нагрев и фиксировать изменения частоты через 2,5 минуты, что соответствует в среднем остыванию транзистора на 5° С, до начального значения в 20° С. Результаты измерений внести в таблицу 2. По данным таблицы построить зависимость

$$\Delta f / f_H = \varphi (T^{\circ} \text{C})$$

Таблица 2.

T° С	20	25	30	35	40	35	30	25	20
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

f_T , кГц									
Δf , Гц									
$\Delta f / f_H$									

6.5. Снять зависимость относительной стабильности от питающего напряжения E_K . Для этого снижать величину напряжения источника питания от 15 Вольт через 1 Вольт до тех пор, пока не сорвется генерация. Фиксировать частоту генерации при каждом изменении напряжения. Результаты измерений занести в таблицу 3. и на её основе построить зависимость $\Delta f / f_H = \varphi (E_K)$.

Таблица 3.

E_K , Вольт	15	14	13	12	110
f_T , кГц					
Δf , Гц					
$\Delta f / f_H$					

6.6. Собрать схему RC – генератора и провести измерения аналогичные пунктам 6.3...6.5. Результаты занести в соответствующие таблицы и построить графики.

6.7. Собрать схему кварцевого автогенератора и провести исследования по пунктам 6.3....6.5. Результаты свести в соответствующие таблицы и графики.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: цель работы, принципиальные схемы всех автогенераторов, таблицы измеренных и рассчитанных величин по всем экспериментам, графики соответствующих зависимостей. Вывода по работе.

8. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

8.1 В.В. Криницин, А.В. Логвин, Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. -М.: Транспорт, 1998, с.81...96.

8.2. Логвин А.И., Дивеев В.Н. Техническая реализация устройств передачи сигналов, МГТУ ГА, 1996, с.8...27.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 8.1. Какими способами оценивается стабильность частоты автогенератора?
- 8.2. Что такое выбег частоты и как он измеряется?
- 8.3. Что такое эталонность частоты и какими факторами она определяется?
- 8.4. Дайте определения температурных коэффициентов: ТКЧ, ТКИ, ТКЕ и как они связаны.
- 8.5. Почему стабильность частоты зависит от напряжения источника питания?
- 8.6. Почему автогенератор с кварцевым резонатором имеет высокую стабильность частоты генерации?
- 8.7. Что такое баланс амплитуд и фаз в автогенераторе, в чем физический смысл этого условия?
- 8.8. Что такое фиксирующая способность в автогенераторах и чем она определяется?
- 8.9. Изобразите различные виды схем трехточечных автогенераторов.
- 8.10. Что такое трехточка, виды трехточечных схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование статических и динамических характеристик при базовой и коллекторной модуляции ГВВ на транзисторе.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При амплитудной модуляции, если модулирующее напряжение синусоидально, выходное напряжение ГВВ изменяется по закону:

$$U(t) = U_H (1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t, \quad (1)$$

где U_H – амплитуда немодулированных колебаний несущей частоты ω , $m = U_M/U_H$ – коэффициент модуляции, U_M – амплитуда модулирующего сигнала. Вычислить коэффициент модуляции можно по эюре модулированных колебаний на экране осциллографа:

$$m = (U_{\max} - U_{\min}) / (U_{\max} + U_{\min}), \quad (2)$$

где U_{\max} и U_{\min} – максимальное и минимальное значения модулированного колебания, Рис. 1.

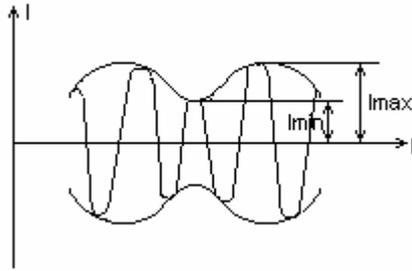


Рис. 1.

К модуляционным характеристикам процессов модуляции относятся: статическая модуляционная характеристика, динамическая амплитудная модуляционная характеристика, динамическая частотная характеристика. Статической модуляционной характеристикой (СМХ) называется зависимость амплитуды первой гармоники коллекторного тока I_{k1} (или амплитуды напряжения первой гармоники U_{k1} на выходе ГВВ, или постоянной составляющей тока коллектора I_{k0}) от модулирующего фактора, т.е. от напряжения питания того электрода транзистора, на который подаётся модулирующий сигнал. Статической модуляционной характеристикой она называется потому, что снимается в режиме отсутствия модуляции сигналом. Вид этой характеристики позволяет выбрать ту часть её, где эта характеристика линейна. В пределах этой линейной части и должен находиться модулирующий сигнал. Иными словами, в пределах линейной части выбирается положение рабочей точки, относительно которой изменяются значения модулирующего сигнала. В этом случае обеспечивается неискаженный режим модуляции с наименьшими нелинейными искажениями. СМХ позволяет оценивать энергетические показатели ГВВ в различных режимах модуляции, оценивать степень линейности модуляции, определять диапазон изменения модулирующего сигнала (его амплитуду), при котором нелинейные искажения не превышают допустимых.

Динамическая амплитудная модуляционная характеристика (ДМХ) – это зависимость коэффициента модуляции от изменений амплитуды модулирующего сигнала при неизменной частоте его (обычно частотой в 1000 Герц). Эта характеристика позволяет оценивать линейность изменения коэффициента модуляции в процессе модуляции.

Динамическая частотная характеристика (ДМЧХ) – это зависимость коэффициента модуляции от частоты модуляции при неизменном значении амплитуды модулирующего сигнала. Эта амплитуда соответствует $m = 0,3$ или $m = 0,9$.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

3.1. Снять СМХ с целью выбора рабочей точки модулированного каскада.

3.2. Снять ДМХ и ДМЧХ.

Эти характеристики снимаются для двух видов модуляции: базовой и коллекторной.

4 ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА

4.1. Универсальная лабораторная установка.

4.2. Осциллограф С1-73 или другой.

4.3. Частотомер ЧЗ-22 или иной.

5. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Принципиальная схема установки приведена на Рис. 2., где величины элементов схемы таковы:

$R1 = 33 \text{ кОм}$, $R2 = 8,2 \text{ кОм}$, $R3 = 200 \text{ Ом}$, $R4 = 8,2 \text{ кОм}$, $C1 = 1000 \text{ пФ}$, $C2 = 10 \text{ пФ}$, $C3 = 0,01 \text{ мФ}$, $C4 = 0,033 \text{ мФ}$, $L1$ – элемент Z2, Др1 – Др1, VT1 – ТП40. Измерительные приборы схемы – в составе установки.

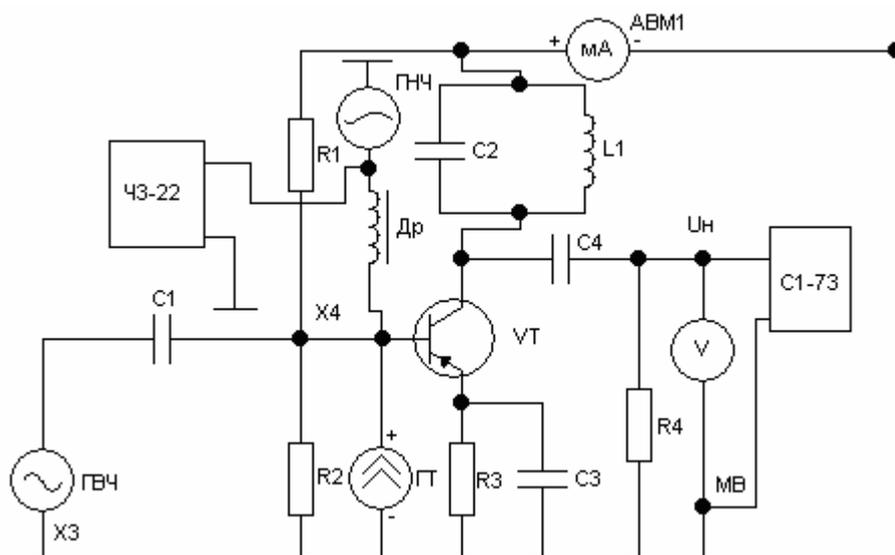


Рис. 2

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1. Подготовить установку к работе, для этого поставить все тумблеры в положение выключено (нижнее положение). Все регулировки поставить в крайнее левое положение. Собрать установку в соответствии со схемой Рис.2, обратив внимание на то, что дроссель Др1 подключается к базе транзистора одним концом.

Проверить правильность сборки и с разрешения преподавателя включить установку в работу.

6.2. Установить напряжение коллекторного питания 15 В (от источника напряжения ГН2), контролируя его по прибору V в блоке ЧМ. Подключить сигнал от ГВЧ в т. 1 и X3, причем сигнал снимается в ГВЧ с клеммы ГН.

Установить смещение на базе транзистора с помощью регулятора тока ГТ по прибору в блоке ЧМ на примерно 10 делений (положение переключателя прибора – ГТ, шкала 1 мА).

6.3. Снять и построить СМХ для коллекторной модуляции. Для этого менять коллекторное напряжение источником ГН2 (контролируя по прибору на блоке ЧМ) от 15 В до 0 через 1 Вольт. Фиксировать при этом значения тока $I_{к0}$ (по прибору АВМ1 в положении измерения тока) и амплитуду напряжения на нагрузке R4 U_H , пользуясь шкалами измерений на осциллографе. При этом иметь в виду, что размах синусоиды на экране равен двум амплитудам. Результаты измерений занести в таблицу 1. и построить графики зависимостей $I_{к0}$ и U_H от E_K

Таблица 1.

$E_K, В$	15	14	13	12
$U_H, В$				
$I_{к0}, мА$				

На полученных графиках выделить линейный участок с наибольшим диапазоном изменения E_K и посередине этого линейного участка определить значение $E_{K_{мол}}$ – молчания – рабочую точку и по границам линейного участка определить $E_{K_{макс}}$ и $E_{K_{мин}}$ в процессе модуляции.

6.5. Снять и построить СМХ при базовой модуляции, для чего выставить E_K , равным 15 В, и менять ток базы $I_{ГТ}$ источником ГТ в пределах от 0 до 1 мА, через 0,05 мА. Фиксировать при этом значения $I_{к0}$ и U_H при каждом значении тока базы. Результаты занести в таблицу 2 и построить графики зависимостей. По полученным графикам выделить линейный участок с наибольшим диапазоном изменения тока базы и посередине этого участка определить значение $I_{ГТ_{мол}}$ и найти границы линейного участка $I_{ГТ_{макс}}$ и $I_{ГТ_{мин}}$.

Таблица 2.

$I_{ГТ}$, мА	0	0, 05	0, 1	0, 15	0, 2
$I_{к0}$, мА					
U_H , В					

6.6. Снять динамическую модуляционную характеристику (ДМХ) при базовой модуляции для чего подключить выход ГНЧ к точке X4 через дроссель Др1 и выставить: $E_K = 13...15$ В, $I_{ГТ} = I_{ГТмол}$, после этого включить ГНЧ, установить на нём амплитуду выхода U_M , равную примерно 1 В, и установить на нём частоту, близкую к 1000 Гц, контролируя частоту по частотомеру. Меняя амплитуду выхода ГНЧ от 0 до 1...1, 5 В через 0, 1..0, 2 В снять зависимость $m = f(U_M)$. Амплитуду выхода ГНЧ лучше всего измерять по осциллографу, подключая к нему выход ГНЧ. Коэффициент модуляции измерять по форме колебаний на экране осциллографа, подключая который на выход схемы (R4), в соответствии с формулой (2). Рекомендуется установить такое напряжение выхода ГВЧ, при котором форма модулированных колебаний выглядит симметричной. Результаты эксперимента занести в таблицу 3.

Таблица 3.

U_M , В	0	0, 1	0, 2	0, 3
M				

6.7. Снять динамическую частотную характеристику (ДМЧХ) при базовой модуляции. Для этого в режиме базовой модуляции (частота модуляции 1000 Гц) установить коэффициент модуляции, равный 0. 5. Меняя частоту модуляции в пределах 300...3500 Гц, измерять значение коэффициента модуляции m . Повторить эту методику для $m = 0. 9$. Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4.

F, Гц	1000	300	500	700	3500
M	0. 5					
m	0. 9					

6.8. Снять ДМХ для коллекторной модуляции, для чего установить, как в п. 6.3., $I_{ГТ} = 10$ делений, $E_K = E_{Кмол}$. На ГНЧ установить частоту 1000 Гц. Сигнал модуляции подается через Др1 в точку X5 (на коллектор) схемы. Меняя амплитуду ГНЧ U_M так, чтобы она не выходила за пределы выделенного линейного участка коллекторной СМХ с дискретностью 5...6 точек измерения, снять зависимость $m = f(U_M)$. Результаты измерений внести в таблицу, аналогичную таблице 3.

6.9. Снять ДМЧХ для коллекторной модуляции, пользуясь результатами п. 6. 8 и методикой снятия ДМЧХ в п. 6. 7. Результаты занести в таблицу типа 4. Если не удастся установить $m = 0.9$, то провести эксперимент для максимального значения m из п. 6.8.

По результатам данных таблиц построить графики исследованных зависимостей.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете надо представить: цель работы, исследуемую схему, данные режимов, осциллограммы полученных модулированных колебаний, таблицы измерений, графики полученных зависимостей, выводы по работе.

8. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

8.1 Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. –М.: Транспорт, 1998, с.199...203.

8.2. Логвин А.И. Аналоговые и дискретные виды модуляции в радиопередающих устройствах. – М.: МИИГА, 1991, с. 11, 19...20.

9.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

9.1. Дайте определение характеристик: СМХ, ДМХ, ДМЧХ.

9.2. Поясните методику снятия характеристик по п. 9.1.

9.3. Как выбираются рабочие точки ГВВ при АМ?

9.4. Меняется ли угол отсечки при базовой АМ? При коллекторной АМ?

9.5. За счет чего при АМ в ГВВ меняется амплитуда импульсов тока при базовой, коллекторной АМ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

1.ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование модуляционных характеристик при частотной модуляции частоты автогенератора.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

При частотной модуляции сигнал имеет вид записи:

$$U(t) = U_m \cos(\omega t + m_{\text{чм}} \sin \Omega t + \varphi_0),$$

где U_m – амплитуда несущего колебания, $m_{\text{чм}} = \Delta\omega / \Omega$ - коэффициент частотной модуляции (индекс модуляции), ω – частота несущего колебания,

Ω – частота модулирующего колебания, φ_0 - начальная фаза несущего колебания.

Частотную модуляцию обычно осуществляют в задающем автогенераторе путём подключения к контуру его управляющего реактивного элемента – варикапа. Сигналы модуляции подводятся к варикапу, в результате чего изменяется переменная ёмкость варикапа и в соответствии с этим изменяется частота настройки контура автогенератора.

При частотной модуляции определяются следующие характеристики, наподобие с АМ: статическая и динамические модуляционные характеристики – СМХ, ДМХ, ДМЧХ.

Статической частотной характеристикой называется зависимость частоты f_A автогенератора от напряжения на реактивном управляющем элементе, в данном случае на варикапе E_B :

$$f_A = f(E_B)$$

По этой СМХ определяют линейный участок, на котором выбирают положение рабочей точки, точки молчания, обычно посередине линейного участка.

Динамической модуляционной характеристикой (ДМХ) называют зависимость изменения относительной частоты автогенератора от изменений амплитуды модулирующего сигнала U_Ω :

$$\Delta f / f_0 = \varphi(U_\Omega),$$

где f_0 - частота в точке молчания автогенератора, Δf – амплитуда отклонения частоты автогенератора от f_0 .

Соответственно, ДМЧХ называется зависимость изменения частоты промодулированного сигнала от частоты F модуляционного при фиксированном значении U_Ω :

$$\Delta f = \varphi(F)$$

Величина амплитуды Δf представляет собой девиацию частоты при модуляции. Зная частоту модуляции, можно в каждом эксперименте при измерении Δf определить индекс частотной модуляции $m_{чм} = \Delta f / F$.

Частотная модуляция характеризуется высокой помехоустойчивостью, малым уровнем нелинейных искажений, хорошими энергетическими характеристиками. Следует отметить, что преимущества частотной модуляции по сравнению с амплитудной проявляются при больших индексах частотной модуляции $m_{чм} \gg 1$.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

3.1. Снять зависимость частоты генерации автогенератора от напряжения, подаваемого на реактивный элемент (варикап), т.е. СМХ.

3.2. Снять вольтчастотную характеристику частотного детектора – измерителя девиации частоты в динамическом режиме модуляции.

3.3 Снять динамическую модуляционную характеристику частотного модулятора (ДМХ), используя характеристику частотного детектора, как измерителя девиации.

3.4 Снять ДМЧ частотного модулятора.

4. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА

4.1. Универсальная лабораторная установка.

4.2. Осциллограф С1-73 или иной.

4.3. Частотомер ЧЗ-22 или иной.

5. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Принципиальная схема частотного модулятора приведена на Рис. 1. Эта схема собрана внутри установки, её схема изображена на лицевой панели съёмного планшета. На Рис. 2 приведена схема частотного детектора, служащего измерителем частоты девиации по вольтчастотной характеристике.

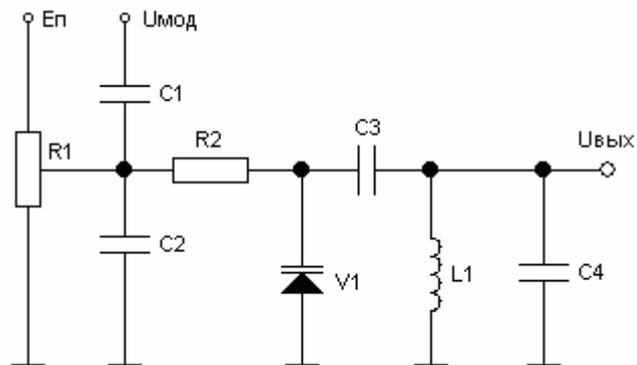


Рис.1.

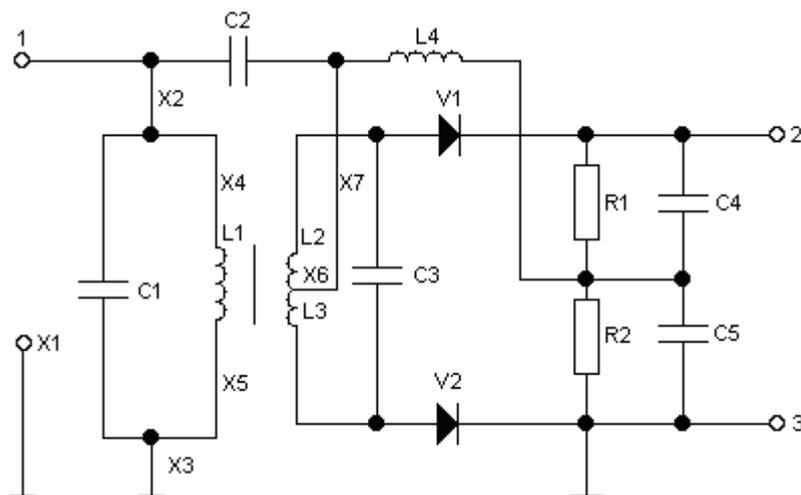


Рис.2.

На схеме Рис. 2, которая собирается на панели установки, используются следующие номиналы элементов: $C1 = C3 = 680$ пФ, $C2 = 1000$ пФ, $C4 = C5 = 0,01$ мкФ, $L1 = L2 = L3 =$ элемент Z5 (устанавливается штырями в отверстие на условном изображении L2-L3, гибкими выводами включить в гнезда X4-X5, третий гибкий вывод включить в гнездо X6). Диоды V1 и V2 типа КД103 А, $R1 = R2 = 15$ кОм, $L4 =$ элемент Z1.

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1. Подготовить установку для измерений : все тумблеры поставить в положение выключено, все регулировки поставить в крайнее левое положение, собрать установку в соответствии со схемой Рис. 2. Проверить правильность сбора схемы и с разрешения преподавателя включить установку.

6.2. Снять СМХ автогенератора с ЧМ. Для этого к выходу автогенератора (выходные клеммы ЗГ в левой части блока питания установки) подключить частотомер и измерять частоту колебаний $f_{3Г}$ при изменении напряжения на варикапе, который запитывается от источника питания $E_{П}$ (0...15 В). Величину $E_{П}$ отмечать по прибору на блоке ЧМ, как и на предыдущих работах, через 1 В. По результатам измерений заполнить Таблицу 1 и построить график СМХ вида: $f_{3Г} = \varphi (E_{П})$.

Таблица 1.

$E_{П}, В$	0	2	3	4.....15
$f_{3Г}, кГц$				

Выделить на графике линейный участок характеристики и посередине линейного участка определить значение $E_{Пмол}$ – молчания, рабочую точку и частоту молчания в ней.

6.3. Для снятия ДМХ и ДМЧХ необходимо иметь вольтчастотную дискриминационную характеристику частотного дискриминатора – частотного детектора. Эта характеристика представляет собой зависимость постоянного напряжения на выходе дискриминатора от частоты сигнала на входе: $U_{д} = \varphi (f_{3Г})$. Снять эту характеристику по следующей методике. Выходное напряжение дискриминатора $U_{д}$ измеряется по величине отклонения линии развертки осциллографа от среднего значения в положении переключателя входа на индикацию постоянного напряжения. При этом надо учитывать калибровку шкалы отклонения по вертикали.

Для выполнения измерений необходимо подать на схему частотного детектора в точки X2, X3 напряжение с выхода задающего генератора, СМХ которого уже имеется. Выход детектора: точки 2, 3 подключить ко входу осциллографа. Менять напряжение $E_{П}$ источника питания, так же, как и при снятии СМХ, измерять напряжение на выходе детектора по шкале

осциллографа. Частоту ЗГ соотносить с данными СМХ или вновь измерять частотомером. Результаты внести в таблицу 2.

Таблица 2.

$E_{\Pi}, В$	$f_{ЗГ}, кГц$	$\Delta f, кГц$	$U_{Д}, В$

Построить график полученной характеристики. $U_{Д} = \varphi (f_{ЗГ})$. На нем выделить линейный участок наибольшей протяженности и посередине его отметить рабочую точку, относительно которой будем в дальнейшем производить модуляцию сигналом при снятии динамических характеристик. Для выбранной рабочей точки зарегистрировать значения напряжения и частоты в ней: $E_{\Pi_{\text{мол}}}$ и $f_{ЗГ_{\text{мол}}}$. В графу таблицы Δf занести разность $\Delta f = f_{ЗГ} - f_{ЗГ_{\text{мол}}}$ и построить зависимость $\Delta f = \varphi (E_{\Pi} - E_{\Pi_{\text{мол}}})$

6.4. Снять динамическую модуляционную характеристику (ДМХ). Для этого установить рабочую точку частотного дискриминатора по результатам предыдущего эксперимента. Подать в точки 1 и X1 (корпус) сигнал от модулятора – ГНЧ с частотой порядка 1000 Гц (ГНЧ подключается тумблером ГНЧ на ЗГ в блоке питания –слева). Изменяя амплитуду ГНЧ от 0 до максимума (контроль амплитуды лучше всего производить по экрану осциллографа), снять (по осциллографу) зависимость амплитуды сигнала на выходе дискриминатора $U_{ДМ}$ от амплитуды сигнала модулятора. Форма сигнала на выходе дискриминатора с точностью до погрешностей повторяет форму сигнала модуляции. С помощью дискриминационной характеристики (по 6.3.) определить соответствующее $U_{ДМ}$ значение частоты девиации Δf .

Результаты измерений занести в таблицу 3 и построить график зависимости $m_{чМ} = \Delta f / F_{М}$ от $U_{ДМ}$. Это и есть ДМХ.

Таблица 3.

$U_{\text{мод}}, В$	$U_{ДМ}, В$	$\Delta f, кГц$	$m_{чМ}$

6.5. Снять динамическую частотную характеристику частотного модулятора (ДМЧХ). Для этого установить среднее значение $m_{чМ}$ по результатам предыдущего эксперимента. Изменяя частоту ГНЧ (модулятора), при неизменной его амплитуде, от 300 Гц до 3400 Гц через 500 Гц по методике предыдущего эксперимента (6.4.) снять зависимость $m_{чМ}$ от частоты модуляции $F_{М}$. Результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4

$F_{М}, Гц$	$U_{ДМ}, В$	$\Delta f, кГц$	$m_{чМ}$
1000			

300 700 и т.д.			
-------------------	--	--	--

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Содержание отчета: цель работы, Принципиальные схемы, данные режимов работы, таблицы измерений, графики зависимостей, выводы по работе.

8. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

8.1 Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. – М.: Транспорт, 1998, с.203...214.

8.2. Логвин А.И. Аналоговые и дискретные виды модуляции в радиопередающих устройствах. – М.: МИИГА, 1991, с. 27...26, 30...31.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

9.1 Что такое статическая модуляционная характеристика ЧМ-модулятора? Как её снимают?.

9.2. Какую роль играет в эксперименте частотный детектор (дискриминатор)? Как снимается характеристика этого дискриминатора?

9.3. Что такое девиация частоты при ЧМ? Индекс частотной модуляции?

9.4. Как определяется девиация частоты с помощью характеристики частотного дискриминатора? Как далее вычисляется индекс ЧМ?

9.5. Как в эксперименте снимается динамическая характеристика ЧМ-модулятора?

9.6. Что такое динамическая частотная характеристика ЧМ-модулятора? Как она снимается в эксперименте?

9.7. Объясните зависимость индекса частотной модуляции от частоты модуляции.

9.8. Почему девиацию частоты нельзя измерить частотомером?

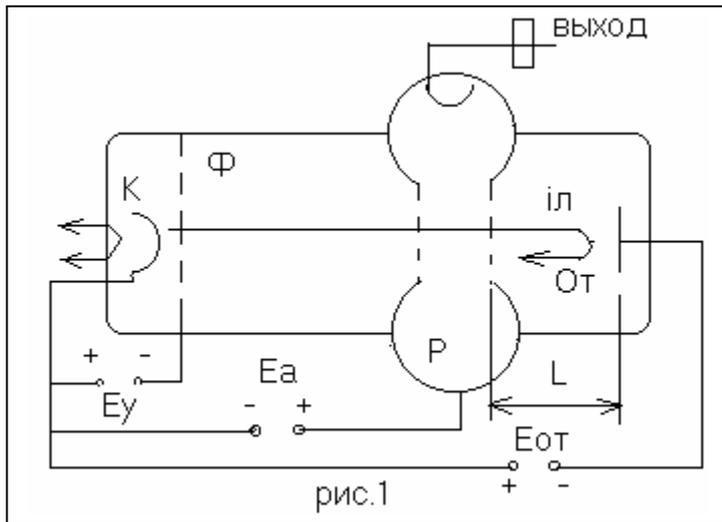
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО КЛИСТРОНА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучение теории и практики применения отражательного клистрона в радиотехнических схемах ГА, исследование режимов работы отражательного клистрона как генератора СВЧ и определение параметров, обеспечивающих эти режимы.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Отражательный клистрон является одноконтурным автогенератором, в котором функции группировки и улавливания электронов выполняет один резонатор. Схема отражательного клистрона (ОК) показана на рис.1.



Электроны эмиттируемые катодом К, фокусируются в луч, проходя через диафрагму Ф, и под воздействием постоянного ускоряющего напряжения анода E_a к сеткам резонатора Р. Флюктуационная составляющая тока электронов наводит в резонаторе собственные высокочастотные колебания, увеличенные в Q (добротность резонатора) раз.

Вследствие этого на сетках резонатора возникает высокочастотное напряжение, которое модулирует по скорости электроны, пролетающие сетки; за счёт этой модуляции происходит группировка электронов (аналогично группировке в пролётном клистроне) в пролётном пространстве между сетками и отражателем От. Отрицательное напряжение $E_{от}$ отражателя тормозит электроны, возвращая их обратно к сеткам резонатора. Если сгруппированные электроны, возвращаясь к сеткам, попадают в тормозящую фазу ВЧ – колебаний между сетками, то отдают свою энергию этому полю, поддерживая ВЧ – колебания в резонаторе.

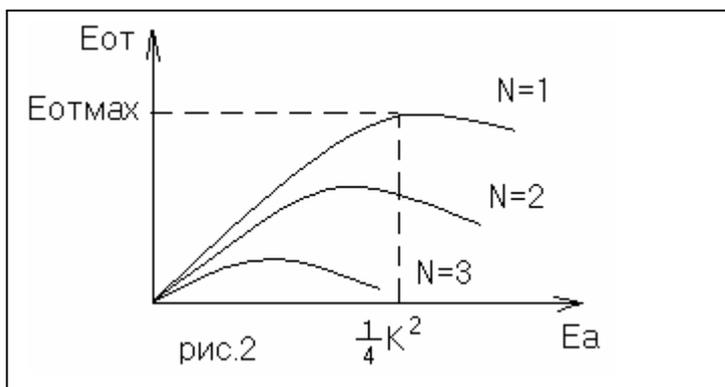
Усиленное ВЧ – поле углубляет модуляцию по скорости, улучшает процесс группировки электронов по плотности и далее развивается лавинообразный процесс нарастания амплитуды ВЧ – колебаний в резонаторе до возникновения стационарного состояния колебаний в автогенераторе.

Условием попадания сгруппированных электронов в максимум тормозящего поля (см. рис.1) между сетками резонатора является требование: время t пребывания электронов в пролётном пространстве должно быть равно, по крайней мере:

$$t = T - 0,25T = T(1 - 0,25) \quad (1),$$

где T – период ВЧ – колебаний в резонаторе. Однако, тоже самое будет иметь место, если $t = T(N - 0,25)$, $N = 1, 2, 3, \dots$ (2)

Другими словами, отражательный клистрон способен иметь ряд зон автогенерации, соответствующих (2). Настройка клистрона на какую-либо из этих зон производится либо изменением $E_{от}$, либо E_a так, что в координатах $(E_a, E_{от})$ можно построить геометрическое место точек (характеристик) зон генерации, рис.2.



Можно показать [1], что зависимость $E_{от} = f(E_a)$ для зон генерации имеет вид :

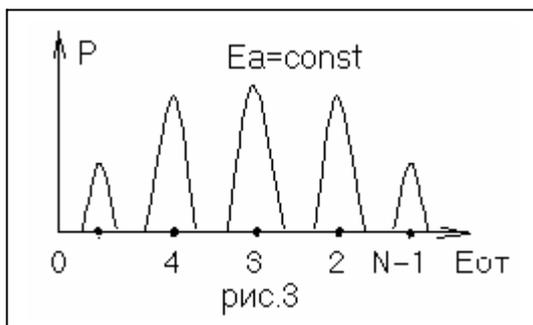
$$E_{от} = E_a - \frac{L}{1,5 \cdot 10^6 \cdot T \cdot (N - 0,25)} \cdot \sqrt{E_a} = E_a - K(N) \cdot \sqrt{E_a} \quad (3)$$

Функция (3) имеет максимум в $E_a = 0,25 \cdot K^2 \cdot N$, что соответствует

$$E_{отmax} := -0,25 \cdot K^2 \cdot N.$$

Из рис.2 видно, что одному значению E_a соответствует несколько значений $E_{от}$, обеспечивающих оптимальную фазировку в разных зонах генерации.

Поэтому можно построить зависимость мощности генерации от изменения напряжения на отражателе, рис.3.



Уровни мощности в зонах генерации могут быть неодинаковы. Частота ВЧ – колебаний внутри каждой зоны генерации в небольших пределах (десятые доли процента) изменяется. Последнее обстоятельство позволяет в небольших пределах производить подстройку частоты ОК, что используется в схемах АПЧ, когда

ОК выполняет роль гетеродина приёмника. Амплитуда колебаний в резонаторе может меняться изменением (в небольших пределах) E_a или $E_{от}$. Кроме того частота генерации в ОК в пределах нескольких процентов может регулироваться путём изменения объёма резонатора механическим способом, что имеет место лабораторной установке.

В формуле (3) принять: $E_{от}$, E_a – в Вольтах, T – в секундах, L – в метрах. При этом следует иметь в виду, что $E_{от}$ имеет отрицательное значение. Для клистрона, используемого в работе, величина $L = 0,01$ м.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА И РАБОТА С НЕЙ.

Лабораторная установка использует стандартный прибор типа КГ54А, содержащий автогенератор, выполненный на ОК типа К-352. На передней панели прибора имеются индикаторные приборы, органы регулировки

частоты (длины волны), напряжения на отражателе и чувствительности индикатора.

Ручка “Настройка” со шкалой настройки “ λ ” служит для механической перестройки частоты объёмного резонатора клистрона. Ручки $U_{от}$ и “Подстройка отражателя” служат для регулировки напряжения на отражателе клистрона. Напряжение на отражателе выведено на клеммы $U_{от}$ и измеряется с помощью переносного вольтметра, прилагаемого к установке. Регулировка “Шунт” меняет чувствительность “Индикатора”, который служит для индикации факта настройки клистрона на зону генерации (по максимуму показаний индикатора). Напряжение анода E_a клистрона в процессе настроек не меняется и составляет величину 250 Вольт. Индикатор “Ток анода” служит для контроля работоспособности клистрона. Тумблер “Анод” включает высоковольтное напряжение на анод клистрона, его следует включать после минутного интервала прогрева катода ОК.

Методика работы с установкой в процессе экспериментов сводится к следующему. При установке частоты генерации “ λ ” далее меняют $U_{от}$ регуляторами $U_{от}$ и “Подстройка отражателя”, добиваясь оптимального условия автогенерации (установка $U_{от}$, соответствующего зоне генерации) по максимуму показания “Индикатора”.

Меняя после такой настройки частоту резонатора клистрона (в пределах $0,5U_{мах}$ от показания “Индикатора”) определяют ширину полосы зоны генерации Δf . Ширину полосы зоны генерации можно также оценить путём изменения $\Delta U_{от}$ (в тех же пределах показаний “Индикатора”)

относительно величины оптимального значения $U_{от}$. После этого целесообразно сравнить относительные величины:

$$\frac{\Delta f}{f} \text{ или } \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \text{ и } \frac{\Delta U_{от}}{U_{от}} \text{ для разных способов оценки полосы зоны автогенерации.}$$

Обнаружение (и индикация) различных зон генерации производится после установки “ λ ” изменением $U_{от}$ двумя регуляторами этого напряжения по регистрации максимумов показаний “Индикатора”. Исключение зашкаливания “Индикатора” производится регулятором “Шунт”. При этом следует стремиться к наиболее полному использованию шкалы “Индикатора” при регистрации зон генерации. Перестройку частоты настройки резонатора следует производить плавно и аккуратно. При оценке уровня мощности в разных зонах генерации чувствительность “Индикатора” должна быть одинаковой.

4. ПРОГРАММА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

4.1 Изучить теорию и практику применения ОК по рекомендованной литературе [1,2]

4.2 Произвести предварительные расчёты параметров, определяющих зоны генерации ОК, по следующим исходным данным:

$E_a = 250 \text{ В}$, $L = 0,01 \text{ м}$, $N = 1 \dots 3$, $\lambda := 5 \text{ см}$, $\lambda := 5,5 \text{ см}$,
и построить зависимость $E_{от} = f(N)$.

- 4.3 Произвести экспериментальные исследования по выявлению зон генерации ОК.
- 4.4 Произвести экспериментальные измерения по оценке полосы зон генерации .
- 4.5 Произвести экспериментальную оценку зависимости мощности генерации от номера зоны генерации.
- 4.6 Сравнить результаты предварительных расчётов с экспериментальными (по зонам генерации).
- 4.7 Составить таблицы результатов эксперимента , построить графики экспериментов и оформить отчёт по работе с приведением выводов по ней.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.

- 5.1 При получении допуска к лабораторной работе под наблюдением ведущего занятия преподавателя или лаборанта включить сеть питания макета , при выключенном положении тумблера “Анод”. В течении минуты прогреть прибор.
- 5.2 Исследовать наличие и параметры зон генерации. Для этого :
 - установить длину волны резонатора клистрона $\lambda := 5,5 \text{ см}$;
 - подключить к клеммам $U_{от}$ внешний вольтметр, установив на нём диапазон шкалы измерений не менее 1200 В в режиме постоянного напряжения ;
 - ручки регулировок напряжений на отражателе клистрона “ $U_{от}$ ” и ”Подстройка” установить в положение максимумов (крайние правые положения);
 - положение регулировки “Шунт” - в среднем положении;
 - включить тумблер “Анод”;
 - регуляторами “ $U_{от}$ ” и ”Подстройка” , постепенно снижая напряжение на отражателе, добиться максимума показания прибора “Индикатор”, используя регулятор “Шунт”; зафиксировать значение $E_{от1}$ в точке максимума зоны генерации: $E_{от} = U_{от1} - 250 \text{ В}$;
 - вновь снижая $U_{от}$ регуляторами “ $U_{от}$ ” и ”Подстройка” , применяя предыдущую методику , зафиксировать следующую зону генерации и значение $E_{от2}$ для неё;
 - зафиксировать следующую зону генерации и $E_{от3}$;
- 5.3 Изменить значение длины волны : $\lambda = 5 \text{ см}$ и повторить измерения п.5.2.
- 5.4 Измерение полосы частот зоны генерации.
 - установить вновь $\lambda := 5,5 \text{ см}$ и обеспечить условия максимума генерации в первой зоне ($U_{от1}$), используя методику п.5.2

- меняя длину волны настройкой резонатора , снизить показания “Индикатора” до уровня 0,5 от максимума , зафиксировав величину расстройки $\Delta\lambda_1$ - влево и $\Delta\lambda_2$ - вправо от максимума зоны генерации; по величине $\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = \Delta\lambda_0$ вычислить ширину полосы зоны генерации Δf_0 и относительную полосу зоны генерации $\frac{\Delta f_0}{f_0}$ ($f_0 = \frac{c}{\lambda}$).
- вновь обеспечить условия максимума генерации в первой зоне для $\lambda := 5,5$ см ;
- меняя $U_{от}$ регуляторами “ $U_{от}$ ” и ”Подстройка” , снизить показания “Индикатора” до уровня 0,5 от максимума , зафиксировать величину $\Delta U_{от1} + \Delta U_{от2} := \Delta U_{от}$ при расстройках влево и вправо от максимума зоны генерации; определить относительную полосу зоны $\frac{\Delta U_{от}}{U_{от1}}$ и сравнить это значение с $\frac{\Delta f_0}{f_0}$.

5.5 Повторить измерения п.5.4 для другой зоны генерации $\lambda := 5,5$ см

5.6 Повторить измерения п.5.4 и п.5.5 для $\lambda := 5$ см .

5.7 Измерение мощности генерации в различных зонах.

Для $\lambda := 5,5$ см для одной и той же чувствительности “Индикатора” зафиксировать показания “Индикатора” в максимумах каждой зоны генерации P_N . Повторить то же для $\lambda := 5$ см .

5.8 Оформить результаты эксперимента в форме таблиц , графиков

зависимостей $E_{от}$, $\frac{\Delta f_0}{f_0}$, $\frac{\Delta U_{от}}{U_{от}}$, P_N от номера N зоны генерации.

Сравнить результаты экспериментальных измерений с результатами предварительных расчётов.

Отчёт должен содержать :

Цель работы, схему включения клистрона , предварительный расчёт , результаты эксперимента в указанной выше форме , результаты сравнения расчётов и эксперимента , выводы по результатам работы.

6. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1 А.И. Логвин , В.Д. Рубцов . Электронные приборы СВЧ – диапазона . РИО МИИГА, 1982, с. 22...26.

6.2 Андрушко Л.М. , Бурмистенко В.И. Электронные и квантовые приборы СВЧ. –М.: Связь,1974, с 222.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Поясните назначение отражательного электрода в клистроне.
- 7.2. При каких условиях отраженные электроны поддерживают колебания в резонаторе клистрона?
- 7.3. Как возникают зоны генерации? Каким образом их можно выделять?
- 7.4. Чем определяется длина волны колебаний в клистроне?
- 7.5. Можно ли менять частоту генерации клистрона, меняя напряжения на отражательном электроде?
- 7.6. Для каких целей применяются отражательные клистроны в радиоаппаратуре?
- 7.7. Поясните принцип работы отражательного клистрона как автогенератора СВЧ-колебаний.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра радиотехнических устройств

Отчет защищен
Преподаватель

(степень, звание, ф.и.о.)

(подпись, дата)

Название лабораторной работы
Отчет о лабораторной работе по дисциплине
«Формирование и передача сигналов»

Работу выполнил
студент группы РСЗ –

(ф.и.о.)

(подпись, дата)

Москва – 2006 год

ОПИСАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Установка содержит блоки задающих генераторов (в левой части): генератор прямоугольных импульсов (ГПИ), генератор низкой частоты (ГНЧ), генератор высокой частоты (ГВЧ); блоки измерительных приборов (в правой части) : ампервольтметр (АВМ1), ампервольтметр (АВМ2) , ампервольтметр (АВО), милливольтметр (МВ), частотомер (ЧМ), измеритель выхода (ИВ); блоки питания (в нижней части).

Блоки питания содержат: источник постоянного напряжения (генератор напряжения ГН1), источник постоянного напряжения (генератор ГН2), источник постоянного напряжения (генератор ГН3), источник постоянного тока (генератор ГТ), источник переменного напряжения (ИП).

ЗАДАЮЩИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

ГПИ вырабатывает прямоугольные видеоимпульсы с амплитудой 3 В в диапазоне частот повторений 20 Гц...100 кГц и расположен в левой части установки сверху. Представляет собой преобразователь синусоидального напряжения , поступающего от ГНЧ, в прямоугольные импульсы. Имеет регулировки «длительность», «амплитуда», и переключатель диапазонов частот «100 Гц – 1 кГц – 10 кГц – 100 кГц », выходные клеммы для снятия импульсов положительной и отрицательной полярности.

ГНЧ выполнен по двухкаскадной схеме генератора с мостом Вина в цепи положительной обратной связи и расположен посередине левой части стенда. Имеет регулировки «частота», «амплитуда», переключатель диапазонов частот «100 Гц – 1 кГц – 10 кГц – 1000 кГц », выходные клеммы с коэффициентами деления напряжения выхода «1 : 1, 1 : 10, 1 : 100». Генератор вырабатывает колебания синусоидальной формы в диапазоне частот 20 Гц ... 100 кГц с выходным эффективным напряжением до 0,5 В.

ГВЧ состоит из двух высокочастотных генераторов: основного и вспомогательного (гетеродина). Расположен слева, внизу стенда. Напряжение основного генератора может модулироваться по амплитуде сигналом, поступающим от ГНЧ. Имеет регулировки «частота», «амплитуда», «глубина модуляции», и «гетеродин». На выходные клеммы подаются : сигнал гетеродина «Гет», генератора напряжения «ГН», основного генератора в режиме генератора тока «ГТ». Оба генератора вырабатывают синусоидальные напряжения с эффективным значением напряжения до 0,3 В в диапазоне частот от 380 до 1 МГц.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

АВМ1 и АВО имеют общий стрелочный прибор, переключаемый при работе с выход АВМ1 на выход АВО переключателем «АВО1 - АВО». Расположены в верхней части правой стороны стенда. АВМ1 используется для измерения постоянных токов и напряжений с пределами измерений 0...25 В и 0 ... 100 мА, Аво предназначен для измерений малых напряжений, токов и активных сопротивлений с пределами измерений 0 ...5 В, 0...1 мА, 0... 100 кОм.

АВМ2 и МВ имеют общий стрелочный прибор, переключаемый при работе с выхода АВМ2 на выход МВ переключателем «АВМ2 – МВ». Расположены в средней части правой стороны стенда.. АВМ2 используется для измерений постоянных токов и напряжений с пределами измерений 0 ...100 В, 0...50 мА. МВ предназначен для измерений как малых, так и больших постоянных напряжений с пределами измерения 0...500 мВ, 0...250 В.

ЧМ и ИВ имеют общий стрелочный прибор, переключаемый при работе с выхода ЧМ на выход ИВ переключателем «ЧМ – ИВ». Расположен в нижней части правой стороны стенда. ЧМ измеряет частоту в пределах от 0 до 100 кГц. ИВ измеряет выходные напряжения и токи: $I_{\text{вых}}$ ГТ (0...1 мА, 0...10 мА), U – (0...25 В), $U_{\text{вых}}$ - ГНЧ (0...1 В эфф.), $U_{\text{вых}}$ - ГВЧ (0...1 В эфф.), $f_{\text{ЧМ}}$ (0...100 кГц), U - ГН1 (0...1 В, 0...10 В), U - ГН2 (0...25 В), U – ИП (0...25 В эфф.) U – ГН3 (0...10 В). ИВ ко всем источникам подключен внутри стенда и навесных соединений не требует.

БЛОКИ ПИТАНИЯ

Расположены в нижней центральной части стенда и содержат: стабилизированный выпрямитель на 15 В, выпрямитель на 15 В, выпрямитель на 25 В, стабилизированный выпрямитель ГН2, выпрямители ГТ, ГН1, ГН3 и источник питания ИП. Имеют пределы регулирования: ГН1 (+0, 5...- 7 В), ГН2 (1,0...- 15 В), ГН3 (0...100 В), ГТ (0...10 мА), ИП (15 В \pm 15 %).

На передней панели блока питания имеются тумблеры включения: «ГПИ», «ГНЧ», «ГВЧ», «ИП», «АВО», «МВ», «ЧМ», «Сеть», а также регулировки: ГТ – «ГРУБО» и «ТОЧНО», ГН1 - «ГРУБО» и «ТОЧНО», ГН2 – «ГРУБО» и «ТОЧНО», ГН3.

Кроме того на передней панели дополнительно введен тумблер «6,3 В» для включения подогрева транзисторов в лабораторной работе по исследованию автогенераторов. При этом клеммы «подогрев» расположены слева в верхней части блока ГВЧ. На передней панели имеется регулировка « $U_{\text{вар}}$ », с помощью которой изменяется напряжение, подаваемое на варикап при выполнении работы по исследованию частотной модуляции.

Электропитание стенда осуществляется от сети переменного тока 50 Гц, 220 В, причем нормально работать стенд может при отклонении напряжения сети в пределах 10%. Мощность, потребляемая от сети, не более 50 ВА.

КОМПЛЕКТУЮЩИЕ ИЗДЕЛИЯ

Комплектуемые изделия (транзисторы, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т.д.) выполнены в специальных корпусах, которые включаются в исследуемую схему, которая, в свою очередь, устанавливается на лицевую панель наборного поля. Состав комплекта деталей указан в каждой лабораторной работе. В комплект входят также соединительные провода. При выполнении работ студент может самостоятельно набрать схему с соответствующими деталями комплекта.

СОДЕРЖАНИЕ

-
1. Лабораторная работа № 1. Формирование колебаний с различными видами модуляции и исследование их спектров.
 2. Лабораторная работа № 2. Исследование кодирования сообщений на основе линейных разделимых кодов с поверочными символами.
 3. Лабораторная работа № 3. Исследование режимов работы генератора с внешним возбуждением.
 4. Лабораторная работа № 4. Влияние внешних факторов на стабильность частоты колебаний автогенератора.
 5. Лабораторная работа № 5. Исследование амплитудной модуляции.
 6. Лабораторная работа № 6. Исследование частотной модуляции.
 8. Лабораторная работа № 7. Исследование отражательного клистрона.
 10. Приложения