

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 сп. 160905)

Москва – 2011г.

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, 2011. с. 32

Данное пособие издаются в соответствии с учебным планом для студентов III курса дневной и IV курса заочной форм обучения специальности 160905.

Рассмотрены и одобрены на заседаниях кафедры РТУ 28.10.10г. 2010г. и Методического совета по специальности 15.11. 10г.

ВВОДНЫЕ УКАЗАНИЯ

Пособие по дисциплине «Формирование и передача сигналов» содержит описания шести лабораторных работ, выполняемых как на специальных лабораторных стендах, так и на специальных установках и ПЭВМ.

Этот цикл работ охватывает следующие разделы дисциплины:

1. Спектральная теория сигналов.
2. Теория кодирования.
3. Генераторы с внешним возбуждением.
4. Возбуждение колебаний.
5. Модуляция.

Студенты должны строго следовать методике выполнения работы во избежании поломок макетов и предотвращения нарушения требований охраны труда.

Перед выполнением каждой работы студенты опрашиваются преподавателем с целью определения степени их подготовки к работе, которая включает: знание содержания выполняемой работы, основные теоретические сведения по теме работы, какие зависимости должны быть получены в процессе исследований. При обнаружении недостаточной подготовленности студент не допускается к работе.

При окончании измерений бригада студентов представляет преподавателю черновой протокол исследований и при удовлетворительных результатах получает разрешение на оформление отчёта по работе, который должен быть защищён до выполнения следующей работы. 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 (Приложение 1). 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 или на тетрадных двойных страницах (в клетку). Графические зависимости следует представлять на миллиметровке или на подобных материалах.

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

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Формирование радиосигналов с различными видами модуляции и исследование их спектров

Цель работы. С помощью стандартной аппаратуры (генераторов колебаний, спектроанализатора) формируются колебания с амплитудной, частотной и импульсной модуляцией и на основе изменения параметров спектров определяются параметры модуляции.

1. 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 амплитудной модуляции 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 избежание перемодуляции.

Очевидно, что полоса частот Π , 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 $m_q = \Delta f_d / F$ 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 $2\Delta f_{\text{д}}$.

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, амплитуды модулирующего сигнала задаются исследователем

Лабораторная установка состоит из модулятора – генератора звуковых частот (ЗГ), 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 СЧ-60 на своём экране представляет спектр модулированного колебания. Схема установки представлена на рис.1.

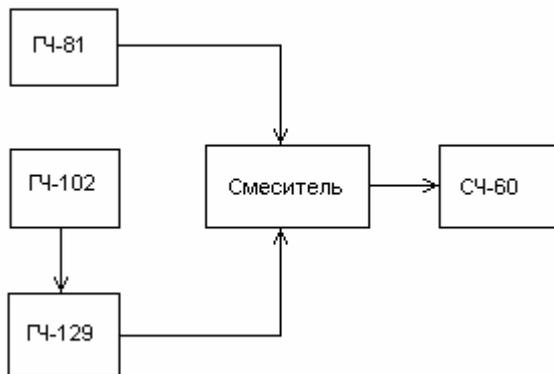


Рис. 1

2. Методические указания к выполнению работы

2.1. 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.

2.2. Установить режим амплитудной модуляции и исследовать изменения параметров спектра АМ при разных частотах 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.

2.3. 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 $m_{\text{ч}}$. Результаты измерений и вычислений занести в протокол работы. Отдельно провести измерения для $m_{\text{ч}} \ll 1$.

2.4. 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.

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

Литература.

1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. Учеб. для вузов, М.: Транспорт, 1998, с. 31...48.
2. Логвин А.И. Методы формирования сигналов. М.: РИО МИИГА, 1993, с. 39...40, 44...47, 48...51.

Контрольные вопросы

1. Изобразите временную форму амплитудно-модулированного колебания.
2. Изобразите спектральную формы АМ-сигнала.
3. Чем определяется и чему равна полоса частот АМ – сигнала?

4. Как рассчитать коэффициент амплитудной модуляции на основе параметров спектра АМ-сигнала..
5. Изобразите временную форму частотно-модулированного сигнала.
6. Изобразите форму спектра ЧМ-сигнала.
7. Как рассчитывается полоса спектра ЧМ-сигнала? Как её определить по виду спектра на экране спектроанализатора?
8. Чему равна полоса спектра ЧМ-сигнала при малых и больших индексах модуляции?
9. Определите индекс ЧМ.
10. Изобразите временную форму сигнала при импульсной модуляции.
11. Изобразите форму спектра при импульсной модуляции.
12. Как определяется полоса частот для ИМ, как она связана с длительностью импульса?
13. Как на основе параметров спектра ИМ определить длительность импульса?

Лабораторная работа № 2.

Исследование кодирования сообщений на основе линейных разделимых кодов с проверочными символами

Цель работы. Изучение процесса формирования линейных разделимых кодов с проверочными символами и методики обнаружения и исправления ошибок на их основе.

1. 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 разделимым 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:

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

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 информационных символов, 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 исказился при передаче, искажению же подвергся символ a_0 . Вот его и надо исправить на противоположный принятому. Поэтому рассматриваемые коды и называются обнаруживающими и исправляющими ошибки, корректирующими.

2. Содержание работы.

Работа выполняется на основе компьютерной программы, обозначенной как <Дивеев> <coder4.exe>. Последовательность действий обозначена в самой программе. Сначала надо по представленной таблице из 16 слов сформировать проверочные 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.

Литература.

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

Контрольные вопросы

1. Почему код называется разделимым, линейным?
2. Как формируются поверочные символы при передаче и приеме?
3. Что такое сложение по модулю?
4. В чем состоит методика обнаружения ошибок?
5. В чем состоит методика исправления ошибок?
6. Объясните логику поиска и исправления ошибок при составлении протоколов в вашей работе (по каждому из слов).

Лабораторная работа №3

Исследование режимов колебаний 1 и 2 рода в ГВВ.

Цель работы Исследование линейного (1рода) режима работы ГВВ и режима работы ГВВ с отсечкой коллекторного тока (2 рода).

Измерения и расчеты энергетических параметров электронного режима ГВВ в зависимости от частоты возбуждения .

1.Основные теоретические сведения.

Электронный режим работы генератора с внешним возбуждением (ГВВ) может быть установлен так, чтобы форма переменной составляющей тока коллектора $I_{к1}$ полностью повторяла форму напряжения возбуждения. Этот

режим является, следовательно, линейным режимом работы ГВВ или режимом 1го рода. В этом режиме приходится устанавливать значительную величину постоянной составляющей тока коллектор $I_{к0}$, относительно которой колеблется переменная составляющая. Вследствие постоянного наличия $I_{к0}$ потребляемая от источника питания мощность $P_0 = E \cdot I_{к0}$ оказывается значительной, существенно превышающей полезную мощность колебания (на частоте возбуждения) $P_1 = I_{к1} \cdot U_{к1}/2 = I_{к1}^2 \cdot R_{о\epsilon}/2 = I_{конт}^2 \cdot R_k/2$, где $U_{к1}$ – амплитуда напряжения на контуре (нагрузке) ГВВ, $R_{о\epsilon}$ – эквивалентное сопротивление нагрузки (контур), $I_{конт}$ – амплитуда контурного тока, R_k – сопротивление активных потерь контура.

Речь идет о нагрузке ГВВ в виде параллельного колебательного контура, настроенного на частоту возбуждения f_b , т.е. контур настроен на первую гармонику напряжения возбуждения, индекс $k1$ у токов и напряжении говорит именно о первой гармонике. Так как $P_1 < P_0$ существенно, то КПД этого режима $\eta = P_1/P_0$ сравнительно невелик, порядка 25%. Поэтому режим 1-го рода используется либо при маломощном выходном каскаде передатчика, либо в промежуточных каскадах передатчиков, когда не требуется большого КПД, но требуется линейность работы каскада усиления.

Режим колебания 2-го рода не требует линейности, поэтому форма переменной составляющей $I_{к1}$ не повторяет форму напряжения возбуждения и имеет вид усеченных косинусоидальных импульсов, рис 1.

На рисунке показаны параметры тока коллектора: $I_{к0}$, $I_{к\max}$, 2Θ . Параметр Θ именуется углом отсечки тока коллектора, его величину можно устанавливать нужной, добиваясь как достаточного значения P_1 , так и большого КПД. Ток $I_{к1}$ является первой гармоникой периодической последовательности импульсов тока, которая выделяется контуром-фильтром ГВВ как и в линейном режиме. Электронный режим с отсечкой I_k устанавливается напряжением смещения на базе транзистора и величиной амплитуды напряжения возбуждения U_b . Часто используемой величиной угла отсечки Θ является $70^\circ \dots 120^\circ$, в среднем – 90° , что удобно технически и обеспечивает достаточно большие P_1 и КПД.

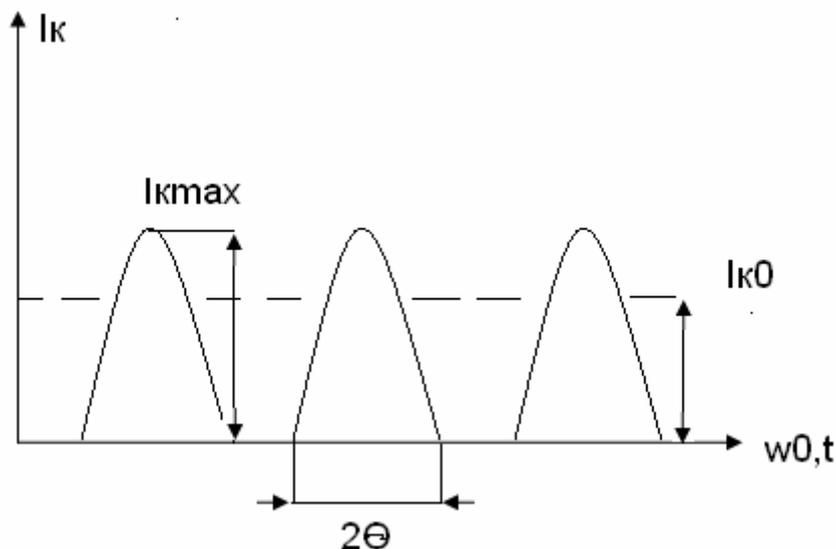


Рис1.

Следует отметить, что в линейном режиме (1-рода) угол $\Theta=180$, что соответствует половине периода синусоиды (косинусоиды).

При расстройке между частотой резонанса контура и частотой возбуждения величина модуля эквивалентного сопротивления контура уменьшается, что приводит к спаду величины коэффициента усиления ГВВ, а следовательно, и к спаду полезной мощности P_1 . При этом (при неизменной амплитуде U_B) ток I_{k0} меняется мало, а следовательно, расстройка приводит к уменьшению и КПД. Величина КПД в режиме отсечки, как правило, оказывается заметно большей, чем в линейном режиме. Поэтому режим колебаний 2-го рода часто используется в оконечных, наиболее мощных каскадах передатчиков. Высшие гармоники импульсного тока коллектора при этом должны быть существенно подавлены путем выбора достаточной добротности контура-фильтра. Кроме величины P_1 и P_0 , нужно учитывать мощность, рассеиваемую на коллекторе $P_k = P_0 - P_1$.

В заключении этого раздела приведем соотношение, связывающее угол отсечки с величинами напряжения смещения на базе транзистора E_6 и амплитудой напряжения возбуждения U_B :

$$\cos \Theta = (E_{60} - E_6) / U_B. \quad (1)$$

Величина E_{60} в (1) - это напряжение на базе, при котором ток базы равен 0.

2. Программа выполнения исследований

2.1. Исследовать поведение токов I_{k0} , $I_{конт}$, U_k в режиме колебаний 1-го рода при расстройке частот возбуждения от частоты резонанса контура. На основе измерений указанных параметров рассчитать величины P_1 , P_0 , P_k , η для каждой величины расстройки.

2.2. Выполнить исследования подобные 2.1 для режима колебаний 2-го рода.

2.3. Заполнить таблицы измерений, таблицы расчетов и построить график зависимости P_1 , P_0 , P_k , η от величины частоты расстройки. Сравнить полученные результаты.

3. Описание лабораторного стенда

Стенд предназначен для исследования резонансного усилителя мощности на биполярном транзисторе КТ602. На лицевой панели стенда приведена его упрощенная схема и необходимые вспомогательные элементы. Любая из исследуемых схем может быть построена подключением к выводам транзистора соответствующих пассивных элементов с помощью переключателей $S1 \dots S5$.

Стенд, наряду с исследуемым устройством, включает в себя генератор сигнала возбуждения и мультиметр, позволяющий измерять токи и напряжения в контрольных точках схемы исследуемых устройств-усилителей.

При измерении переменных токов и напряжений выводятся их **действующие** значения (не амплитуды).

Подключение мультиметра к контрольной точке осуществляется с помощью кнопок под жидкокристаллическим дисплеем (ЖКД), отображающим измеряемую величину и ее значение.

Средняя кнопка предназначена для выделения информации, относящейся к выполняемой части лабораторной работы. Левая и правая кнопки позволяют «перелистывать» страницы дисплея назад и вперед в пределах этой части.

Генератор входного сигнала возбуждения создает синусоидальный сигнал, частота которого может дискретно изменяться с шагом в 1 кГц в диапазоне 170...230 кГц с помощью кнопок, расположенных на лицевой панели стенда. Амплитуда сигнала U_B плавно регулируется соответствующим аттенюатором. Регулировка базового смещения осуществляется потенциометром E_6 .

Управление переключателями $S1 \dots S5$ осуществляется с помощью кнопок управления, расположенных в нижней части лицевой панели стенда, однократным нажатием на кнопку и удержанием ее в течение 0,5 с. Текущее положение любого переключателя индицируется зажиганием соответствующего светодиода.

В стенде предусмотрена возможность подключения осциллографа (в т.ч. двухлучевого) к необходимым контрольным точкам с помощью разъемов, отведенным на заднюю панель стенда. При этом кнопками управления каждый канал осциллографа может независимо подключаться к любой контрольной точке.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Установить ручки всех потенциометров стенда в крайнее левое (нулевое) положение. Ознакомиться с расположением органов управления стендом и включить (по разрешению преподавателя) стенд для прогрева. Подключить осциллограф к разъему и включить его в работу.

На экране ЖКД должна появиться надпись, указывающая на работоспособность мультиметра, а на светодиодном индикаторе установки частоты генератора возбуждения высветится текущее значение частоты. Перед началом работы, нажимая кнопки клавиатуры, изучить последовательность вывода информации на экран ЖКД.

4.2. Исследовать характеристики колебаний ГВВ 1-го рода (линейный режим).

Для этого: установить S1 в положение 1, S2- в положение 1- простая схема выхода. Установить $E_6 = 1,13В$, $U_6 = 0,19В$. По осциллографу наблюдать форму тока коллектора I_k , которая должна быть синусоидальной. При необходимости слегка подрегулировать E_6 и U_6 , добиваясь строго синусоидальной формы I_k . Зафиксировать в протоколе эти данные. Меняя частоту возбуждения, добиться максимального значения напряжения U_k на контуре (настройка в резонанс).

Зафиксировать значение частоты резонанса $f_{рез}$ в протоколе (примерно 205 кГц).

Меняя частоту генератора возбуждения в пределах 170-230 кГц с шагом 5 кГц, фиксировать по мультиметру значения I_{k0} , $I_{конт}$, U_k и занести результаты в табл.1. Следует иметь в виду, что при показаниях мультиметра для I_{k0} в форме :5, считать 105, при ;5, считать 115, при <5, считать 125, при =5, считать 135 и т.д.

Таблица 1

$\Theta=180,$	$U_6 =$	$E_6 =$	$f_{рез} =$
f, кГц	I_{k0}, mA	$I_{конт}, mA$	$U_k, В$

По данным табл. 1 рассчитать.

$P_1 = I_{конт}^2 \cdot R_k$, $P_0 = E_k \cdot I_{k0}$, $P_k = P_0 - P_1$, $\eta = P_1/P_0$, полагая $R_k = 30 \text{ Ом}$, $E_k = 11В$.

Примечание: При занесении в таблицы величин и в расчетах следует обращать внимание на порядки величин: вольты, миллиамперы, ватты, милливольты и т.д., чтобы не ошибиться в порядках величин.

Результаты расчетов занести в табл. 2.

Таблица 2

f, кГц	P_1	P_0	$P_k, В$	η
--------	-------	-------	----------	--------

По данным табл. 2. построить графики зависимостей :

$$P_1 = \varphi(f), P_0 = \varphi(f), P_k = \varphi(f), \eta = \varphi(f).$$

4.3. Исследовать характеристики режима колебаний 2-рода (нелинейный режим).

Для этого: установить S1 - в 1, S2 - в 1. Установить $E_6=0,65V$, $U_6=0,35V$, частоту генератора возбуждения $f_{зг} = f_{рез}$.

По осциллографу наблюдать форму тока коллектора I_k , которая должна иметь форму косинусоидального импульса длительностью в **половину периода** синусоиды. При необходимости слегка подрегулировать E_6 и U_6 , добиваясь требуемой формы импульсов тока I_k . Зафиксировать величины E_6 и U_6 , что будет соответствовать углу отсечки $\Theta = 90^\circ$.

Проверить U_k на максимальное значение, добиваясь резонанса, слегка меняя частоту генератора возбуждения. Зафиксировать в протоколе эту частоту при $U_{kмакс}$.

Далее повторить измерения, аналогичные 4.2. в части измерения параметров, построения таблиц и графиков. При этом следует иметь в виду, что величина η для $\Theta = 90^\circ$ должна быть выше, чем при $\Theta = 180^\circ$.

4.4. Результаты исследований представить преподавателю и при их одобрении оформить отчет по работе.

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- исследуемую схему ГВВ;
- таблицы измерения и расчетов по п. 4.2, 4.3;
- графики требуемых зависимостей, выводы по работе.

Литература

1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. –М.: Транспорт, 1998, с. 102...113.
2. Радиопередающие устройства. Под ред. В.В. Шахгильдяна. –М.: Радио и связь, 2003.

Контрольные вопросы

1. Составьте схему ГВВ с последовательным питанием.
2. Составьте схему ГВВ с параллельным питанием.
3. Почему в режиме 1-го рода невелико значение КПД ГВВ?
4. В каких случаях следует использовать режим 1-го рода?
5. Что такое угол отсечки тока коллектора?
6. Какими мероприятиями устанавливается величина угла отсечки?
7. Что такое коэффициенты Берга?
8. Какой элемент схемы ГВВ обеспечивает выделение первой гармоники тока коллектора?
9. В чём состоит сущность оптимизации режима работы ГВВ?

10. Почему при расстройке частоты резонанса колебательного контура ГВВ от частоты возбуждения наблюдается падение полезной мощности и КПД?

Лабораторная работа №4

Исследование стабильности частоты автогенераторов гармонических колебаний.

Цель работы. Исследование стабильности частоты автогенераторов, собранных по разным схемам, при воздействии ряда внешних факторов: процесса выбега, температуры, питающих напряжений.

1. Основные теоретические положения.

Стабильность частоты автогенератора является его основным качественным показателем. Этот показатель существенно зависит от многих внешних воздействий, которые именуется 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.

В данной работе исследуются две схемы автогенераторов: емкостная трехточечная схема АГ без кварцевой стабилизации и схема АГ с кварцевой стабилизацией при включении кварцевого резонатора между коллектором и базой транзистора (аналог емкостной трехточки).

2. Содержание работы

2.1. Исследование обычной емкостной трехточечной схемы АГ в процессе выбега, изменений температуры и изменения питающего напряжения. Результатом исследования является оценка абсолютной и относительной нестабильности частоты АГ.

2.2. Исследование АГ с кварцевой стабилизацией частоты при включении кварцевого резонатора между коллектором и базой транзистора. Результатом исследования являются параметры, указанные в 2.1

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд предназначен для изучения основных характеристик автогенератора, выполненного по емкостной трехточечной схеме, и кварцевых автогенераторов с кварцевым резонатором (КвР), включаемым между коллектором и базой, между базой и эмитером и с КвР в цепи обратной связи. Возможности стенда позволяют также произвести оценку нестабильности частоты каждого из АГ и исследовать прямой метод формирования радиосигнала с частотной модуляцией (ЛР № 6).

Лицевая панель стенда включает изображение его упрощенной схемы и необходимые вспомогательные элементы, служащие для установки типа схемы АГ, установки режимов работы, отображения параметров режимов и сигналов. Любая из исследуемых схем АГ может быть собрана с помощью электронных ключей, управление которыми осуществляется кнопками «ТИП СХЕМЫ», расположенными в нижней части лицевой панели, путём однократного нажатия кнопки и удержания её в течение 0,2 с. Состояние ключей индицируется соответствующими светодиодами.

Измерение и отображение параметров колебаний в контрольных точках схем осуществляется мультиметром, который измеряет токи, напряжения, частоту колебаний и отображает их значения на дисплее. При измерении переменных токов и напряжений выводятся их **амплитудные** значения. Измерение температуры производится в градусах Цельсия.

Подключение мультиметра к необходимой контрольной точке производится кнопками, расположенными под жидкокристаллическим дисплеем, отображающим измеренную величину и ее значение.

Левая и правая кнопки позволяют перелистывать страницы дисплея назад и вперед. Средняя кнопка используется для запуска встроенного частотомера.

Регулировка базового смещения, напряжения коллекторного питания и управляющего напряжения осуществляется с помощью потенциометров $E_{см}$, $E_{к}$, $E_{упр}$.

В стенде предусмотрена возможность подключения осциллографа (однолучевого или двухлучевого) к контрольным точкам с помощью двух разъемов на задней панели стенда. В канал 1 подается колебание, пропорциональное переменной составляющей коллекторного напряжения, а в канал 2 – напряжение на эмиттере. Включение стенда производится выключателем СЕТЬ в верхнем левом углу лицевой панели.

4. Методика выполнения работы

4.1. Ознакомиться с схемой стенда, расположением переключателей, ручек управления и разъемов. Не включая стенд, подключить осциллограф к разъему 1, убедившись в его работе.

Ручки всех потенциометров стенда установить в крайнее левое (нулевое) положение. Приготовить для проведения эксперимента часы (свои или часы мобильного телефона).

4.2. Включить стенд и поставить переключатель «ТИП СХЕМЫ» в положение 5 (емкостная трехточка по схеме общим эмиттером), нажав соответствующую кнопку.

4.3. Исследование процесса выбега частоты, т.е. процесса прогрева схемы и установления стабильного режима работы.

Коллекторное напряжение $E_{к}$ установить 8В, $E_{см} = 2В$. Переключатель «ЗАДЕРЖКА» - в положение 0, время усреднения частоты τ установить, равным 1 с. Эквивалентное сопротивление контура $R_{эк}$ установить максимальным ($R_{э1}$, $R_{э2}$, $C_{э1}$, $C_{э2}$ выключены).

С момента установки $E_{к}=8В$ через каждые полминуты снимать показания частоты на дисплее, результаты свести в табл. 1. При этом наблюдать наличие колебаний по осциллографу.

Для получения каждого нового значения частоты необходимо каждый раз перезапускать частотомер.

Таблица 1.

t, мин.	0,5	1	1,5		
$f, кГц$						
$\Delta f, Гц$						
$\Delta f / f_n$						

Эксперимент продолжить до тех пор пока значение частоты f практически застabilизируется. Это стабильное значение частоты принять за номинальное – f_n .

В табл. 1: $\Delta f = |f - f_n|$. Построить график зависимости. $\Delta f / f_n = \varphi(t, мин)$

4.4. Снять зависимость относительной нестабильности частоты от величины напряжения $E_{к}$. Для этого снижать величину $E_{к}$ от 8В до 0 через

0,5В. Отметить точку срыва колебаний. Результаты эксперимента свести в табл. 2.

Таблица 2.

Ек, В	8	7,5	7	6,5	.....
f, кГц.						
Δf , Гц						
$\Delta f / f_n$						

Построить график зависимости $\Delta f / f_n = \varphi(E_k)$

4.5. Снять зависимость относительной нестабильности от температуры. Для этого вновь установить $E_k=8В$. Меняя значения температуры от 60° до 25° через 5° , снимать показания частотомера. Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

T^0 , гр.	60	55	50	45	.....	25
f, кГц.						
Δf , Гц						
$\Delta f / f_n$						

Построить график зависимости $\Delta f / f_n = \varphi(T^0)$

4.6. Переключатель типа схемы АГ установить в положение 1 (схема АГ с кварцем между базой и коллектором). Установить $E_{упр} = 0$, эквивалентное сопротивление контура $R_{\Sigma 1}$ - максимально (кнопки R_{H1} , R_{H2} и ключи S7, S8 - разомкнуты), τ - в положении 0.

4.7. Провести эксперименты, аналогичные 4.3, 4.4, 4.5, для данной схемы АГ с кварцевой стабилизацией частоты. При этом время усреднения установить $\tau = 10$ с (вследствие малых значений Δf).

После окончания экспериментов убедиться, что кнопки нагрева выключены. Представить протоколы экспериментов преподавателю и по его одобрению оформить отчет, который должен содержать: титульный лист, цель работы, схемы исследуемых АГ (составить их по схеме соединений на лицевой панели стенда), наименование пунктов работы, соответствующие им таблицы, графики, выводы по работе.

Литература

- 1.Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. –М.: Транспорт, 1998г. с. 81...96
- 2.Радиопередающие устройства. Под ред. В.В. Шахгильдяна, -М.: Радио и связь, 2003г.

3. Дивеев В.Н. Формирование и передача сигналов. Пособие для выполнения лабораторных работ. МГТУ ГА, 2006г.

Контрольные вопросы

1. Что такое автогенератор?
2. Изложите суть условия стационарных колебаний автогенератора.
3. Что такое – баланс амплитуд в автогенераторе?
4. Что такое баланс фаз в автогенераторе?
5. Какими параметрами оценивается величина стабильности частоты автогенератора?
6. Что такое фиксирующая способность частоты автогенератора и чем она определяется?
7. Что такое эталонность частоты автогенератора и как она определяется?
8. Изобразите эквивалентную электрическую схему кварцевого резонатора.
9. Приведите оценку величин элементов эквивалентной электрической схемы кварцевого резонатора.
10. Поясните за счёт каких причин высока стабильность частоты у кварцевых автогенераторов.
11. Изобразите трёхточечную эквивалентную схему автогенератора.
12. Какие типы трёхточек имеют место в схемотехнике автогенераторов?

Лабораторная работа № 5 Исследование процессов амплитудной модуляции в резонансном усилителе

- Цель работы.**
1. Изучение принципов построения и работы схем базовой и коллекторной амплитудной модуляции.
 2. Знакомство с методами определения основных качественных характеристик устройств формирования АМ – сигнала.
 3. Приобретение навыков исследования основных устройств и процессов амплитудной модуляции.

1. 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 – коэффициент модуляции. Вычислить коэффициент модуляции можно по эюре модулированных колебаний на экране осциллографа:

$$m = (U_{\text{макс}} - U_{\text{мин}}) / (U_{\text{макс}} + U_{\text{мин}}), \quad (2)$$

где $U_{\text{макс}}$ и $U_{\text{мин}}$ - максимальное и минимальное значения амплитуды модулированного колебания, рис. 1.

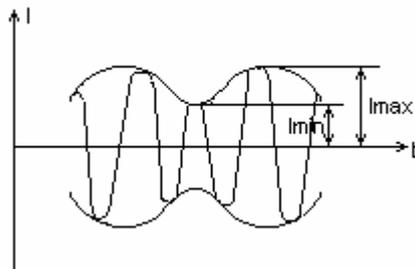


Рис. 1.

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 её часть, 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 Гц). 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 $m = 0,9$.

2. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд предназначен для исследования методов осуществления амплитудной модуляции в резонансном усилителе мощности (ГВВ), выполненном на биполярном транзисторе КТ602, с простой схемой входной цепи. Схема усилителя и необходимые вспомогательные элементы представлены на лицевой панели лабораторного стенда. Стенд позволяет исследовать базовую модуляцию смещением, коллекторную модуляцию и комбинированную коллекторную модуляцию с автоматической базовой модуляцией. В данной работе исследуются чисто базовая модуляция и чисто коллекторная модуляция.

Любая из исследуемых схем осуществления АМ может быть реализована подключением генератора модулирующего сигнала G1 к базовой (через модуляционный трансформатор) или к коллекторной цепи (через УНЧ в коллекторной цепи) транзисторного усилителя мощности с помощью переключателей S1 и S2. Напряжение возбуждения высокой частоты подаётся на базу усилителя мощности от генератора G2.

Стенд, наряду с усилителем мощности, генераторами G1(нч) и G2 (вч) включает также встроенный мультиметр – измеритель токов и напряжений в контрольных точках устройства, а также коэффициента модуляции выходного АМ-сигнала. При измерении переменных токов и напряжений выводятся **амплитудные** их значения. Мультиметр подключается к необходимым контрольным точкам схемы с помощью кнопок, расположенных под жидкокристаллическим дисплеем, отображающим измеряемую величину и её значение. Средняя кнопка предназначена для выделения информации, относящейся к выполняемому пункту лабораторной работы. Левая и правая кнопки позволяют «перелистывать» страницы дисплея назад и вперёд в пределах этого пункта.

Генератор модулирующего сигнала «ГЕНЕРАТОР G1» обеспечивает дискретное изменение частоты от 10 Гц до 8 кГц (16 значений) и плавную регулировку амплитуды модулирующего сигнала с помощью кнопок \blacktriangledown и \blacktriangledup и потенциометра плавной регулировки уровня \blacktriangleleft соответственно.

Генератор входного сигнала возбуждения формирует синусоидальный сигнал частоты 200 кГц, амплитуда которого плавно регулируется с помощью потенциометром «ГЕНЕРАТОР G2».

Регулировка базового смещения и напряжения коллекторного питания осуществляется с помощью потенциометров E_b и E_k .

Переключатели S1 и S2 управляются кнопками, расположенными в нижней части панели стенда, однократным нажатием на кнопку и удержанием её в течение 0,5 секунды. Текущее положение любого переключателя индицируется зажиганием соответствующего светодиода.

В стенде предусмотрена возможность подключения осциллографа (однолучевого или двухлучевого) к необходимым контрольным точкам с помощью соответствующих разъёмов, выведенных на заднюю панель стенда. При этом кнопками управления ▼ и ▼ («КАНАЛ 1» и «КАНАЛ 2») на каждый из каналов осциллографа можно выводить осциллограммы токов и напряжений, список которых приведён в поле «ОСЦИЛЛОГРАФ». Конкретный вид выводимого сигнала индицируется зажиганием соответствующего светодиода.

Включение и выключение питающей сети производится выключателем «СЕТЬ» в левом верхнем углу стенда.

Предупреждение! При пользовании регулировками, кнопками не производить неосознанных, бессмысленных их включений, регулировок. Следует контролировать любые действия студента, выполняющего тот или иной этап исследований. Берегите оборудование!

3. Порядок выполнения работы

Перед выполнением работы следует изучить рекомендованную литературу, а также материалы лекций по теме работы, что является основанием для допуска к работе. При получении допуска начать выполнение этапов исследований.

Подготовительный этап

Ознакомиться с расположением органов управления стендом, со схемой стенда и до его включения в сеть питания поставить потенциометры, регулирующие уровни напряжений смещения E_6 , коллекторного питания E_k , модулирующего сигнала U_Ω (от G1) и сигнала возбуждения U_6 (от G2) в крайние левые положения, т.е. на минимум. По разрешению ведущего занятия включить стенд для прогрева и подключить осциллограф (к любому из каналов). На экране дисплея (ЖКД) должна появиться надпись подтверждения работоспособности встроенного мультиметра, а на светодиодном индикаторе установки частоты модулирующего сигнала высветится текущее значение частоты. Перед началом работы, нажимая кнопки клавиатуры мультиметра (под ЖКД), следует изучить последовательность вывода информации на экран ЖКД.

3.1. Исследование базовой модуляции

Собрать схему базовой модуляции смещением, поставив переключатели S1 и S2 в положение 1.

3.1.1. Снять статическую модуляционную характеристику (СМХ), т.е зависимости $I_{\text{конт}} = f(E_6)$, $I_{k0} = f(E_6)$.

Для этого:

- сначала установить $E_k = 10,5\text{В}$, $U_6 = 0,5 \dots 0,6\text{В}$,

- напряжение смещения базы E_{δ} далее изменять в пределах $0,1 \dots 1,0$ В с шагом в $0,1$ В. **Наблюдать в процессе эксперимента форму колебаний на экране осциллографа (это касается и всех других этапов работы).** Результаты измерений свести в табл. 1.

Таблица 1

E_{δ} , В	0,1	0,2	.....1,0
$I_{\text{конт}}$, мА			
$I_{\text{к0}}$, мА			

Построить графики $I_{\text{конт}} = f(E_{\delta})$, $I_{\text{к0}} = f(E_{\delta})$, на которых (практически на графике $I_{\text{конт}} = f(E_{\delta})$) выбрать точку режима несущей $E_{\text{бн}}$ посередине линейного участка графика $I_{\text{конт}} = f(E_{\delta})$. Записать это значение $E_{\text{бн}}$ в протокол.

3.1.2. Снять динамическую модуляционную характеристику (ДМХ)

$$m = f(U_{\Omega}).$$

Для этого:

- установить $E_{\delta} = E_{\text{бн}}$;
- установить $E_{\text{к}} = 10,5$ В;
- установить частоту модулятора F (ГЕНЕРАТОР G1), равную 1000 Гц;
- установить амплитуду возбуждения (ГЕНЕРАТОР G2) $U_{\delta} = 0,55$ В.

Меняя амплитуду модулирующего сигнала U_{Ω} в пределах $0 \dots 0,9$ В с шагом $0,1$ В, измерять значения коэффициента амплитудной модуляции m_{+} и m_{-} по показаниям ЖКД в режиме измерения m_{+} и m_{-} . Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

U_{Ω} , В	0,1	0,2	.....0,9
m_{+}			
m_{-}			

3.1.3. Снять динамическую частотную характеристику (ДМЧХ)

$$m = f(F), \text{ для } m_{+} \text{ и } m_{-}.$$

Для этого:

- величины $E_{\text{бн}}$, $E_{\text{к}}$, F установить такими же, как и в п.3.1.2;
- установить U_{Ω} такой величины, чтобы $m_{+} = 0,5$ (по результатам измерений в п. 3.1.2).

Меняя частоту модуляции F в пределах $80 \dots 6000$ Гц, снять зависимости m_{+} и m_{-} от частоты F с шагом в 100 Гц в пределах $F = 80 \dots 1000$ Гц и с шагом в 1 кГц в пределах $F = 1 \dots 8$ кГц. Результаты измерений свести в табл. 3.

Таблица 3

F , Гц,	80	200	300	.....8000
m_{+}				
m_{-}				

По результатам табл. 2 и 3 построить графики зависимостей m_+ и m_- от U_Ω и частоты модуляции F .

3.2. Исследование коллекторной модуляции

Повторить операции согласно подготовительному этапу порядка выполнения работы. После этого собрать схему коллекторной модуляции, поставив переключатели $S1$ и $S2$ в положения 2

3.2.1 Снять статическую модуляционную характеристику (СМХ) этого режима модуляции, т.е. зависимости: $I_{\text{конт}} = f(E_k)$ и $I_{k0} = f(E_k)$

Для этого:

-установить $E_b = 0,65$ В, $U_\Omega = 0$;

-установить $E_k = 2$ В и определить максимально возможную амплитуду напряжения возбуждения U_b в пределах не более 0,5 В;

Напряжение E_k изменять в пределах от 2 до 10 В (через 1 В). Результаты измерений занести в табл. 4.

Таблица 4

E_k , В	2	3	.....10
$I_{\text{конт}}$, мА			
I_{k0} , мА			

Построить графики СМХ $I_{\text{конт}} = f(E_k)$ и $I_{k0} = f(E_k)$ и на первом из них определить напряжение $E_{\text{кн}}$ – точку режима несущей в середине линейного участка СМХ. Записать это напряжение в протокол.

3.2.2. Снять амплитудную динамическую модуляционную (ДМХ), т.е зависимость коэффициента амплитудной модуляции m от уровня напряжения модуляции U_Ω .

Эксперимент проводить при частоте модулирующего сигнала (ГЕНЕРАТОР G1) $F = 1000$ Гц, $E_k = E_{\text{кн}}$, $E_b = 0,65$ В и U_b , найденном в п.3.2.1 . Измерять два значения коэффициента модуляции : m_+ , m_- соответствующие верхней и нижней полуволнам огибающей. Форму колебаний наблюдать на экране осциллографа. Напряжение U_Ω в эксперименте менять в пределах 0,2...8 В. Результаты измерений свести в табл. 5

Таблица 5

U_Ω , В	0,2	0,5	1,0	.....8
m_+				
m_-				

3.2.3. Снять частотную динамическую характеристику (ДМЧХ), т.е. зависимость коэффициента модуляции m от частоты модулирующего сигнала F .

Эксперимент проводить при $m_+ = 0,5$ (данные взять из п. 3.2.2) на частоте 1000 Гц, $E_k = E_{кн}$, $E_б = 0,65$ В и $U_б$, найденном в п. 3.2.1.

Частоту F после первоначальной установки режима менять в пределах от 80 Гц до 8 кГц с шагами, указанными в п. 3.1.3. Результаты занести в табл. 6.

Таблица 6.

F, Гц	80	100	200	.....8000
m_+				
m				

Построить графики зависимостей m от U_Ω и F по результатам п. 3.2.2 и 3.2.3.

По окончании экспериментов представить протокол выполнения работы преподавателю для проверки, после чего оформить отчёт с выводами по работе.

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- схемы усилителя для случаев базовой и коллекторной модуляции;
- наименования этапов работы с соответствующими установочными данными, таблицами и графиками;
- выводы по работе.

Литература

1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. –М.: Транспорт, 1998, стр. 31...48, 199...203.
2. Радиопередающие устройства. Под редакцией В.В. Шахгильдяна. –М.: Радио и связь, 1993, 2003.
3. Дивеев В.Н. Формирование и передача сигналов. Пособие для выполнения лабораторных работ. МГТУ ГА, 2006. стр. 20...25.
4. Конспект лекций по дисциплине.

Контрольные вопросы

1. Изобразите структурную схему амплитудной модуляции.
2. Какими способами можно измерить коэффициент АМ?
3. Изобразите цепь базы для случая базовой АМ.
4. Изобразите цепь коллектора для случая коллекторной АМ.
5. Какой вид АМ имеет большую линейность и почему?
6. Почему при расстройке частоты возбуждения относительно частоты настройки колебательного контура ГВВ снижается КПД?
7. Меняется ли угол отсечки в ГВВ при базовой модуляции?

8. Меняется ли угол отсечки при коллекторной модуляции?
9. В чём причина изменения амплитуды импульсов коллекторного тока для случая коллекторной АМ?
10. Запишите выражение для радиосигнала с АМ.

Лабораторная работа № 6

Исследование прямого способа формирования сигнала с частотной модуляцией (ЧМ)

Цель работы. Изучение схемы автогенератора с частотной модуляцией. Исследование модуляционных характеристик ЧМ: статической, динамической и динамической частотной.

1. Основные теоретические сведения

При частотной модуляции аналитическая запись радиосигнала имеет вид:

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

где U_m – амплитуда несущего колебания, $m_{\text{чм}} = \Delta\omega_d / \Omega$ – 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 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 :

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

где: f_0 - частота в точке молчания автогенератора, Δf_d – амплитуда отклонения частоты автогенератора от f_0 , именуемая девиацией частоты при ЧМ.

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

$$\Delta f_d = \varphi (F), U_\Omega = \text{const.}$$

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

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, т.е. при $m_{\text{чм}} \gg 1$.

2. Описание лабораторного стенда.

Лабораторный стенд в целом предназначен для изучения схем и основных характеристик автогенератора, выполненного по емкостной трехточечной схеме и ряда схем кварцевых автогенераторов. Частным исследованием является исследование процесса и модуляционных характеристик частотной модуляции автогенератора. Последняя задача - цель данной лабораторной работы.

Лицевая панель стенда включает изображение достаточно упрощенной схемы его и необходимые вспомогательные элементы, служащие для управления режимами работы стенда, отображения параметров управления и выходных параметров сигналов. Любая их исследуемых схем может быть собрана с помощью электронных ключей, управление которыми производится при помощи кнопки «ТИП СХЕМЫ», расположенной в нижней части лицевой панели, путем ее однократного нажатия и удержания в течение 0,2с. Состояние ключей индицируется соответствующими светодиодами.

Лабораторный стенд включает в себя также регулируемый по амплитуде и частоте генератор модулирующего сигнала и кроме того мультиметр, позволяющий измерить токи, напряжения и частоту в контрольных точках схем и значение девиации частоты выходного колебания при исследовании ЧМ. При измерении токов и напряжении выводятся их амплитудные значения. Подключение мультиметра к необходимым контрольным точкам осуществляется с помощью кнопок, расположенных под жидкокристаллическим дисплеем, отображающим измеряемую величину и ее значение. Левая и правая кнопки позволяют «перелистывать» страницы дисплея вперед и назад. Средняя кнопка предназначена для запуска встроенного частотомера.

Генератор модулирующего сигнала «ГЕНЕРАТОР G1 » с помощью кнопки, расположенной в поле частот, обеспечивает дискретное изменение частоты от 10 Гц до 18 кГц (16 значений) и плавную регулировку амплитуды с помощью потенциометра, расположенного в поле генератора. Регулировка базового смещения $E_{см}$, коллекторного питания E_k , управляющего напряжения $E_{упр}$ осуществляется с помощью соответствующих потенциометров.

В стенде предусмотрена возможность подключения осциллографа (однолучевого или двухлучевого) к необходимым контрольным точкам. Осциллограф подключается к разъемам на задней части стенда. В данной работе осциллограф следует подключать к разъему канала 1. Стенд включается в работу выключателем (СЕТЬ).

Собирание схемы частотной модуляции АГ осуществляется соответствующим выбором ТИПА СХЕМЫ (положение 4). Изменение частот автогенератора производится включением в колебательный контур емкости варикапа и управления его емкостью напряжения $E_{упр}$ и $U_{мод}$.

3. Порядок выполнения работы.

При допуске к работе :

- установить ручки всех потенциометров стенда в крайнее левое (нулевое) положение. По разрешению преподавателя включить стенд для прогрева (5...6 мин.);
- ознакомиться со схемой стенда, расположением органов управления, разъемов, а также перечнем выводимой на ЖКД информацией.

Предупреждение . Не допускать неосознанных, спонтанных действий по отношению к органам управления стендом!

3.1. Собрать емкостную трехточечную схему АГ при включении транзистора на схеме с «общей базой». Для этого поставить переключатель ТИП СХЕМЫ в положение 4. Зарисовать полученную схему АГ. Установить коллекторное напряжение $E_k=8В$, эквивалентное сопротивление контура $R_{эк}$ максимальным (кнопки $R_{н1}$, $R_{н2}$ и ключи $S7$ и $S8$ - разомкнуты), переключатель τ должен находиться в положении 0.

3.2. Снять статическую (СМХ) модуляционную характеристику АГ, т.е. зависимость напряжения на контуре U_k , постоянной составляющей коллекторного тока $I_{к0}$ транзистора и частоты генерации f_r от управляющего напряжения $E_{упр}$, подаваемого на варикап. $E_{упр}$ менять в пределах 0...5В. Данные измерения занести в табл. 1.

Таблица 1

$E_{упр}$, В	0	0,5	1	1,5	2	.....
U_k , В						
$I_{к0}$, мА						
f_r , кГц						

По данным табл. 1 построить полученные зависимости графически. Определить ориентировочную, рабочую точку в режиме «молчания» (посередине линейного участка СМХ), примерно 2000 кГц.

3.3. Снять амплитудную (АДМХ) динамическую модуляционную характеристику АГ, т.е. зависимость Δf_d (девиации частоты) от амплитуды модулирующего сигнала $U_{\text{мод}}$ при неизменной частоте модуляции $F_{\text{мод}}=2\text{кГц}$. Для этого однократным нажатием кнопки ВКЛ в поле ГЕНЕРАТОР G1 замкнуть ключ S1. Изменяя $E_{\text{упр}}$, добиться генерации на частоте, близкой к 2000 кГц (в точке молчания). С помощью кнопки «установка частоты» ГЕНЕРАТОРА G1 установить частоту модуляции $F_{\text{мод}}=2000\text{Гц}$ и снять зависимость Δf_d и f_g от $U_{\text{мод}}$. Амплитуду $U_{\text{мод}}$ изменять от 0 до максимального возможного значения с помощью потенциометра уровня сигнала ГЕНЕРАТОРА G1. Данные измерения занести в табл. 2.

Таблица 2

$U_{\text{мод}}, \text{В}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$f_g, \text{МГц}$						
$\Delta f_d, \text{кГц}$						

По полученным данным построить графики f_g и Δf_d от $U_{\text{мод}}$ и сравнить с данными п. 3.2.

3.4 Снять частотную динамическую (ЧДМХ) модуляционную характеристику АГ, т.е. зависимость девиации частоты Δf_d от частоты модулирующего сигнала $F_{\text{мод}}$ при постоянной амплитуде модулирующего сигнала $U_{\text{мод}}$. Для этого установить частоту генерации $f_g = 2000\text{кГц}$, амплитуду $U_{\text{мод}} = 0,2\text{В}$. Частоту модуляции в эксперименте менять в пределах 10Гц...18кГц, снять все 16 значений частот модуляции

Данные измерений занести в табл. 3.

Таблица 3

$F_{\text{мод}}, \text{Гц},$ кГц	10	20	40	80.....18кГц
$\Delta f_d, \text{кГц}$				

По полученным данным построить график зависимости $\Delta f_d = f(F_{\text{мод}})$.

3.5. По данным разделов 3.3, 3.4 построить графики зависимости индекса частотной модуляции $m_{\text{чм}} = \Delta f_d / F_{\text{мод}}$ от $U_{\text{мод}}$ и $F_{\text{мод}}$.

Объяснить поведение зависимостей

3.6. Сделать выводы по работе и оформить отчет после одобрения результатов экспериментов преподавателем.

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- схему АГ и ЧМ;

- цель работы;
- таблицы, графики данных;
- выводы по работе.

Литература

1. Криницин В.В., Логвин А.И. Формирование и передача сигналов в авиационных радиоустройствах. –М.: Транспорт, 1998, стр. 31...48, 199...203.
2. Радиопередающие устройства. Под редакцией В.В. Шахгильдяна. –М.: Радио и связь, 1993, 2003.

Контрольные вопросы

1. Изобразите структурную схему прямого способа ЧМ.
2. Что такое девиация частоты при ЧМ?
3. Что такое индекс ЧМ?
4. Как снимается статическая характеристика ЧМ?
5. Как снимается динамическая характеристика ЧМ?
6. Какой параметр ЧМ остаётся неизменным при снятии частотной модуляционной характеристики ЧМ?
7. От чего зависит девиация частоты при ЧМ?
8. Как влияет частота модуляции на индекс ЧМ?
9. Запишите аналитическое выражение для радиосигнала с ЧМ.

Приложение 1.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра радиотехнических устройств

Отчёт защищён.

Преподаватель _____
(подпись, дата)Формирование и передача сигналов
Отчёт по лабораторной работе №.....
Название лабораторной работыВыполнил
студент гр. РС....._____
(ФИО)_____
(дата)

МОСКВА – 20.....г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	с. 3
1. Лабораторная работа № 1. Формирование радиосигналов с различными видами модуляции и исследование их спектров.....	4
2. Лабораторная работа № 2. Исследование кодирования сообщений на основе линейных разделимых кодов с проверочными символами	7
3. Лабораторная работа № 3. Исследование колебаний 1-го и 2-го родв в ГВВ	9
4. Лабораторная работа № 4. Исследование стабильности частоты автогенераторов гармонических колебаний	15
5. Лабораторная работа № 5. Исследование процессов амплитудной модуляции в резонансном усилителе	19
6. Лабораторная работа № 6. Исследование прямого способа формирования сигнала с частотной модуляцией (ЧМ)	26