

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 28.08.2024 02:30:50  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668ab01345d426d39e5f1c11ea0073e945d14a4851fda36d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Юго-Западный государственный университет»**  
**(ЮЗГУ)**

Кафедра космического приборостроения и систем связи

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе  
**О.Г. Локтионова**  
« 28 » 08 2024  
**ЮЗГУ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем»



УДК 621.396

Составители: А.А. Гуламов, Д.С. Коптев

Рецензент:

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Зав. кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Исследование частотной модуляции:** методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.04.02 направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, Д.С. Коптев. – Курск, 2024. – 35 с.: иллюстр. 10.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат все необходимые теоретические сведения для изучения частотно – модулированных сигналов, а также требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы и список контрольных вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Методические указания соответствуют учебному плану обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *20.08.24* Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 2,03. Уч.-изд. л. 1,84. Тираж 100 экз. Заказ. *511*. Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.



## Содержание

Инструкция по технике безопасности	- 4
1. Цель работы	- 9
2. Основные теоретические сведения	- 9
3 Содержание работы и порядок выполнения	- 19
4 Требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы	- 23
5 Контрольные вопросы	- 24
Заключение	- 25
Приложение А Форма титульного листа отчета обучающегося о выполняемой лабораторной работе	- 35

## ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

### *Общие положения*

Настоящая инструкция предназначена для студентов и работников, выполняющих работы на персональном компьютере и на сетевом оборудовании (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.).

К выполнению работ допускаются лица:

- не моложе 16 лет;
- прошедшие медицинский осмотр;
- прошедшие вводный инструктаж по охране труда, а также инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- прошедшие обучение безопасным приемам труда на рабочем месте по выполняемой работе.

Работник обязан:

- выполнять правила внутреннего трудового распорядка, установленные в положениях и инструкциях, утвержденных ректором ЮЗГУ, или его заместителями;
- выполнять требования настоящей инструкции;
- сообщать руководителю работ о неисправностях, при которых невозможно безопасное производство работ;
- не допускать присутствия на рабочем месте посторонних лиц;
- уметь оказывать первую помощь и при необходимости оказывать ее пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по возможности сохранив обстановку на месте происшествия без изменения и сообщив о случившемся руководителю;
- выполнять требования противопожарной безопасности не разводиться открытый огонь без специального на то разрешения руководителя работ;
- периодически проходить медицинский осмотр в сроки, предусмотренные для данной профессии.

Работник должен знать опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на данном рабочем месте:

- возможность травмирования электрическим током при отсутствии или неисправности заземляющих устройств;

- вредное воздействие монитора компьютера при его неправильной установке или неисправности;
- возможность возникновения заболеваний при неправильном расположении монитора, клавиатуры, стула и стола;
- вредное воздействие паров, газов и аэрозолей, выделяющихся при работе копировальной и печатающей оргтехники в непроветриваемых помещениях.

Работник при выполнении любой работы должен обладать здоровым чувством опасности и руководствоваться здравым смыслом. При отсутствии данных качеств он к самостоятельной работе не допускается.

### ***Требования охраны труда перед началом работы***

Перед началом работы работник обязан:

- получить от руководителя работ инструктаж о безопасных методах, приемах и последовательности выполнения производственного задания;
- привести в порядок одежду, застегнуть на все пуговицы, чтобы не было свисающих концов, уложить волосы, чтобы они не закрывали лицо и глаза;
- привести рабочее место в безопасное состояние;
- запрещается носить обувь на чрезмерно высоких каблуках;

Перед включением компьютера или сетевого оборудования убедиться в исправности электрических проводов, штепсельных вилок и розеток. Вилки и розетки должны соответствовать Евро-стандарту. Отличительной особенностью этих вилок и розеток является наличие третьего провода, обеспечивающего заземление компьютера или другого прибора. При отсутствии третьего заземляющего провода заземление должно быть выполнено обычным способом с применением заземляющего проводника и контура заземления;

Убедиться, что корпус включаемого оборудования не поврежден, что на нем не находятся предметы, бумага и т.п. Вентиляционные отверстия в корпусе включаемого оборудования не должны быть закрыты занавесками, завалены бумагой, заклеены липкой лентой или перекрыты каким-либо другим способом.

### *Требования охраны труда во время работы*

Запрещается во время работы пить какие-либо напитки, принимать пищу;

Запрещается ставить на рабочий стол любые жидкости в любой таре (упаковке или в чашках);

Помещения для эксплуатации компьютеров, сетевого оборудования должны иметь естественное и искусственное освещение, естественную вентиляцию и соответствовать требованиям действующих норм и правил. Запрещается размещать рабочие места вблизи силовых электрических кабелей и вводов трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе и отрицательно влияющие на здоровье операторов;

Окна в помещениях, где установлены компьютеры должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы оборудуются регулируемыми устройствами типа жалюзи или занавесками;

Площадь на одно рабочее место пользователей компьютера должна составлять не менее  $6 \text{ м}^2$  при рядном и центральном расположении, при расположении по периметру помещения –  $4 \text{ м}^2$ . При использовании компьютера без вспомогательных устройств (принтер, сканер и т.п.) с продолжительностью работы менее четырех часов в день допускается минимальная площадь на одно рабочее место  $5 \text{ м}^2$ ;

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ПК, должны подвергаться санитарно-эпидемиологической экспертизе. Поверхность пола должна обладать антистатическими свойствами, быть ровной. В помещениях ежедневно проводится влажная уборка. Запрещается использование удлинителей, фильтров, тройников и т.п., не имеющих специальных заземляющих контактов;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600-700 мм, минимально допустимое расстояние 500 мм;

Продолжительность непрерывной работы с ПК должна быть не более 2 часов.

### ***Требования охраны труда по окончании работы***

По окончании работы работник обязан выполнить следующее:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать инструмент и приспособления в специально отведенные для него места хранения;
- обо всех замеченных неисправностях и отклонениях от нормального состояния сообщить руководителю работ;
- привести рабочее место в соответствие с требованиями пожарной безопасности.

### ***Действие при аварии, пожаре, травме***

В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

### ***Ответственность за нарушение инструкции***

Каждый работник ЮЗГУ в зависимости от тяжести последствий несет дисциплинарную, административную или уголовную ответственность за несоблюдение настоящей инструкции, а также прочих положений и инструкций, утвержденных ректором ЮЗГУ или его заместителями.

Руководители подразделений, заведующий кафедрой, начальники отделов и служб несут ответственность за действия своих подчиненных, которые привели или могли привести к авариям и травмам согласно действующему в РФ законодательству в зависи-

мости от тяжести последствий в дисциплинарном, административном или уголовном порядке.

Администрация ЮЗГУ вправе взыскать с виновных убытки, понесенные предприятием в результате ликвидации аварии, при возмещении ущерба работникам по временной или постоянной утрате трудоспособности в соответствии с действующим законодательством.



## 1 Цель работы

Изучение методов моделирования электронных устройств с помощью программы Multisim, исследование метода частотной модуляции (ЧМ) при передаче непрерывных сообщений, получение осциллограмм и спектрограмм ЧМ сигнала с различными коэффициентами и частотами модуляции.

## 2 Основные теоретические сведения

Для описания модулированных колебаний удобно использовать квазигармоническую форму:

$$u(t) = U_0(t) \cos \Phi(t), \quad (1)$$

где  $\Phi(t) = \omega_0 t + \Delta\varphi(t) + \varphi_0$  – текущая фаза;  $\Delta\varphi(t)$  – девиация (отклонение) фазы;  $\varphi_0$  – начальная фаза.

При угловой модуляции (УМ) огибающая  $U_0(t)$  не изменяется  $U_0(t) = \text{const}$ , а изменению подвергается либо фаза, либо её производная.

Фазовая модуляция (ФМ) – вид модуляции, при которой девиация фазы пропорциональна модулирующему сигналу  $u_c(t)$ :

$$\Delta\varphi(t) = K_{\text{ФМ}} u_c(t), \quad (2)$$

где  $K_{\text{ФМ}}$  – константа, характеризующая работу модулятора.

Для частного случая – тональной ФМ, когда в качестве модулирующего сигнала используется гармонический сигнал низкой частоты ( $\Omega \ll \omega_0$ ):

$$u_c(t) = U_c \cos \Omega t,$$

девиация фазы согласно (2) равна:

$$\Delta\varphi(t) = K_{\text{ФМ}} U_c \cos \Omega t = M_{\text{ФМ}} \cos \Omega t, \quad (3)$$

где  $M_{\text{ФМ}} = K_{\text{ФМ}} U_c = \Delta\varphi_{\text{max}}$  – индекс фазовой модуляции, имеющий смысл максимальной девиации фазы. Подставив (3) в (1), получим выражение для тональной ФМ:

$$u_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + M_{\text{ФМ}} \cos \Omega t],$$

(в этом выражении и далее полагается  $\varphi_0 = 0$ ).

Частотная модуляция (ЧМ) – вид модуляции, при котором девиация частоты пропорциональна модулирующему сигналу:

$$\Delta\omega(t) = K_{\text{ЧМ}} u_c(t),$$

где  $K_{\text{ЧМ}}$  – константа, характеризующая работу модулятора.

Производная от текущей фазы равна мгновенной частоте сигнала  $\omega(t)$ :

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} \Phi(t) = \omega_0 + \frac{d}{dt} [\Delta\varphi(t)] = \omega_0 + \Delta\omega(t),$$

равной сумме несущей частоты  $\omega_0$  и девиации частоты  $\Delta\omega(t)$ , изменяющейся под управлением модулирующего сигнала. В каждый момент времени мгновенная частота сигнала имеет только одно значение, в то время как спектр сигнала может состоять из большого числа частотных составляющих.

В частном случае тональной ЧМ:

$$u_c(t) = U_c \cos \Omega t, \quad \Delta\omega(t) = K_{\text{ЧМ}} U_c \cos \Omega t = \Delta\omega_{\text{max}} \cos \Omega t,$$

мгновенная частота равна:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_{\text{max}} \cos \Omega t,$$

а полная фаза:

$$\begin{aligned} \Phi(t) &= \int_0^t \omega(\tau) d\tau = \int_0^t \omega_0 d\tau + \int_0^t \Delta\omega_{\text{max}} \cos \Omega \tau d\tau = \\ &= \omega_0 t + \frac{\Delta\omega_{\text{max}}}{\Omega} \sin \Omega t = \omega_0 t + M_{\text{ЧМ}} \sin \Omega t. \end{aligned}$$

Здесь  $M_{\text{ЧМ}} = \Delta\omega_{\text{max}}/\Omega$  – индекс ЧМ, имеющий смысл максимальной девиации частоты. Подставив последнее выражение в (1), получим:

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + M_{\text{ЧМ}} \sin \Omega t].$$

Из сопоставления выражений для тональных ФМ и ЧМ следует, что они отличаются только начальной фазой, что даёт основание рассматривать их как одно общее колебание с УМ:

$$u_{\text{УМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + M_{\text{УМ}} \sin \Omega t].$$

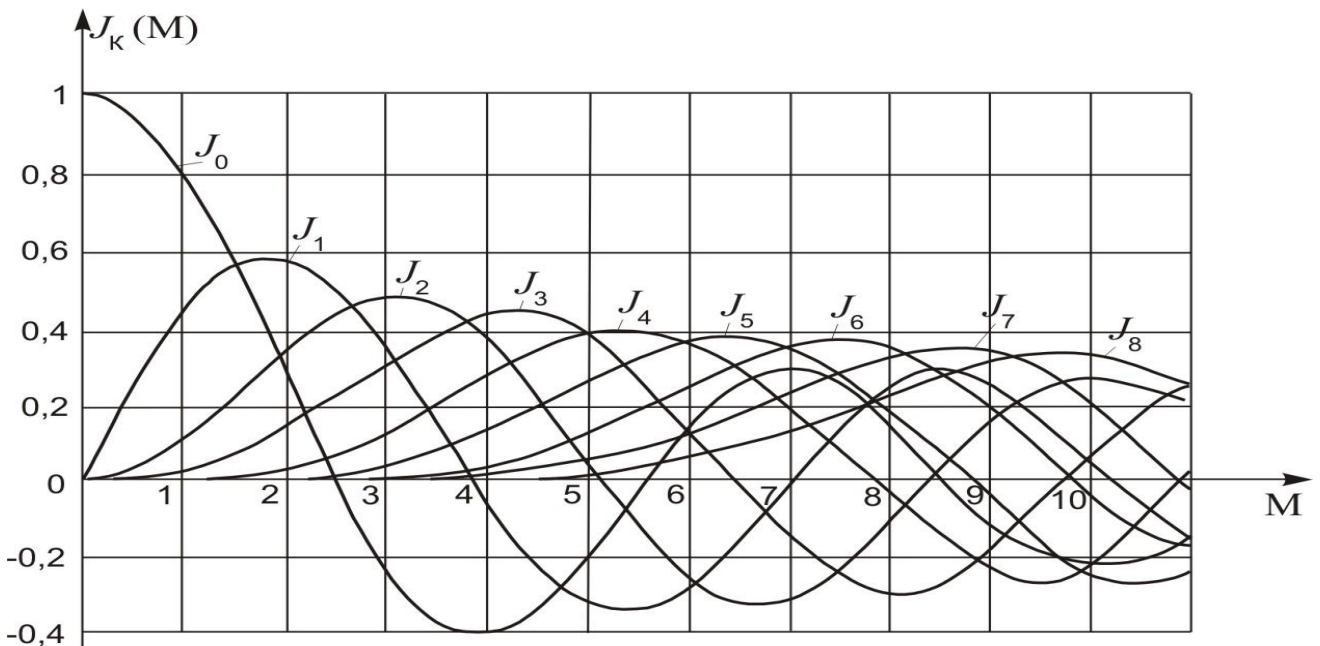
Представим это выражение в комплексной форме (аналитический сигнал):

$$\dot{u}_{\text{УМ}}(t) = U_0 e^{j[\omega_0 t + M_{\text{УМ}} \sin \Omega t]} = U_0 e^{j\omega_0 t} \cdot e^{jM_{\text{УМ}} \sin \Omega t}. \quad (4)$$

Последний сомножитель в этом выражении является периодической функцией времени. Разложим его в ряд Фурье:

$$e^{jM \sin \Omega t} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(M) e^{jk\Omega t}. \quad (5)$$

Коэффициентами разложения являются функции Бесселя первого рода  $k$ -го порядка от индекса модуляции  $M$  (рисунок 2).



Подставив (5) в (4), получим:

$$\dot{u}_{\text{УМ}}(t) = U_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(M_{\text{ЧМ}}) e^{j[\omega_0 + k\Omega]t}.$$



Взяв вещественную часть от этого выражения, перейдем от комплексной записи к канонической форме квазигармонического колебания:

$$u_{\text{УМ}}(t) = U_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(M_{\text{УМ}}) \cos(\omega_0 + k\Omega)t.$$

Из этого выражения видно, что спектр амплитуд модулированного колебания состоит из бесконечного числа спектральных линий, расположенных на частотной оси с равномерным шагом  $\Omega$ . Амплитуды спектральных линий определяются произведением амплитуды модулированного колебания  $U_0$  на соответствующие значения функции Бесселя –  $U_0 J_k(M)$ . Но так как максимальное значение функции Бесселя равно единице ( $J_0$  при  $M=0$ ), то значения  $J_k(M)$  могут рассматриваться как относительные амплитуды спектральных составляющих.

Практическая ширина спектра сигнала с УМ ограничивается составляющими с относительной амплитудой более 0,1 (относительная мощность больше 1%). Номер такой составляющей ( $k_{\text{гр}}$ ) находится из выражения:

$$J_{k_{\text{гр}}}(k_{\text{гр}} - 1) > 0,1.$$

Аргументом функции Бесселя является индекс модуляции  $M$ , следовательно  $k_{\text{гр}} - 1 = M$ , откуда:

$$k_{\text{гр}} = M + 1.$$

Составляющая спектра с номером  $k_{\text{гр}} + 1$  имеет относительную амплитуду менее 0,1, т.е. окажется за пределами практической ширины спектра.

Последнее выражение позволяет по индексу модуляции  $M$  оценить число спектральных линий в практической ширине спектра. Так, например, при  $M=3,2$  граничное значение  $k_{\text{гр}}=4$  (ближайшее целое число). Следовательно, в спектре такого сигнала должны быть несущая и четыре пары боковых частот. Эти результаты легко проверить по графикам бесселевых функций (рис. 2). Действительно, четвертая пара боковых имеет относительную амплитуду  $J_4(3,2)=0,16$ , т.е. находится в пределах практической ширины спектра, а следующая пятая пара боковых имеет относительную амплитуду

$J_5(3,2)=0,04$ , т.е. находится за пределами этой полосы. Из рисунка 3 следует, что практическая ширина спектра  $2\Delta\omega^*=2\Omega(M+1)$ .

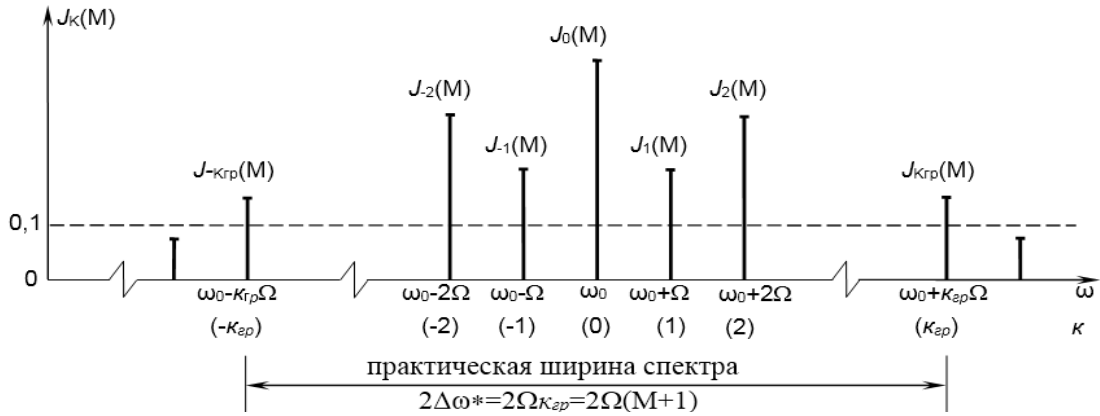


Рисунок 3 – К определению практической ширины спектра при угловой модуляции

Здесь отложены относительные амплитуды  $J_k(M)$ ; для построения амплитудного спектра все составляющие следует умножить на  $U_0 = \text{const}$ .

Для ФММ= $M_{\text{ФМ}}$ . Индекс ФМ  $M_{\text{ФМ}}=\Delta\varphi_{\text{max}}$  и зависит от амплитуды модулирующего сигнала  $U_c$ . Поэтому практическая ширина спектра при ФМ равна:

$$2\Delta\omega^*_{\text{ФМ}}=2\Omega(M_{\text{ФМ}}+1)$$

и зависит как от частоты, так и от амплитуды модулирующего сигнала.

Для ЧММ =  $M_{\text{ЧМ}} = \Delta\omega_{\text{max}}/\Omega$ , где  $\Delta\omega_{\text{max}}$  пропорциональна амплитуде модулирующего сигнала  $U_c$ :

$$2\Delta\omega^*_{\text{ЧМ}} = 2\Omega\left(\frac{\Delta\omega_{\text{max}}}{\Omega} + 1\right) = 2\Delta\omega_{\text{max}} + 2\Omega.$$

Обычно  $\Delta\omega_{\text{max}} \gg \Omega$  и  $2\Delta\omega^*_{\text{ЧМ}} \cong 2\Delta\omega_{\text{max}}$ , т.е. при ЧМ практическая ширина спектра зависит от амплитуды и почти не зависит от частоты модулирующего сигнала  $\Omega$ . Следовательно, практическая ширина спектра ЧМ сигнала значительно меньше, чем для ФМ сигнала при тех же параметрах модуляции, что и определило широкое использование ЧМ в радиовещании и связи.

Выходная мощность передатчика с УМ на некоторой нагрузке  $R_H$  может быть найдена как сумма мощностей, отдельных составляющих спектра:

$$\begin{aligned} P_{\text{вых}} &= P(\omega_0) + P(\omega_0 + \Omega) + P(\omega_0 - \Omega) + P(\omega_0 + 2\Omega) + \dots = \\ &= \frac{U_0^2}{2R_H} [J_0^2(M) + J_1^2(M) + J_{-1}^2(M) + J_2^2(M) + \dots] = P_0. \end{aligned}$$

Здесь  $U_0^2/2R_H = P_0$  – мощность гармонического (немодулированного) сигнала, а сумма в квадратных скобках, согласно свойству 4 бесселевых функций, равна единице. Следовательно, мощность передатчика с угловой модуляцией остается постоянной независимо от параметров модуляции. В этом отношении ЧМ и ФМ выгодно отличаются от АМ, для которой выходная мощность передатчика меняется в больших пределах (например, при максимальной глубине модуляции  $M_{\text{АМ}}=1$ , мощность передатчика АМ меняется от нуля до  $4P_0$ ).

В спектрах ЧМ сигналов нет низкочастотной составляющей, соответствующей исходному моделирующему сигналу. Для того чтобы восставить сигнал сообщения необходимо осуществить детектирование – процесс, обратный модуляции. Детектирование, как и модуляция, – нелинейное преобразование сигнала. Нелинейный элемент обогащает спектр выходного сигнала новыми спектральными компонентами, а фильтр выделяет низкочастотные компоненты. В качестве нелинейных элементов при детектировании можно использовать транзисторы и полупроводниковые диоды. Чаще всего используются полупроводниковые диоды, причём применяются только точечные диоды, так как плоскостные диоды имеют большую входную ёмкость.

При детектировании ЧМ сигнала напряжение на выходе частотного детектора (ЧД) должно воспроизводить закон изменения мгновенной частоты входного сигнала. Поэтому для идеального ЧД

$U_{\text{вых}}(t) = S_{\text{чд}}(t)\Delta f(t)$ , где  $S_{\text{чд}}$  – крутизна характеристики ЧД. При этом предполагается, что  $\Delta f(t)$  и  $U_{\text{вых}}(t)$  являются «медленными» функциями времени. В отличие от амплитудного детектора, для образования частот сообщения (низкочастотной компоненты) одного лишь нелинейного элемента недостаточно: нелинейность диода



проявляется при изменении действующего на него напряжения, а не при изменении частоты. Поэтому для осуществления ЧМ детектирования требуются дополнительные преобразования.

Существует два класса ЧД: в одних детекторах ЧМ сигналы с помощью колебательного контура преобразуются в АМ сигналы, а потом детектируются, в других (дискриминатор, детектор отношений) – при детектировании ЧМ сигналов используется зависимость от частоты в колебательном контуре разности фаз между током и напряжением.

Основными характеристиками и параметрами ЧД являются:

1) семейство детекторных характеристик:  $\Delta U = F(f)$  при  $U_0 = \text{const}$ ;

2) крутизна детекторной характеристики:  $S_{\text{чд}} = \Delta U / \Delta f$ ;

3) диапазон частот  $\Delta f_{\text{лин}}$ , в котором детекторная характеристика достаточно линейна;

4) входное сопротивление:  $R_{\text{вх}} = U_0 / I_0$ ;

5) минимальное  $U_{0\text{min}}$  и максимальное  $U_{0\text{max}}$  значения амплитуды входного сигнала, при которых гарантируются основные качественные показатели;

6) выходное сопротивление:  $R_{\text{вых}} = U_{\Omega} / I_{\Omega}$ , определяемое свойствами АД;

7) нелинейные искажения выходного сигнала:

$$\gamma = \sqrt{\frac{P_{2\Omega} + P_{3\Omega} + P_{4\Omega} + \dots}{P_{\Omega}}}$$

Рассмотрим процесс детектирования высокочастотных ЧМ сигналов на примере некоторых схем ЧД первого типа. В этих детекторах используются:

- амплитудный ограничитель (АО) ЧМ сигнала;
- избирательная линейная цепь, преобразующая частотную модуляцию в амплитудную;
- амплитудный детектор.

АО ЧМ сигнала позволяет устранять нежелательные изменения амплитуды высокочастотного колебания, возникающие вследствие воздействия помех на радиосигнал при передаче ЧМ сигналов через избирательные цепи, при относительном изменении положения передатчика и приёмника ЧМ сигнала и т. д., и представляет собой сочетание нелинейного элемента и избирательной на-

грузки. В качестве линейной цепи можно использовать любую электрическую цепь, обладающую неравномерной частотной характеристикой: RL-, RC- фильтры, колебательные контуры и т. д. Наибольшее применение получили колебательные цепи.

Самой простой является схема, в которой ЧМ сигнал с несущей  $f_0$  подаётся на колебательный контур с частотой резонанса  $f_p = f_0$  (рисунок 4, а). Добротность контура выбирается таким образом, чтобы при удвоенной девиации частоты рабочий участок амплитудно-частотной характеристики был линейным. В этом случае при изменении частоты ЧМ сигнала амплитуда напряжения на контуре  $U_k(t)$  будет изменяться во времени в соответствии с законом модуляции  $f(t)$  (рисунок 5).

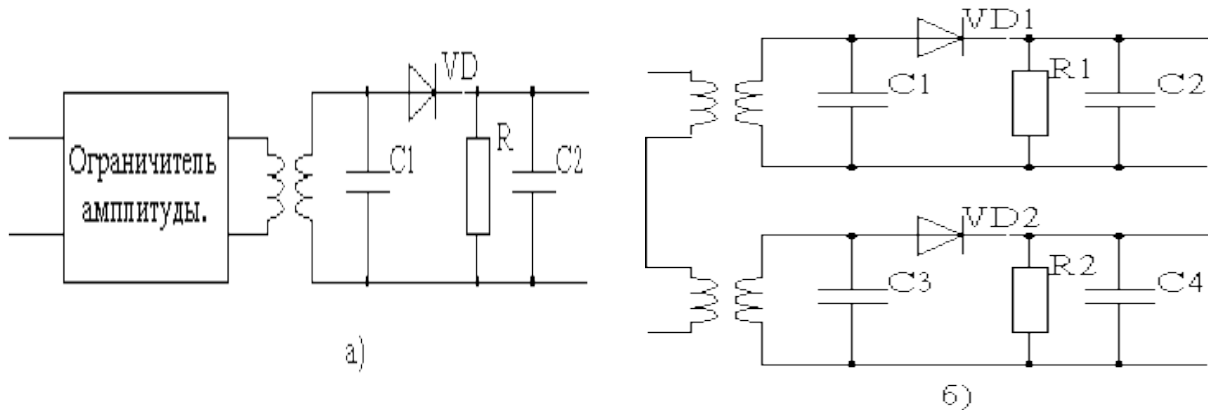


Рисунок 4 – Схемы простейшего (а) и дифференциального (б) ЧД

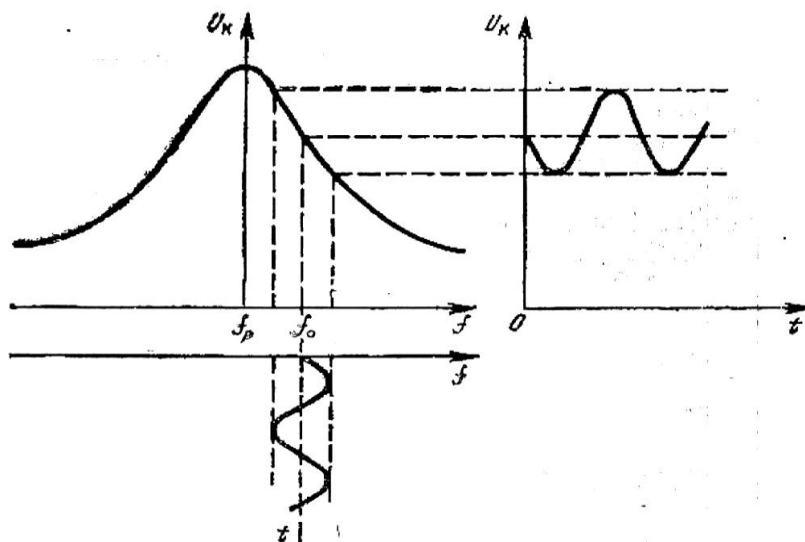


Рисунок 5 – К объяснению работы простейшего ЧД

Получившийся сигнал с изменяющейся амплитудой детектируется амплитудным детектором с RC-фильтром. Недостатком этой схемы является необходимость настройки контура на частоту, отличную от несущей ЧМ сигнала. Кроме того, резонансная кривая одиночного контура имеет небольшой линейный участок на скате характеристики. Из-за нелинейности склона резонансной кривой такие детекторы имеют большие нелинейные искажения.

В некоторой степени устранить этот недостаток позволяет схема дифференциального ЧД (рисунок 4, б). ЧМ сигнал подаётся одновременно на два контура: резонансные частоты  $f_{p1} \neq f_{p2}$  выбираются таким образом, чтобы несущая частота  $f_0$  располагалась на середине линейного участка характеристики. Сигналы АД противофазны и вычитаются (отсюда и название схемы), что позволяет уменьшить нелинейные искажения.

Недостатком рассмотренных схем (рисунок 4) является зависимость выходного сигнала от уровня высокочастотного ЧМ сигнала (рисунок б). Для устранения этого влияния применяют амплитудные ограничители.

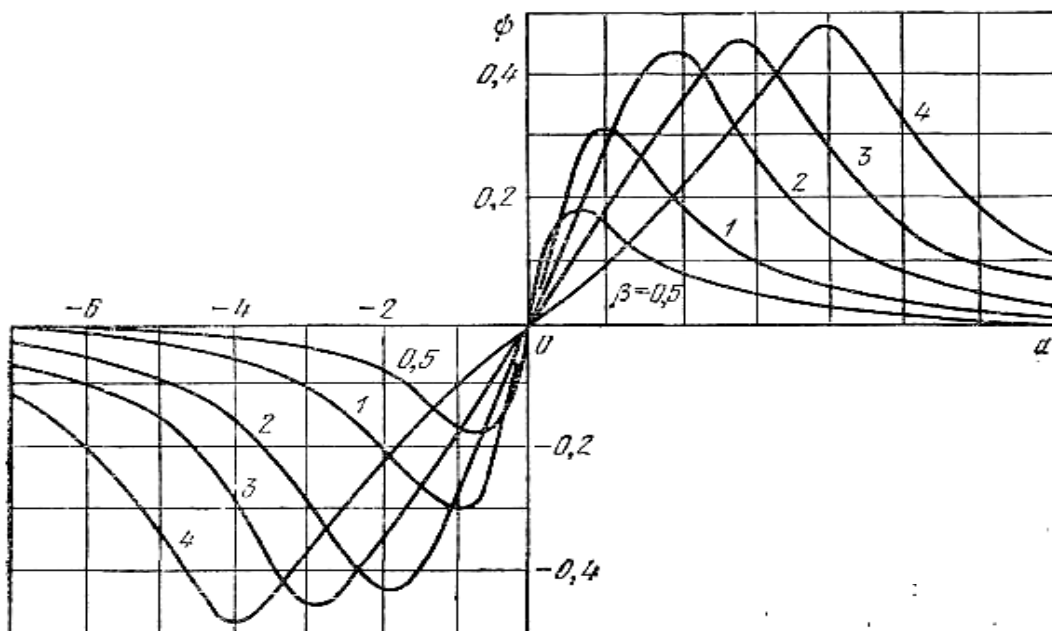


Рисунок 6 – Семейство характеристик двухконтурного ЧД



$\alpha = \frac{2\Delta f}{f_0} Q$  – относительная частота,  $Q$  – добротность контура,

$\psi = \frac{U_{\Omega}}{N}$  – относительная амплитуда напряжения на выходе ЧД,

$N$  – постоянный коэффициент,  $\beta$  – коэффициент связи контуров

Схемы ЧМ детекторов второго класса весьма слабо реагируют на изменение амплитуды сигнала и поэтому не содержат ограничителя. Эти схемы довольно широко применяются в приёмниках ЧМ сигналов, в устройствах автоматической подстройки частоты генераторов и др.

В этих схемах:

- 1) девиация частоты входного ЧМ колебания преобразуется в девиацию фазы другого напряжения;
- 2) девиация фазы преобразуется в амплитудную модуляцию напряжений, приложенных к диодам;
- 3) осуществляется амплитудное детектирование.

На рисунке 7 приведены схема фазочастотного дискриминатора и график зависимости выходного напряжения от частоты.

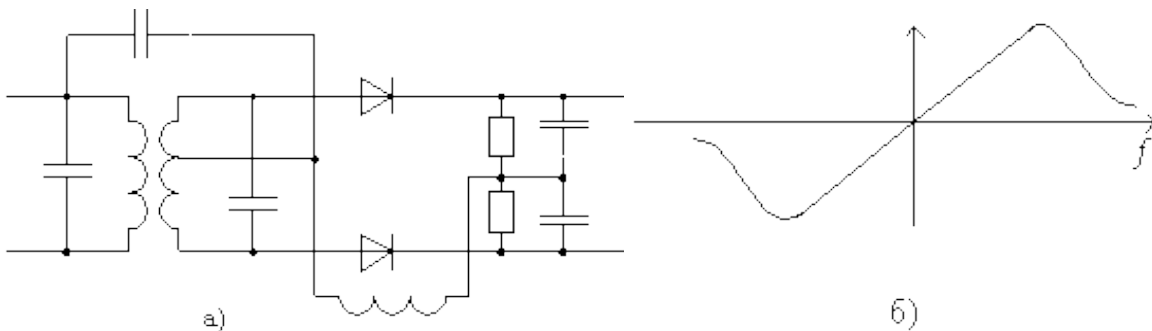


Рисунок 7 – Схема фазочастотного дискриминатора (а) и зависимость выходного напряжения от частоты (б)

### 3 Содержание работы и порядок выполнения

Собрать экспериментальную установку для исследования ЧМ сигналов, изображенную на рисунке 8.

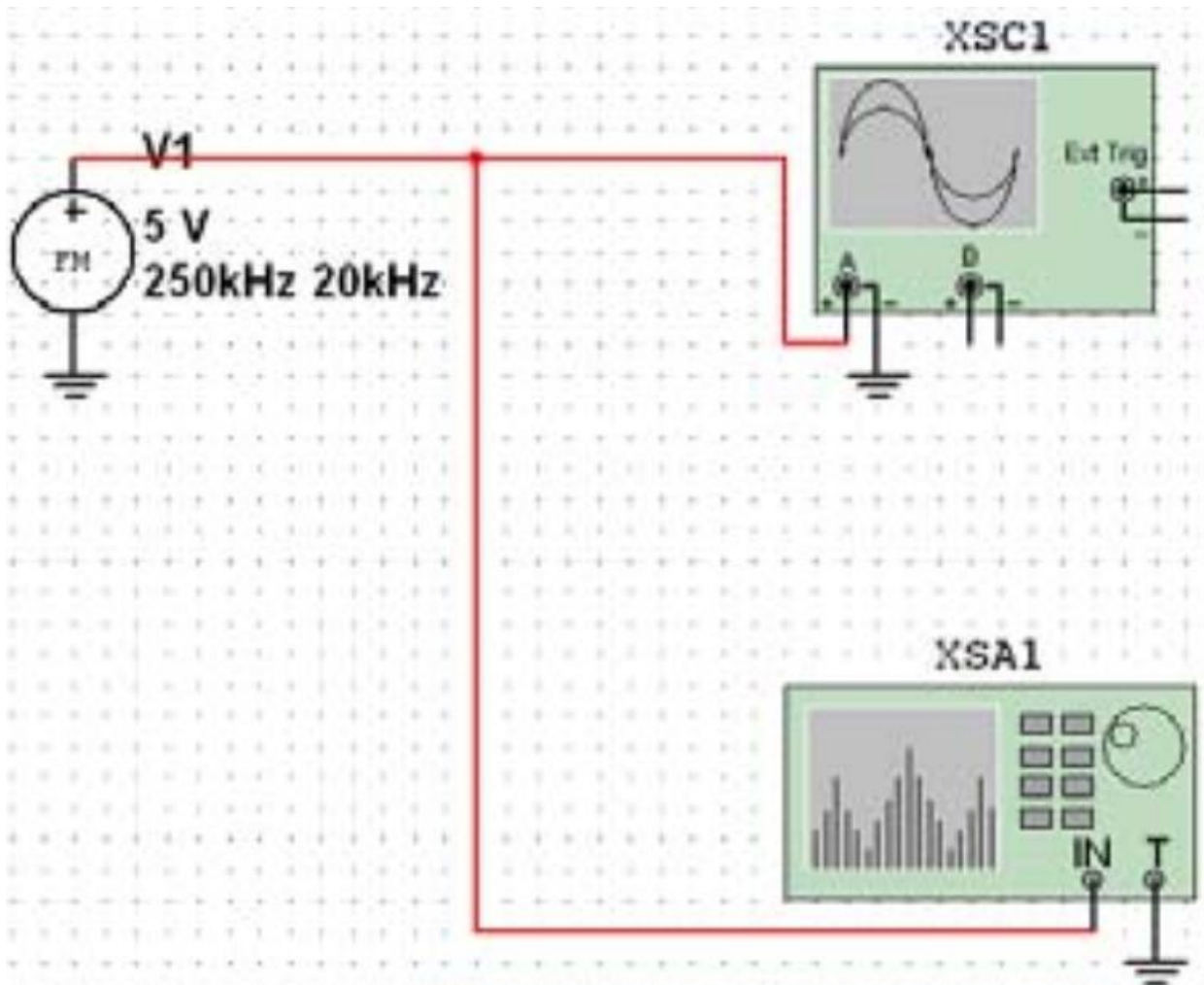


Рисунок 8 – Схема экспериментальной установки  
 V1 – частотный модулятор, XSA1 – анализатор спектра,  
 XSC1 – осциллограф

Для настройки амплитудного модулятора необходимо произвести двойной щелчок левой кнопкой мыши по функциональному блоку V1. Появляется диалоговое окно FM\_VOLTAGE параметров амплитудного модулятора (рисунок 9).

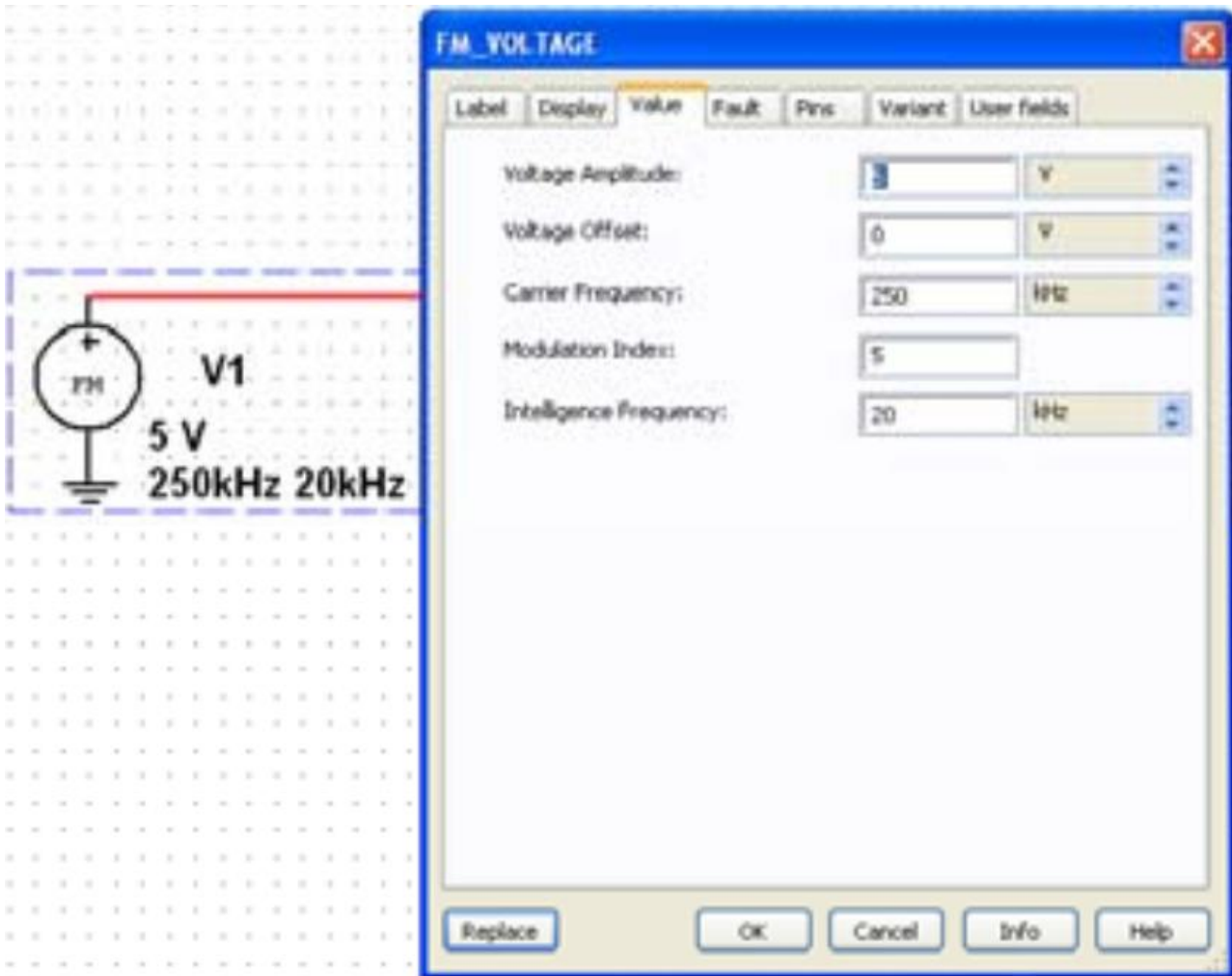


Рисунок 9 – Ввод параметров ЧМ напряжения

В появившемся окне панели AM\_VOLTAGE во вкладке Value (Величина) ввести параметры АМ напряжения:

- амплитуда несущего колебания (CarrierAmplitude)  
 $v_C = 5V$  ( $U_0 = 5B$ );

- частота несущего колебания (CarrierFrequency)  
 $f_C = 250kHz$  ( $f_0 = 250kHz$ );

- индекс модуляции (ModulationIndex)  $m=5$ ;

- частота модуляции (Intelligence Frequency)  $F_M = 20$  kHz ( $F_M = 20$  кГц) колебания, имитирующего низкочастотный модулирующий сигнал.

Установите элементы регулировки анализатора спектра в положения (рисунок 13):

Диапазон частот (Span): 400 kHz.

Начало (Start): 50 kHz.

Граница (End): 250 kHz.

Чувствительность (Range): 0,3 V/Div (В/дел).

Разрешение (Resolution freq): 200 Hz.

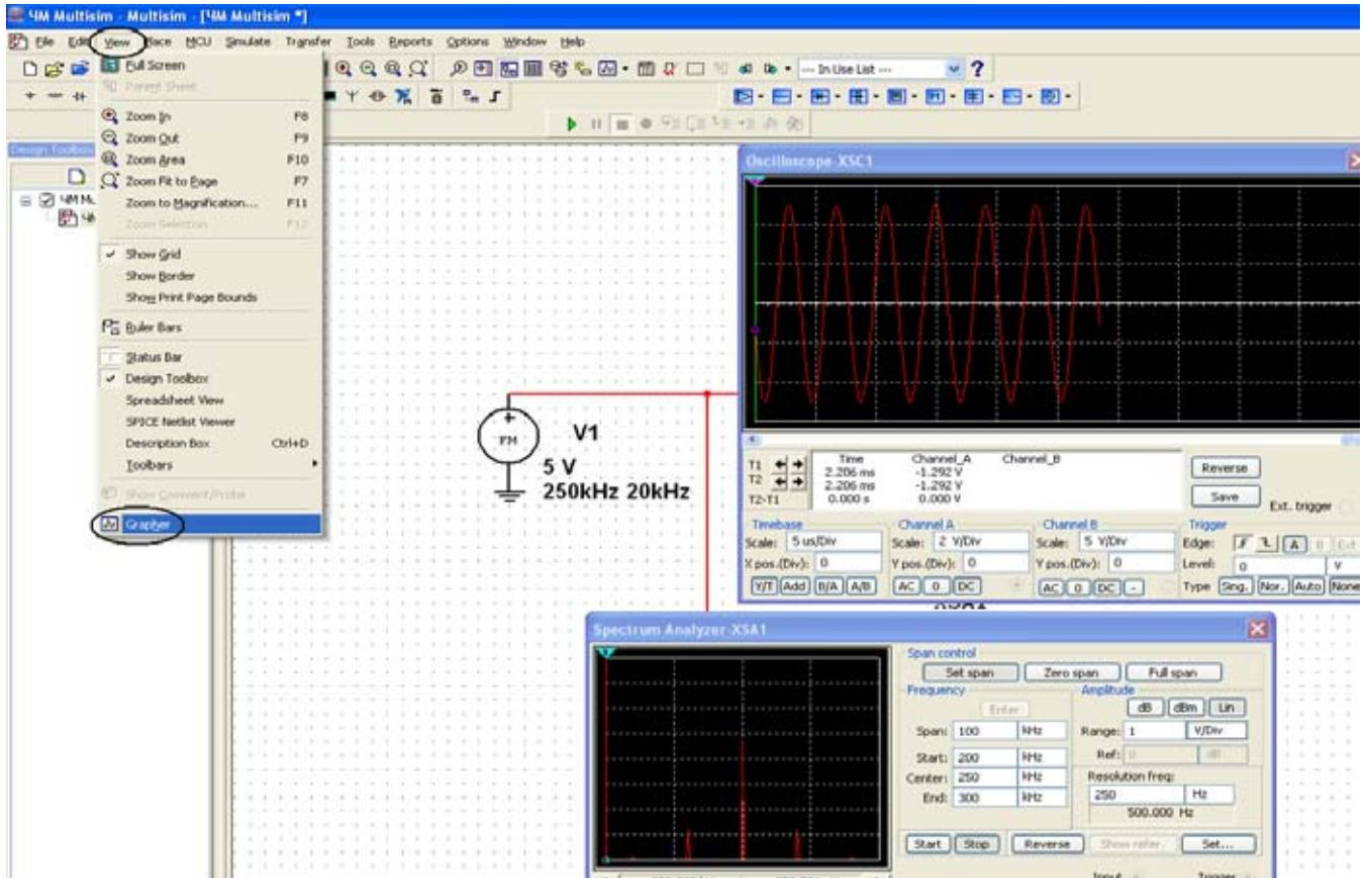
Вкладка Set: число точек разложения БПФ (FFTpoints): 8192.

Для запуска эксперимента необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по зеленому треугольнику Run панели Simulation или во вкладке Simulate. Зафиксируйте форму и спектр сигнала в соответствующем разделе отчета. Сделайте вывод о форме полученного ЧМ сигнала и его спектре.

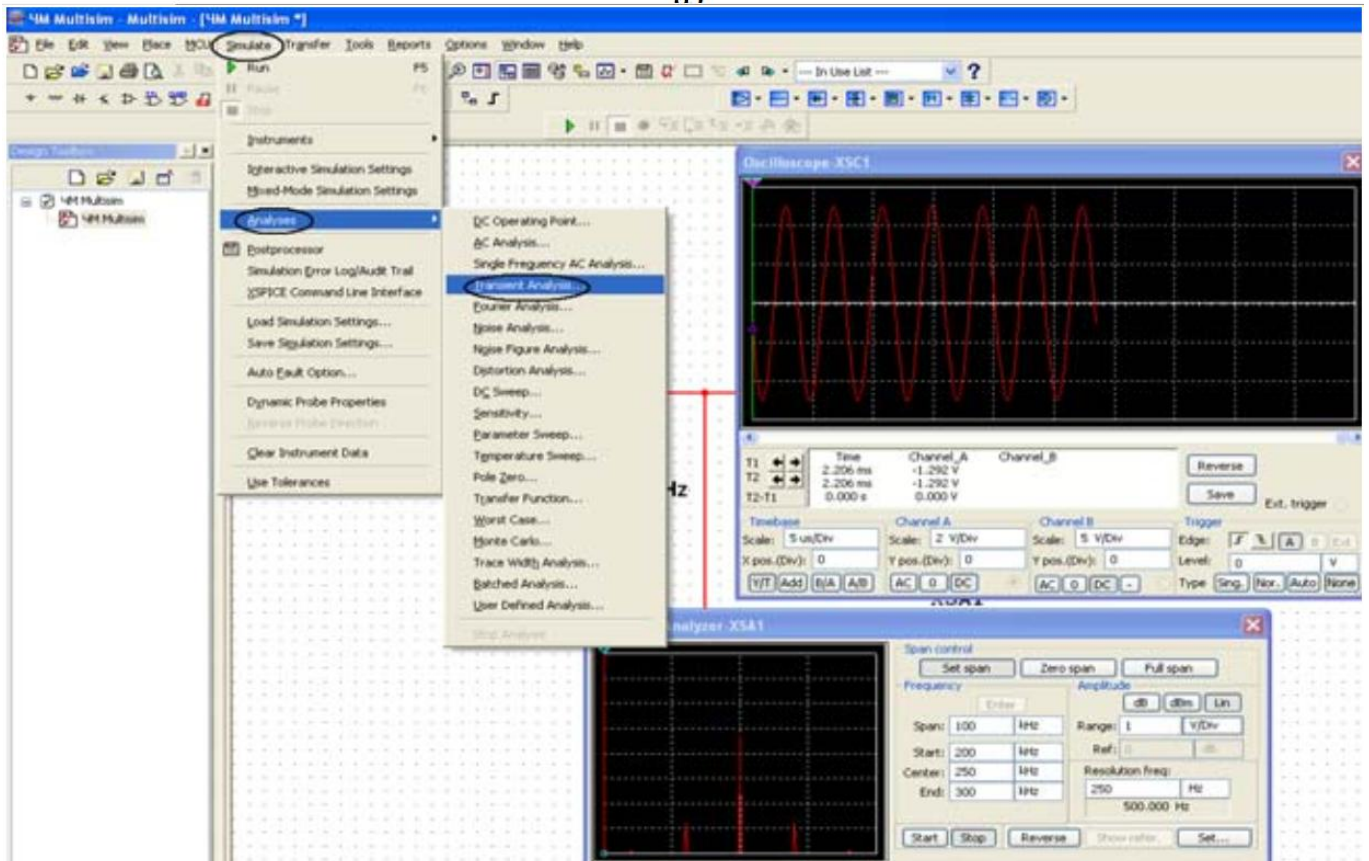
Повторите эксперимент при других коэффициентах и частотах модуляции ( $m_{\text{ЧМ}} = 0,5; 2; 5; 10; F_{\text{М}} = 50$  кГц). При изменении параметров ЧМ сигнала положения элементов регулировки осциллографа и анализатора спектра необходимо изменять с учетом ожидаемых ширины спектра и уровней спектральных составляющих сигнала.

До сих пор контроль временных частотных характеристик исследуемых сигналов осуществлялся их наблюдением на экранах используемых виртуальных приборов (показанных на рисунке 10) после их открытия двойным щелчком левой кнопки мыши по пиктограмме выбранного прибора.

Возможен и весьма полезен вывод и накопление получаемых результатов с помощью самописца, включаемого выбором позиции Grapher выпадающего меню View (рисунок 10, а) или пункта Analises и подпункта TransientAnalises ... (Анализ переходных процессов) в меню Simulate (рисунок 10, б). При каждом запуске эксперимента кнопкой Run и его останове кнопкой Stop simulation в самописце формируются вкладки с результатами.



a)



b)

Рисунок 10 – Выбор видов вывода характеристик ЧМ напряжения

Для детального рассмотрения полученных результатов при нажатой

левой кнопке мыши можно выделить интересующий фрагмент полученной характеристики, который будет показан более подробно в новом масштабе.

Полученные графики занесите в соответствующий раздел отчета.

Сделайте вывод о форме ЧМ сигнала и его спектре. Сравните полученные ЧМ сигналы с аналогичными кривыми, полученными в предварительном расчете.

#### **4 Требования к оформлению отчёта по выполнению лабораторной работы**

Отчёт должен быть оформлен с помощью редактора MS Word, версии 97 и выше (.doc, .rtf).

Параметры страницы:

- верхнее поле- 2 см;
- нижнее поле- 2 см;
- левое поле- 2 см;
- правое поле- 1 см;
- переплет- 0 см;
- размер бумаги А4;
- различать колонтитулы первой страницы.

Шрифт текста: Times New Roman, 14 пунктов, через 1,5 интервала, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1,25 см. Номер страницы внизу, справа, 14 пунктов.

Несложные формулы должны быть набраны с клавиатуры и с использованием команды «Вставка→Символ». Сложные формулы должны быть набраны в редакторе MathType 6.0 Equation.

Отчёт по выполнению лабораторной работе должен содержать:

- название предмета, номер и название лабораторной работы;
- фамилию и инициалы автора, номер группы;
- фамилию и инициалы преподавателя;
- цель работы;



- перечень используемого оборудования;
- последовательность действий при проведении исследований;
- вывод о проделанной работе;
- ответы на контрольные вопросы;
- дату выполнения и личную подпись.

Результаты различных измерений необходимо представить в виде нескольких самостоятельных таблиц и графиков. Каждая таблица и каждый график должны иметь свой заголовок и исходные данные эксперимента.

При выполнении численных расчетов надо записать формулу определяемой величины, сделать соответствующую численную подстановку и произвести вычисления.

## **5 Контрольные вопросы**

1. Что такое индекс модуляции?
2. Как зависит спектральный состав однотонового ЧМ сигнала от индекса модуляции?
3. Как расположены спектральные компоненты однотонового ЧМ сигнала относительно несущей частоты?
4. Как связаны ширина спектра ЧМ сигнала и индекс модуляции?
5. Поясните различие амплитудной и частотной модуляций?
6. Каков принцип радиосвязи с использованием ЧМ?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения лабораторных работ студент формирует следующие компетенции:

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
ОПК-2/ завершающий.	<p>ОПК-2.1 Использует принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и умеет оценивать их достоинства и недостатки.</p> <p>ОПК-2.2 Оперировать основными методами и средствами проведения экспериментальных исследований систем передачи, распределения, обработки и хранения информации.</p>	<p><b>Знать:</b> Отдельные варианты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации.</p> <p>Демонстрирует менее 60% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-2. Обучающийся нуждается в постоянных подсказках; допускает грубые ошибки, которые не может исправить самостоятельно.</p> <p><b>Уметь:</b></p>	<p><b>Знать:</b> Основные варианты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации.</p> <p>Демонстрирует 60-74% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-2. Знания обучающегося имеют поверхностный характер, имеют место неточности и ошибки.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять основные вариан-</p>	<p><b>Знать:</b> Варианты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации.</p> <p>Демонстрирует 75-89% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-2. Обучающийся имеет хорошие, но не исчерпывающие знания; допускает неточности.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять варианты реали-</p>	<p><b>Знать:</b> Эффективные варианты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации.</p> <p>Демонстрирует 90-100% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-2. Знания обучающегося являются прочными и глубокими, имеют системный характер. Обучающийся сво-</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
	<p>ции. ОПК-2.3 Применяет навыки реализации новых принципов и методов обработки и передачи информации в современных инфокоммуникационных системах и сетях. ОПК-2.4 Анализирует передовой отечественный и зарубежный опыт исследования современных инфокоммуникационных систем и /или их составляющих.</p>	<p>Применять отдельные варианты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации. Демонстрирует менее 60% умений, установленных в таблице 1.3 для ОПК-2. <b>Владеть:</b> Навыками применения отдельных вариантов реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и</p>	<p>ты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации. В целом сформированные, но вызывающие затруднения при самостоятельном применении умения, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2. <b>Владеть:</b> Навыками применения основных вариантов реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения,</p>	<p>зации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации. Сформированные и самостоятельно применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2. <b>Владеть:</b> Навыками применения вариантов реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов пе-</p>	<p>бодно оперирует знаниями. <b>Уметь:</b> Применять эффективные варианты реализации новых принципов и методов исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации. Хорошо развитые, уверенно и успешно применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2. <b>Владеть:</b> Навыками применения эффективных вариантов реализации новых принципов и методов исследова-</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
		хранения информации. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2 развиты на элементарном уровне.	обработки и хранения информации. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2 развиты на элементарном уровне.	ботки и хранения информации. навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2 хорошо развиты.	временных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации. навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-2 доведены до автоматизма.
ОПК-3/ завершающий.	ОПК-3.1 Применяет принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет-технологий, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств в дисципли-	<b>Знать:</b> Отдельные методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности. Демонстрирует менее 60% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-3. Обучающийся нуж-	<b>Знать:</b> Основные методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности. Демонстрирует 60-74% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-3. Знания обучающегося	<b>Знать:</b> Методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач в своей профессиональной деятельности. Демонстрирует 75-89% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-3. Обу-	<b>Знать:</b> Эффективные современные методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности. Демонстрирует 90-100% знаний, указанных

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
	<p>нах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности. ОПК-3.2</p> <p>Использует современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности. ОПК-3.3</p> <p>Анализирует передовой отечественный и зарубежный опыт при проведении исследований, проектировании,</p>	<p>дается в постоянных подсказках; допускает грубые ошибки, которые не может исправить самостоятельно.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>Применять отдельные методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности.</p> <p>демонстрирует менее 60% умений, установленных в таблице 1.3 для ОПК-3.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>Навыками применения отдельных методов приобретения, обработки и использования новой информации</p>	<p>имеют поверхностный характер, имеют место неточности и ошибки.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>Применять основные методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности.</p> <p>В целом сформированные, но вызывающие затруднения при самостоятельном применении умения, указанные в таблице 1.3 для ОПК-3.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>Навыками применения основных методов приобретения, обработки и использования но-</p>	<p>чающийся имеет хорошие, но не исчерпывающие знания; допускает неточности.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>Применять методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач в своей профессиональной деятельности.</p> <p>Сформированные и самостоятельно применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ОПК-3.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>Навыками применения методов приобретения, обработки и использования</p>	<p>в таблице 1.3 для ОПК-3. Знания обучающегося являются прочными и глубокими, имеют системный характер. Обучающийся свободно оперирует знаниями.</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>Применять эффективные современные методы приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности.</p> <p>хорошо развитые, уверенно и успешно применяемые умения, указанные в таб-</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
	организации технологических процессов и эксплуатации информационных систем, сетей и устройств и /или их составляющих.	в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач в своей профессиональной деятельности. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-3 не развиты.	вой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач в своей профессиональной деятельности. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-3 развиты на элементарном уровне.	новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач в своей профессиональной деятельности. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-3 хорошо развиты.	лице 1.3 для ОПК-3. <b>Владеть:</b> Навыками применения эффективных современных методов приобретения, обработки и использования новой информации в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач в своей профессиональной деятельности. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-3 доведены до автоматизма.
ОПК-4/ завершающий.	ОПК-4.1 Применяет основные методы обработки экспериментальных данных с помощью	<b>Знать:</b> Отдельные методы разработки и применения специализированного программно-математического обеспечения для	<b>Знать:</b> Основные методы разработки и применения специализированного программно-математического обеспечения для	<b>Знать:</b> Методы разработки и применения специализированного программного обеспечения для проведения	<b>Знать:</b> Эффективные современные методы разработки и применения специализированного программно-



Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
	современного специализированного программноматематического обеспечения при решении научно-исследовательских задач. ОПК-4.2 Использует современное специализированное программноматематическое обеспечение для решения задач приема, обработки и передачи информации и проведения исследований в области инфокоммуникаций. ОПК-4.3 Применяет методы компьютерного моделирова-	проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Демонстрирует менее 60% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-4. Обучающийся нуждается в постоянных подсказках; допускает грубые ошибки, которые не может исправить самостоятельно. <b>Уметь:</b> Применять основные методы разработки и применения специализированного программноматематического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследователь-	проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Демонстрирует 60-74% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-4. Знания обучающегося имеют поверхностный характер, имеют место неточности и ошибки. <b>Уметь:</b> Применять основные методы разработки и применения специализированного программноматематического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследователь-	исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. демонстрирует 75-89% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-4. Обучающийся имеет хорошие, но не исчерпывающие знания; допускает неточности. <b>Уметь:</b> Применять методы разработки и применения специализированного программноматематического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Демонстрирует 75-89% знаний,	математического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Демонстрирует 90-100% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-4. Знания обучающегося являются прочными и глубокими, имеют системный характер. Обучающийся свободно оперирует знаниями. <b>Уметь:</b> Применять эффективные современные методы разработки и применения специализированного программноматематиче-

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
	<p>ния и обработки информации с помощью специализированного программного математического обеспечения.</p>	<p>ских задач. Демонстрирует менее 60% умений, установленных в таблице 1.3 для ОПК-4.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения отдельных методов разработки и применения специализированного программного математического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-4, не развиты.</p>	<p>В целом сформированные, но вызывающие затруднения при самостоятельном применении умения, указанные в таблице 1.3 для ОПК-4.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов разработки и применения специализированного программного математического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-4, развиты на элементарном уровне.</p>	<p>указанных в таблице 1.3 для ОПК-4. Обучающийся имеет хорошие, но не исчерпывающие знания; допускает неточности.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения методов разработки и применения специализированного программного математического обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-4, развиты на элементарном уровне.</p>	<p>ского обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. демонстрирует 90-100% знаний, указанных в таблице 1.3 для ОПК-4. Знания обучающегося являются прочными и глубокими, имеют системный характер. Обучающийся свободно оперирует знаниями.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения эффективных современных методов разработки и применения специализированного программного математиче-</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
					ского обеспечения для проведения исследований и решения проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ОПК-4, доведены до автоматизма.
ПК-4/ завершающий.	ПК-4.1 Разрабатывает конструкторскую и эксплуатационную документацию на радиотехнические системы и радиоэлектронные средства. ПК-4.2 Проводит испытания радиотехнических систем и радиоэлектронных средств.	<b>Знать:</b> Отдельные методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Демонстрирует менее 60% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-4. Обучающийся нуждается в постоянных подсказках; допускает грубые ошибки, кото-	<b>Знать:</b> Основные методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Демонстрирует 60-74% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-4. Знания обучающегося имеют поверхностный характер, имеют место неточности и	<b>Знать:</b> Методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Демонстрирует 75-89% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-4. Обучающийся имеет хорошие, но не исчерпывающие знания; допускает	<b>Знать:</b> Эффективные современные методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Демонстрирует 90-100% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-4. Знания обучающегося являются

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
	ПК-4.3 Разрабатывает отчетные документы по результатам испытаний радио-технических систем и радиоэлектронных средств.	<p>рые не может исправить самостоятельно.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять отдельные методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Демонстрирует менее 60% умений, установленных в таблице 1.3 для ПК-4.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения отдельных методов разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ПК-4, не развиты</p>	<p>ошибки.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять основные методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. В целом сформированные, но вызывающие затруднения при самостоятельном применении умения, указанные в таблице 1.3 для ПК-4.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Навыки, указанные в таблице</p>	<p>неточности.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Сформированные и самостоятельно применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ПК-4.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения методов разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Навыки, указанные в таб-</p>	<p>прочными и глубокими, имеют системный характер. Обучающийся свободно оперирует знаниями.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять эффективные современные методы разработки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Хорошо развитые, уверенно и успешно применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ПК-4.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения эффективных современных методов разра-</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций			
		Недостаточный уровень («неудовл.»)	Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5	6
			1.3 для ПК-4, развиты на элементарном уровне.	лице 1.3 для ПК-4, хорошо развиты.	ботки конструкторской документации для производства и эксплуатации РЭА, в том числе для малых космических аппаратов. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ПК-4, хорошо развиты.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(обязательное)

**Форма титульного листа отчета, обучающегося о выполненной лабораторной работе****МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

**ОТЧЕТ**о выполненной лабораторной работе по дисциплине  
«Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем»  
на тему «\_\_\_\_\_»

Выполнил

\_\_\_\_\_

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Проверил

\_\_\_\_\_

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Курск 20\_\_\_\_