



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Радиоэлектроника»

Методические указания
к лабораторной работе
«Исследование сигналов с частотной
модуляцией»
по дисциплине

«Общая теория связи»

Авторы
Назарова О. Ю.,
Звездина М. Ю.

Ростов-на-Дону, 2019



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной форм обучения направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Радиоэлектроника»
Назарова О.Ю.,

д.ф.-м.н., профессор кафедры
«Радиоэлектроника» Звездина М.Ю.



Оглавление

Цель работы:	4
Приборы и оборудование:	4
Порядок выполнения ЛР	4
1. Исследование сигналов с ЧМ.....	4
2. Исследование зависимости характеристик сигнала ЧМ от параметров первичного электрического сигнала	7
3. Последовательность выполнения исследования работы ЧД.....	8
Содержание отчета.....	13
Контрольные вопросы	14
Список литературы	15

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Исследовать зависимость характеристик сигналов ЧМ от параметров первичного электрического сигнала, работу частотного детектора
2. Совершенствовать методику проведения экспериментальных исследований и анализа полученных результатов.
3. Прививать навыки работы с вычислительной техникой.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ:

1. Персональные компьютеры.
2. Программа схемотехнического моделирования Electronics Workbench 5.4.
3. Программа Multisim.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛР

1. Исследование зависимости характеристик сигналов ЧМ от параметров первичного электрического сигнала, работу частотного детектора
2. Исследование работы ЧД:
 - влияние параметров LC -контура на эффективность работы частотного детектора.
 - изучение работы частотного детектирования исходного сигнала.
3. Защита отчетов

1. Исследование сигналов с ЧМ

Программа Electronics Workbench содержит набор измерительных приборов, большую библиотеку элементов. Все, что необходимо исследовать конструируется из готовых библиотечных элементов и тут же начинает работать. Для данной лабораторной работы необходимые для исследования схемы уже собраны.

Временные диаграммы входного и выходного напряжений исследуются с помощью двухлучевого осциллографа, а спектральный состав - с применением режима спектрального анализа схемы.

Временные и спектральные характеристики сигнала ЧМ

Схема для проведения данных исследований

ий представлена на рис. 1.

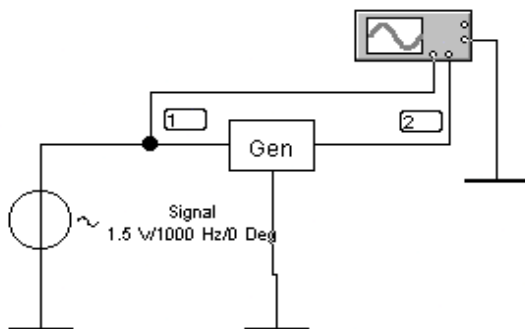


Рис. 1 Схема исследования сигнала ЧМ

Схема включает генератор несущего колебания *Gen*, источник сигнала *Signal* и осциллограф. В качестве источника сигнала используется генератор гармонических колебаний, амплитуду и частоту которого можно устанавливать произвольно. Генератор несущего колебания *Gen*, формирует гармоническое колебание с частотой 10КГц. Временные диаграммы входного и выходного напряжений исследуются с помощью двухлучевого осциллографа, а спектральный состав - с применением режима частотного анализа схемы.

Частотно-модулированным (ЧМ) называется высокочастотное колебание с постоянной амплитудой, приращение мгновенной частоты которого относительно среднего значения пропорционально модулирующему колебанию.

Максимальное отклонение частоты несущего колебания от своего номинального значения называют *девиацией частоты*, которое прямо пропорционально амплитуде модулирующего сигнала

$$\Delta f_m = \alpha U_{m\Omega},$$

где α - коэффициент пропорциональности, отражающий степень изменения частоты несущего колебания при изменении амплитуды первичного электрического сигнала на 1В, измеряется в кГц/ В. Например, колебание несущей с частотой 100 кГц модулируется гармоническим колебанием с амплитудой 5 В. Если $\alpha = 10$ кГц/В, то частота несущей увеличится на 50 кГц.

Отношение девиации частоты к частоте модулирующего колебания, называется *индексом частотной модуляции*

$$m_{\text{ЧМ}} = \Delta f_m / F.$$

Следовательно, при частотной модуляции индекс модуляции прямо пропорционален амплитуде модулирующего колебания и обратно пропорционален его частоте.

Спектральная диаграмма сигнала ЧМ для случая $m=2$ показана на рис.2. При модуляции гармоническим колебанием спектр теоретически бесконечен, имеет дискретный характер, расстояние между соседними спектральными составляющими равно частоте модулирующего колебания F .

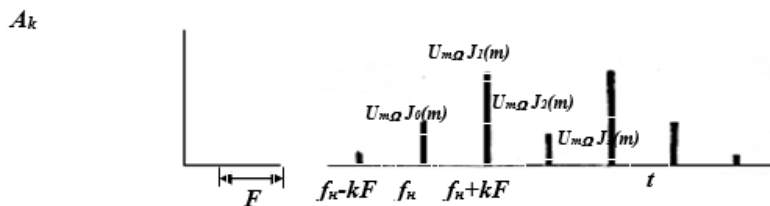


Рис. 2. Спектр сигнала ЧМ при модуляции тоном

В составе спектра есть несущее колебание с частотой f_H и бесконечное множество составляющих с частотами:

$f_H + kF$ – верхняя боковая полоса, где $k = 1, 2, 3, \dots$

$f_H - kF$ – нижняя боковая полоса где $k = 1, 2, 3, \dots$

Амплитуды составляющих спектра пропорциональны соответствующим значениям функций Бесселя первого рода $J_k(m)$ и определяются номером k функции Бесселя, графики которых показаны на рис.3.

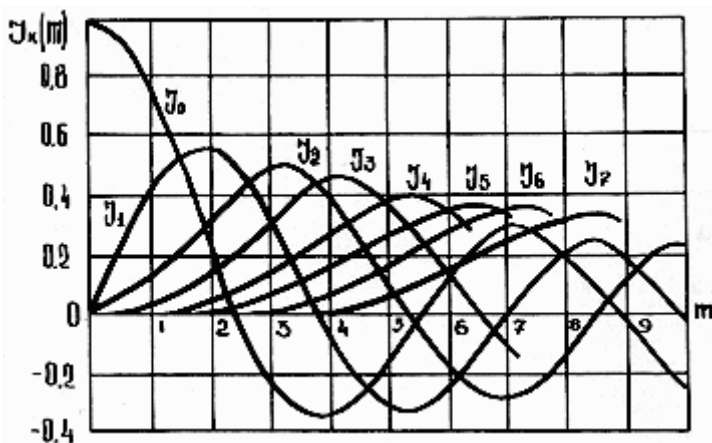


Рис. 3. Функций Бесселя первого рода

Аргументом функции Бесселя $J_k(m)$ является индекс частотной модуляции $m_{\text{ЧМ}}$. На практике учитывают число составляющих $k \approx 2(m+2)$.

Тогда ширина спектра определяется

$$\Delta F = 2F(m+2)$$

Общее выражение для определения ширины спектра – формула Манаева:

$$\Delta F = 2F(1 + m + \sqrt{m})$$

где F – частота первичного сигнала;
 m – индекс частотной модуляции.

2. Исследование зависимости характеристик сигнала ЧМ от параметров первичного электрического сигнала

1. Открыть файл **ЧМ.ewb**.
2. Ознакомиться со схемой исследования сигнала ЧМ и включить ее питание.
3. Двойным щелчком по изображению генератора сигнала раскрыть его переднюю панель и установить параметры: амплитуду **1,5 В**, частоту **1000 Гц**.
4. Вычертить временную диаграмму ЧМ сигнала.
5. Используя визирные линии осциллографа измерить пе-

риод минимального (f_{\min}) (максимального (f_{\max})) значения частоты ЧМ колебания. Для простоты измерения рекомендуется измерять период минимального значения частоты. Рассчитать минимальную (максимальную) частоту, определить девиацию, как:

$$\Delta f_m = f_n - f_{\min} = f_{\max} - f_n,$$

где f_n - значение частоты несущего колебания.

Рассчитать индекс частотной модуляции.

6. Вычертить спектр ЧМ сигнала.

7. Определить ширину спектра.

8. Установив значения параметров первичного сигнала: амплитуду **3 В**, частоту **1000 Гц** и выполнить пункты 4÷7.

9. Установив значения параметров первичного сигнала: амплитуду **3 В**, частоту **2000 Гц** и выполнить пункты 4÷7.

10. Сделать выводы о влиянии параметров первичного сигнала на девиацию, индекс модуляции и ширину спектра сигнала с ЧМ.

3. Последовательность выполнения исследования работы ЧД

3.1 Лабораторная работа выполняется в два этапа. На первом этапе исследуется влияние параметров LC-контура на эффективность работы частотного детектора. На втором этапе изучается работа частотного детектирования исходного сигнала.

Макет лабораторной установки для первого этапа исследований дает возможность выполнить исследования влияния номиналов параметров LC-контура на эффективность работы частотного детектора. Это обусловлено тем, что номиналов значений L и C определяют его АЧХ и значение резонансной частоты контура.

Для проведения исследований частотного детектора используем программный продукт *NIMultisim*. Структурная и принципиальная схемы макета приведены на рисунках 3.1 и 3.2 соответственно.

В схему включены следующие приборы:

- двухлучевой осциллограф (*oscilloscope*),
- измеритель АЧХ и ФЧХ (*BodePlotter*),
- генератор сигналов (*FunctionGenerator*),

- источник ЧМ-сигнала (*FM_Voltage*).

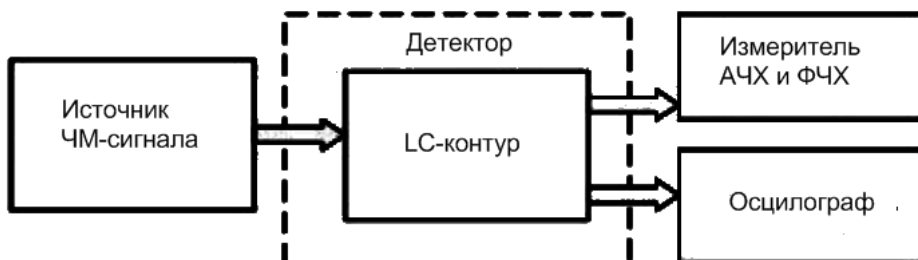


Рисунок 3.1 – Структурная схема исследования частотного детектора

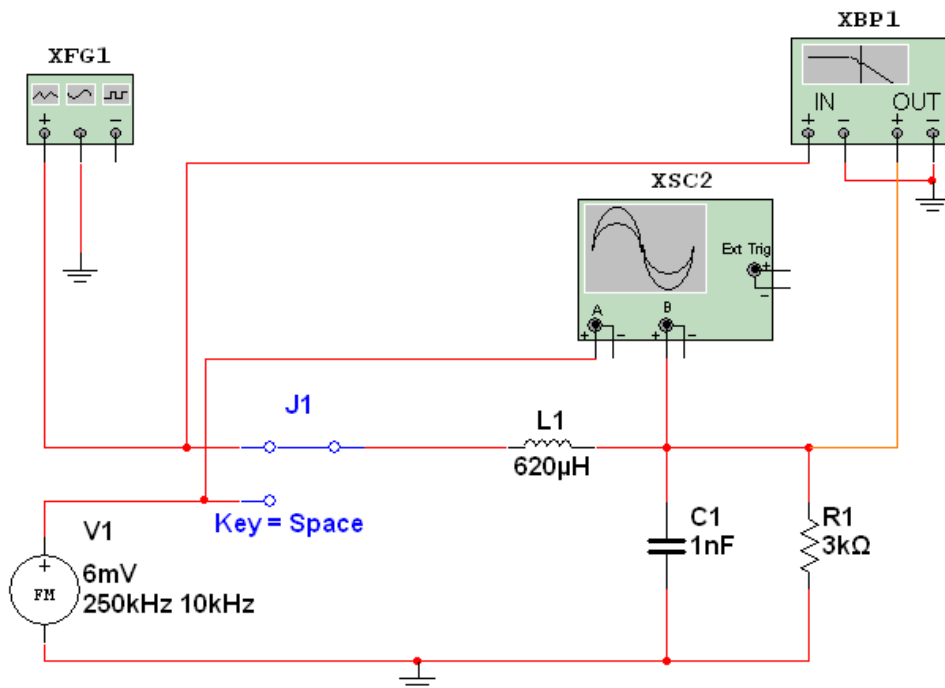


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема исследования частотного детектора

Вариант задания равен порядковому номеру студента в журнале группы.

Таблица 3.1 – Варианты исходных данных частотного модулятора

Общая теория связи

Номер варианта	Несущая-стота (Carrier Frequency), кГц	Амплитуда (Amplitude), мВ	Индекс модуляции (Modulation Index)	Частотамодуляции (Modulation Frequency), кГц
1	152	6	9	10
2	250	8	5	10
3	400	7	5	10
4	540	11	6	10
5	300	9	5	10
6	240	10	8	10
7	480	12	6	10
8	450	15	6	10
9	140	14	7	10
10	250	16	5	10

Таблица 3.2 – Варианты исходных данных фильтра

Номер варианта	$L1$, мкГн	$C1$, нФ	$R1$, кОм
1	350	3,6	12
2	620	1	51
3	62	2	3
4	30	2.2	1
5	300	1.3	27
6	620	1.2	47
7	62	1.5	2
8	150	1	6.2
9	150	5.1	1.5
10	62	47	1

3.2 Последовательность выполнения работы следующая. В программе *NIMultisim* создать модель для исследования частотного детектора, используя принципиальную схему, показанную на рисунке 3.1.

Установить параметры источника ЧМ-сигнала в соответствии с вариантом задания (таблица 3.1).

Установить значения $L1$, $C1$, $R1$ в соответствии с вариантом задания (таблица 3.2).

Работу начать с установки параметров виртуальных

средств измерения и симуляции. Для этого необходимо задать параметры отображения измерителя АЧХ и ФЧХ:

- масштаб отображения частоты и фазы (по горизонтали) – линейный,
- масштаб отображения амплитуды (по вертикали) – логарифмический,
- пределы отображения фазы (по вертикали) – от -180° до $+180^\circ$,
- пределы отображения частоты (по горизонтали) – от $F_c - 100\text{кГц}$ до $F_c + 100\text{кГц}$.

Настроить параметры развертки и делителя напряжения осциллографа таким образом, чтобы на его экране регистрировались 3-5 периодов сигнала без ограничения амплитуды.

Подключить источник ЧМ-сигнала (клавиша «Пробел»). Запустить симуляцию модели (клавиша F5) и наблюдать входной и выходной сигналы на входах осциллографа *A* и *B* в режимах *DC*. Остановить симуляцию незадолго до момента полного хода луча осциллографа. Перенести осциллограмму выходного сигнала в отчет.

С помощью маркеров измерить максимальную и минимальную амплитуды сигнала. Занести результаты в соответствующий раздел таблицы. Рассчитать коэффициент передачи ЧМ-детектора.

Резонансной частоте соответствует пик на амплитудно-частотной характеристике. Подтвердить значение резонансной частоты контура необходимо с помощью расчета по формуле:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (3.1)$$

Перенести график АЧХ из окна плоттера Бode в отчет.

Установить частоту источника ЧМ-сигнала равной резонансной частоте. Повторить измерения.

С помощью имеющихся значений индекса модуляции и частоты модулирующего сигнала определить девиацию частоты [рад] по формуле:

$$\omega_\delta = m\Omega,$$

где m – индекс модуляции.

Ω – угловая частота модулирующего сигнала.

Рассчитать добротность контура по формуле:

$$Q = \frac{2\pi f_p L}{R}, \quad (3.2)$$

где полное сопротивление (импеданс) LC -контура на рабочей частоте f рассчитывается по формуле:

$$R = 2\pi fL - (2\pi fC)^{-1}. \quad (3.3)$$

Для контроля получаемых значений следует иметь в виду, что добротность реальных колебательных контуров, выполненных на дискретных катушках индуктивности и конденсаторах, составляет от нескольких единиц до сотни и более.

По найденному значению добротности определить величину затухания контура:

$$d = Q^{-1}, \quad (3.4)$$

а также модуль коэффициент передачи контура:

$$|K(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}}. \quad (3.5)$$

3.3 Для второго этапа исследований принципиальная схема имеет вид, показанный на рисунке 3.3.

Работу начать с установки параметров виртуальных средств измерения и симуляции. Для этого необходимо, как и на первом этапе, задать параметры отображения измерителя АЧХ и ФЧХ:

- масштаб отображения частоты и фазы (по горизонтали) – линейный,
- масштаб отображения амплитуды (по вертикали) – логарифмический,
- пределы отображения фазы (по вертикали) – от -180° до $+180^\circ$,
- пределы отображения частоты (по горизонтали) – от F_C до $F_C + 100\text{кГц}$.

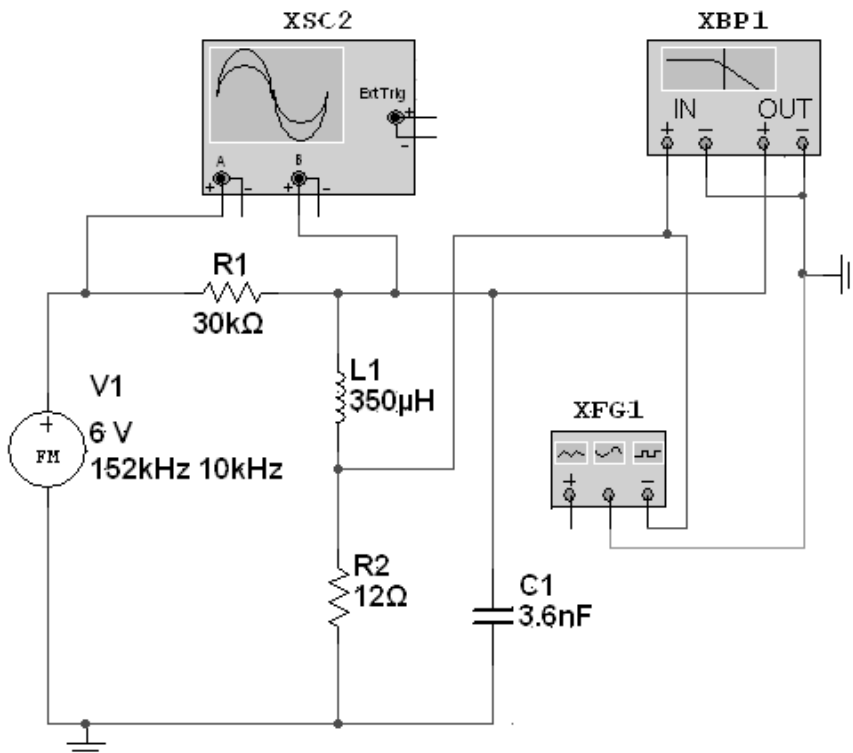


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема исследования частотного детектора на втором этапе

Настроить параметры развертки и делителя напряжения осциллографа таким образом, чтобы на его экране регистрировались 3-5 периодов сигнала без ограничения амплитуды.

Запустить симуляцию модели и наблюдать входной и выходной сигналы на входах осциллографа *A* и *B* в режимах *DC*. Остановить симуляцию незадолго до момента полного хода луча осциллографа. Перенести осциллограмму выходного сигнала (канал *B*) в отчет.

Содержание отчета

1. Наименование и целевая установка работы.
2. Схема формирования сигнала ЧМ и ЧД.
3. Временные и спектральные диаграммы сигнала ЧМ при

различных параметрах первичного сигнала.

4. Результаты измерений и расчета девиации, индекса частотной модуляции, ширины спектра, измеренные и расчетные данные, график АЧХ, выводы по полученным результатам данного исследования.
5. Выводы по результатам анализа полученных результатов.
6. Общие выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определение сигнала ЧМ.
2. Принципы формирования сигнала ЧМ.
3. Временная диаграмма сигнала ЧМ при модуляции гармоническим сигналом.
4. Определение и физический смысл девиации частоты.
5. Определение индекса частотной модуляции.
6. Спектральная диаграмма сигнала ЧМ при модуляции гармоническим сигналом.
7. Влияние величины индекса частотной модуляции на спектральную диаграмму сигнала ЧМ.
8. Ширина спектра сигнала ЧМ, ее связь с величиной индекса частотной модуляции.
9. Распределение мощности в спектре сигнала ЧМ и его связь с величиной индекса модуляции.
10. В каких устройствах используются частотные детекторы.
11. Какой основной алгоритм преобразования сигналов используется при построении частотных детекторов?
12. Определение частотной модуляции.
13. Определение индекса модуляции и девиации частоты.
14. Определение коэффициента передачи.
15. Определение импеданса LC -контура.
16. Определение добротности LC -контура.
17. Определение величины затухания контура.
18. Зачем осуществляется расстройка LC -контура?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. СПб: Лань, 2010. 240 с.
2. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. М.: Изд дом «Академия», 2010. 336 с.
3. Загидуллин Р.Ш. Multisim, LabVIEW и SignalExpress. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 366 с.