

Основы теории радиосистем передачи информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 4 - 6
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Воронеж 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

Основы теории радиосистем передачи информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 4 - 6
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Воронеж 2022

УДК 721:53(073)
ББК 38.113я7-5

Составитель канд. техн. наук Д. В. Журавлёв

Основы теории радиосистем передачи информации: методические указания к выполнению лабораторных работ № 4-6 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. В. Журавлёв. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022.– 20 с.

В методических указаниях изучаются вопросы исследования фазосдвигающего генератора, амплитудной модуляции и демодуляции. Тематика лабораторных работ соответствует рабочей программе дисциплины «Основы теории радиосистем передачи информации».

Предназначены для студентов 5 курса специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ОTRСПИ_УМД_ЛР4-6.pdf.

Ил. 11. Табл. 3. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 721:53(073)
ББК 38.113я7-5**

Рецензент – А. В. Останков, д-р техн. наук, профессор
кафедры радиотехники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания к выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой курса «Основы теории радиосистем передачи информации» для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

Лабораторные работы посвящены изучению основных узлов приемопередающих устройств: фазосдвигающего генератора, амплитудного модулятора и демодулятора. Моделирование осуществляется в среде для моделирования электронных схем Multisim.

Каждая лабораторная работа описана в отдельном разделе, который содержит краткие теоретические сведения, описание хода работы.

Методические указания содержат авторские иллюстрации.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ФАЗОСДВИГАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель состоит в демонстрации характеристик и принципа действия фазосдвигающего генератора в среде Multisim.

Генераторы используются как источники сигналов переменного тока. Они преобразуют мощность постоянного тока, получаемую от источника, в сигнал переменного тока. Генераторы порождают на выходе синусоидальные и несинусоидальные непрерывные формы сигналов, поддерживая желаемую частоту в пределах схемы. Известно, что нежелательные колебания встречаются в схемах, не предназначенных для колебательных сигналов. Таким образом, полное понимание основных принципов действия генераторов может помочь в предотвращении колебаний.

Генераторы играют важную роль в развитии любой коммуникационной системы. С их помощью генерируются сигналы с высокой несущей частотой, которые рассматриваются в разделе об АМ системах связи данного пособия. Низкочастотные модулирующие тестовые сигналы также получают с использованием колебательных контуров. Такие контуры лежат в основе импульсных генераторов, генераторов пилообразного сигнала и таймерных счетчиков. Будет рассмотрено несколько различных генераторов синусоидальных сигналов. Некоторые из них названы в честь своего создателя.

Генераторы нуждаются в единичном усилении на входе и выходе, а также (для всех случаев) в нулевом фазовом сдвиге в контуре обратной связи. Перечисленные требования соответствуют критерию Баркгаузена. Входная мощность, полученная от источника переменного тока, требуется также для поддержания собственных колебаний. Генераторы не только поставляют мощность на нагрузку, но, по сути, и сами ее (мощность) потребляют. Генераторы обеспечивают положительную обратную связь и усиление. Усиление предназначено для компенсации затуханий в схеме. Малые

начальные напряжения подаются на входные клеммы генератора, где происходит усиление и запуск колебаний. Как правило, такие напряжения появляются в результате всплесков, получаемых при первом включении источника постоянного тока. В Multisim подобные малые начальные напряжения воспроизведены искусственно.

Схема на рис.1 представляет собой высокочастотную RC-схему третьего порядка с обратной связью как точную модель генератора.

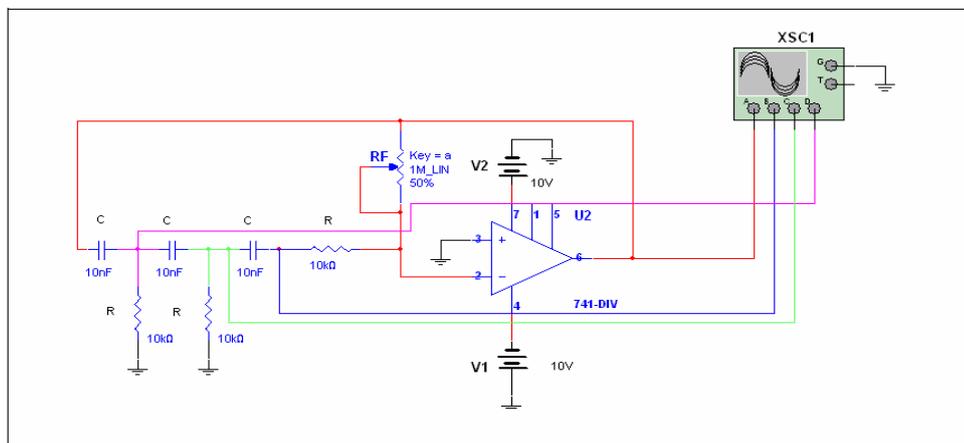


Рис. 1. Схема фазосдвигающего генератора

Также как и для любого другого генератора, критерий Баркгаузена определяет необходимость сдвига по фазе в 360 градусов между входным и выходным сигналами, а также общий коэффициент усиления в данной схеме должен быть не меньше единицы. На рис.1, инвертирующий операционный усилитель обеспечивает фазовый сдвиг в 180 градусов. RC-цепь должна обеспечивать дополнительные 180 градусов для итогового фазового сдвига со значением ноль градусов. Каждый из блоков схемы обеспечивает примерно по 60 требуемых для сдвига градусов. Часть фильтра, состоящая из RC-цепочки, вносит затухания, которые должны быть выровнены при помощи операционного усилителя для достижения единичного коэффициента усиления в схеме.

Минимальный необходимый коэффициент усиления операционного усилителя, который должен поддерживать колебания, равен 29. Поддержание коэффициента усиления в районе 29 (насколько это возможно) предотвратит попадание максимальных значений кривой в нелинейную область. Посредством этого достигается минимизация обрезания синусоидального сигнала на выходе.

Компоненты схемы:

- Источник питания: +10 В, -10В (DC Supplies);
- Операционный усилитель: 741-DIV (Opamp);
- Резисторы: 10 кОм (3), 1 МОм потенциометр (Resistors);
- Конденсатор: 10 нФ (3) (Capacitor);
- Осциллограф (Oscilloscope);

- Анализатор спектра (Spectrum Analyzer).
Частота колебаний определяется по формуле:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}; \quad (1)$$

Для поддержания колебаний необходимо выполнение равенства $\frac{R_F}{R} = 29$.

1.2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Далее представлен ход выполнения лабораторной работы.

1. Соедините элементы схемы как это показано на рис. 1.
2. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите масштаб на временной оси 2 мс/дел, на амплитудной оси Channel A - 2 В/дел и Channel B - 10 мВ/дел.
3. Запустите процесс моделирования и измерьте частоту колебаний.
4. Остановите процесс моделирования, разместите на рабочей области анализатор спектра и подсоедините его вход к проводу с выхода осциллятора (Вывод №6 на выходе Операционного усилителя).
5. Двойным щелчком мыши откройте анализатор спектра.
6. Выберите Set Span (установка диапазона измерений). Установите параметры Start = 0 кГц (начальная частота), End = 1 кГц (конечная частота), Amplitude = LIN (амплитуда) и Range = 0.01 В/дел (масштаб). Нажмите Enter.
7. Перезапустите процесс моделирования. Когда колебания станут устойчивыми, сдвиньте красный маркер на позицию наблюдаемой спектральной линии. Запишите значение частоты, указанное в левом нижнем углу окна анализатора спектра. $f_c = \underline{\hspace{2cm}}$.
8. При изменении значения сопротивления потенциометра посмотрите изменения осциллограммы и зафиксируйте их.

1.3. ПРЕДПОЛАГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

При правильном выполнении задания лабораторной работы результат моделирования должен быть как на рис. 2.

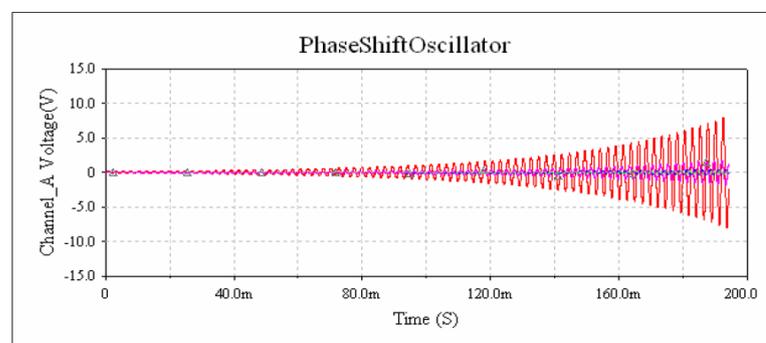


Рис. 2. График начальных колебаний фазосдвигающего генератора на экране осциллографа

1.4. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Для схемы на рис. 1 рассчитать необходимое значение емкости конденсатора C для обеспечения колебаний с частотой 900 Гц. Изменить текущие параметры моделирования, дважды щелкнув мышью на нужном виртуальном компоненте. Запустить моделирование и сравнить результаты с ожидаемыми теоретическими значениями.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель работы состоит в исследовании амплитудного модулятора в различных режимах работы в среде Multisim.

Для эффективной передачи сигналов с помощью радиоволн необходимо перенести спектр этих сигналов из низкочастотной области в диапазон достаточно высоких частот. Данная процедура в радиоэлектронике называется модуляцией.

Наиболее простым и распространённым видом модуляции является амплитудная модуляция (АМ), при которой по закону управляющего сигнала изменяется амплитуда высокочастотных колебаний, а частота и начальная фаза остаются постоянными:

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2)$$

где $U(t)$ – амплитуда высокочастотного колебания; $\omega_0 = 2\pi f$ – частота несущего колебания; φ_0 – начальная фаза колебания.

Кривая, соответствующая изменению амплитуды высокочастотного колебания, называется огибающей.

Рассмотрим простейший случай АМ колебаний, когда огибающая является чисто гармоническим сигналом. Если для простоты принять, что начальные фазы высокочастотного колебания и огибающей равны нулю, то выражение для АМ колебания можно записать следующим образом:

$$u(t) = U(t) \cos \omega_0 t = (U_0 + \Delta U \cos \Omega t) \cos \omega_0 t = U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t, \quad (3)$$

где $\Omega = 2\pi F$ – частота сигнала; $m = \Delta U / U_0$ – коэффициент (или глубина) модуляции.

Для неискажённой передачи сигнала коэффициент модуляции не должен быть больше единицы $0 \leq m \leq 1$.

Если обозначить U_{\max} и U_{\min} максимальное и минимальное значения напряжений высокой частоты, то можно записать:

$$U_{\max} = U_0(1 + m); U_{\min} = U_0(1 - m). \quad (4)$$

Отсюда следует

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}. \quad (5)$$

Амплитуда высокочастотного колебания меняется по закону модулирующего сигнала. Из (1) следует, что процесс модуляции сводится к перемножению двух временных функций, одна из которых является управляющим (низкочастотным) сигналом, а другая – управляемым (высокочастотным) сигналом. Спектр АМ колебания легко определяется из выражения (3). Для этого раскроем скобки и выполним преобразования:

$$\begin{aligned}
 u(t) &= U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t = \\
 &= U_0[\cos \omega_0 t + 0.5m \cos(\omega_0 + \Omega)t + 0.5m \cos(\omega_0 - \Omega)t] = \\
 &= U_0 \cos \omega_0 t + 0.5m \cos(\omega_0 + \Omega)t + 0.5m \cos(\omega_0 - \Omega)t
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Первое слагаемое в правой части выражения (6) представляет собой исходное колебание несущей частоты, второе слагаемое называется верхней боковой частотой, третье слагаемое – нижней боковой частотой.

Таким образом, спектр АМ колебания при модуляции гармоническим сигналом состоит из трёх линий на частотах: ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$. Полная ширина спектра сигнала равна 2Ω .

2.2. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

2.2.1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является амплитудный модулятор, собранный на основе биполярного транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером. Его схема приведена на рис. 3.

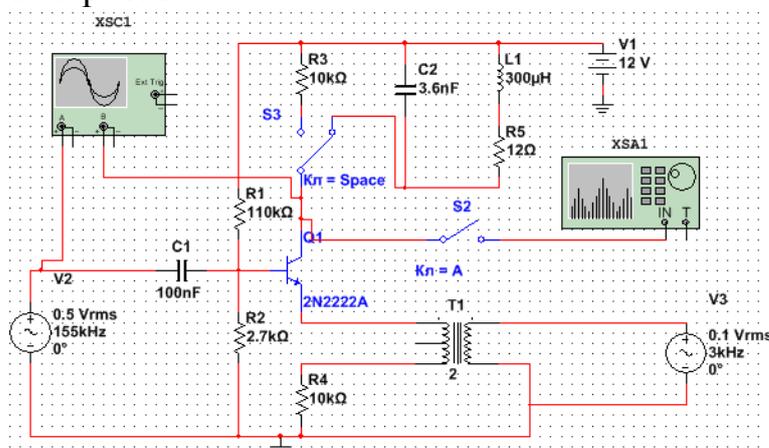


Рис. 3. Схема для исследования амплитудного модулятора на биполярном транзисторе

2.2.2. НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

Q1 – транзистор, который служит в качестве нелинейного элемента. С его помощью происходит сложением колебаний от двух генераторов переменного напряжения. C1 – разделительный конденсатор, который развязывает по постоянному току вход каскада и выход источника сигнала (выход предыдущего каскада) и связывает их по переменному току. Он вызывает завал амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в области нижних частот. C2 – конденсатор, входящий в состав колебательного контура L1-C2 в цепи

коллектора. R1, R2 – резистивный делитель постоянного напряжения от источника V1. Делитель задаёт постоянное напряжение на базу транзистора, обеспечивая заданный рабочей точкой ток коллектора $I_{ок}$. От величины сопротивлений R1 и R2 зависит входное сопротивление каскада, низкочастотная постоянная времени входной цепи, а также стабильность рабочей точки (режима по постоянному току) каскада на биполярном транзисторе. R3 – резистор в цепи коллектора транзистора, который преобразует изменение тока коллектора, вызванное действием входного сигнала, в выходное напряжение сигнала. Он является нагрузкой каскада, от величины сопротивления которой зависит коэффициент усиления каскада. Он также определяет (при заданном токе $I_{ок}$) постоянное напряжение между коллектором и эмиттером. R4 – резистор в цепи эмиттера, который служит для стабилизации рабочей точки (режима по постоянному току), во многом определяя её положение на семействе выходных (стоковых) вольт-амперных характеристик транзистора.

Источники питания:

V1 – источник постоянного напряжения для питания транзистора;

V2 – источник переменного высокочастотного напряжения, используемого в качестве модулированного колебания;

V3 – источник переменного низкочастотного напряжения, которое используется в качестве модулирующего колебания.

Измерительные приборы:

XSC1 – осциллограф, который используется для контроля формы входного и выходного сигналов;

XSA1 – анализатор спектра, который используется для определения спектра выходного сигнала.

2.3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

2.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ИСТОЧНИКА МОДУЛИРУЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ V3 НА КОЭФФИЦИЕНТ МОДУЛЯЦИИ

Создайте модель для исследования амплитудного модулятора в соответствии с принципиальной электрической схемой, приведённой на рис. 3.

Установите параметры источников сигналов V2, V3 и значения элементов L1, C2, R5 в соответствии с вариантом задания, указанным преподавателем и табл. 1.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Включить модель и наблюдать АМ-сигнал на входе В осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale).

2. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа. В результате должен получиться сигнал, показанный на рис. 4.

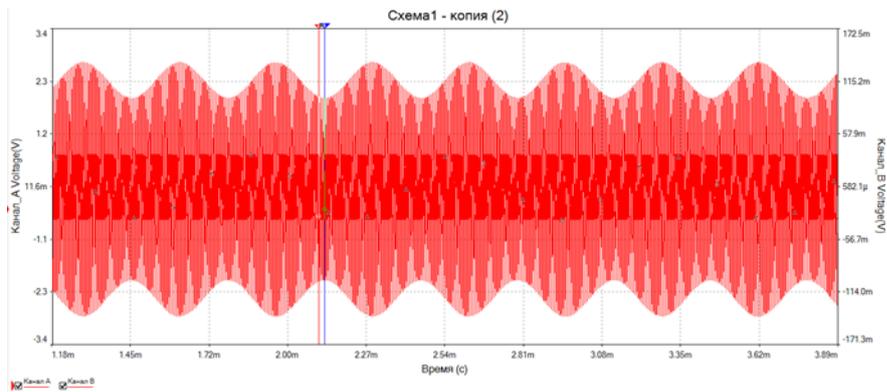


Рис. 4. График сигнала АМ, полученный в результате моделирования

Таблица 1

Варианты заданий

№	Амплитуда источника сигнала V2, В	Частота источника сигнала V2, кГц	Амплитуда источника сигнала V3, В	Частота источника сигнала V3, кГц	L1, мкГн	C2, нФ,	R5, Ом
1	0.5	155	0.1	3	300	3.6	12
2	0.5	200	0.1	5	620	1	51
3	0.5	450	0.1	7	62	2	3
4	0.5	610	0.1	3	30	2.2	1
5	0.5	255	0.1	7	300	1.3	27
6	0.5	185	0.1	4	620	1.2	47
7	0.5	515	0.1	8	62	1.5	2
8	0.5	405	0.1	6	150	1	6.2
9	0.5	180	0.1	2.5	150	5.1	1.5
10	0.5	295	0.1	2	62	47	1

3. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher).

4. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге).

5. Повторить измерения по п.п. 1–4, увеличивая амплитуду источника V3. Измерения проделать для следующих значений: V3 = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 и 5 В.

6. Провести расчёт коэффициентов модуляции по полученным данным (см. расчётные формулы в разделе «Теоретические сведения»). Результаты занести в табл. 2. Построить график зависимости $m = f(V3)$.

Таблица результатов

	Опытные значения							
V_2 , В								
U_{\max}								
U_{\min}								
m								

2.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АМПЛИТУДЫ ИСТОЧНИКА МОДУЛИРОВАННОГО НАПРЯЖЕНИЯ V_2 НА ФОРМУ АМ-СИГНАЛА

Ход исследования:

1. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_3 = 0,5$ В;
2. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_2 = 1$ В;
3. Включить модель и наблюдать АМ-сигнал на входе “В” осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale);
4. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа;
5. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
6. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);
7. Повторить измерения по пп. 3–6, увеличивая амплитуду источника V_2 . Измерения проделать для следующих значений: $V_2 = 1,5; 2; 2,5$ В.

2.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЯ

Процедура исследования:

1. Установить амплитуду источника гармонического сигнала $V_2 = 0,5$ В;
2. Подключить резистор R_3 в коллекторную цепь транзистора при помощи ключа J_1 (это можно сделать, нажав клавишу Space);
3. Включить модель и наблюдать АМ-сигнал на входе “В” осциллографа (в режиме АС), установив необходимые значения длительности развертки (Timebase) и делителей напряжения (Scale);
4. Выключить модель незадолго до момента полного хода луча осциллографа;
5. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
6. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);
7. Подключить к коллектору транзистора анализатор спектра при помощи ключа J_2 (это можно сделать, нажав клавишу A);
8. Включить модель и определить спектр выходного сигнала;

9. Выключить модель;
10. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
11. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);

Виды сигналов, полученные в процессе выполнения данного задания показаны на рис. 5 и рис. 6.

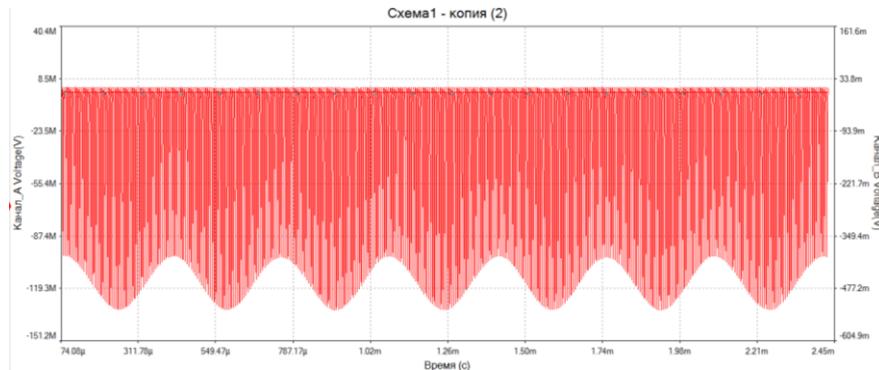


Рис. 5. График сигнала АМ при нелинейном режиме работы усилителя

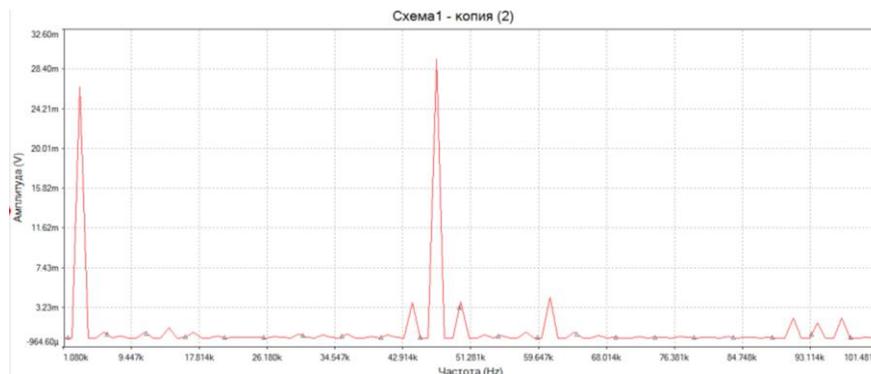


Рис. 6. График спектра АМ при нелинейном режиме работы усилителя

2.3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА МОДУЛЯТОРА

Процедура исследования:

1. Подключить контур L1-C2 в коллекторную цепь транзистора при помощи ключа J1 (это можно сделать, нажав клавишу Space);
 2. Включить модель и определить спектр выходного сигнала;
 3. Выключить модель;
 4. Включить отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher);
 5. Копировать график в соответствующий раздел отчёта (можно нарисовать график на миллиметровой бумаге);
3. Экспериментальное исследование при помощи встроенного в Multisim источника амплитудно-модулированного напряжения;

Используемые приборы:

- Амплитудный модулятор (AM Modulator)
- Осциллограф (Oscilloscope)

– Анализатор спектра (Spectrum Analyzer)

2.3.4.1. ОПЫТ № 1

1. Соберите схему, изображённую на рис. 7.

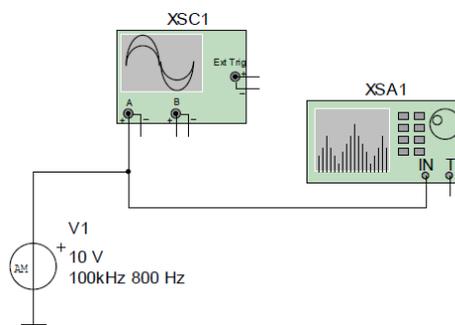


Рис. 7. Схема амплитудного модулятора

2. Кликните на пиктограмме амплитудного модулятора. Установите значение несущей амплитуды (Carrier Amplitude) 10 В, значение несущей частоты (Carrier Frequency) 100 кГц, частоту модуляции (Modulating Frequency) 800 Гц и коэффициент модуляции (Modulation Index) 0.6.

3. Кликните на пиктограмме осциллографа. Установите масштаб по оси времени 1 мс/дел., а канала А (Channel A) – 10 В/дел. Выберите автоматический пуск и связь по постоянному току.

4. Кликните на пиктограмме спектрального анализатора. Установите параметры масштаба: диапазон частот (Span) 10 кГц, центральная частота 100 кГц и амплитуду (Amplitude)= LIN.

5. Запустите процесс моделирования.

6. Кликните на пиктограмме осциллографа. Включите отображение осциллограммы на плоттере (View-Grapher). Измерьте частоты несущей и модулированного сигнала, сравните полученные результаты с частотами амплитудного модулятора.

7. Кликните на пиктограмме спектрального анализатора. Включите отображение спектра на плоттере (View-Grapher). Скопируйте, или нарисуйте спектр амплитудно-модулированного колебания. В открывшемся окне-экране, используя вертикальный маркер исследуйте амплитудный спектр, измерьте частоты нижней и верхней боковой полосы, а также частоту несущей. Сравните с теоретическими значениями, запишите полученные результаты в табл. 3.

Рабочие формулы для работы следующие:

- нижняя боковая частота: $f_{\text{ниж}} = f_{\text{ц}} - f_{\text{мод}}$
- верхняя боковая частота: $f_{\text{верх}} = f_{\text{ц}} + f_{\text{мод}}$

Результаты измерений

	Опытные значения	Теоретические значения
Нижняя частота боковой полосы		
Верхняя частота боковой полосы		

2.3.4.2. ОПЫТ № 2

1. Кликните на пиктограмме амплитудного модулятора. Установите значение несущей частоты 200 кГц, частоту модуляции 500 Гц, коэффициент модуляции 1.

2. Запустите процесс моделирования и исследуйте полученные результаты во временной и частотной областях.

3. Получите осциллограмму и спектр амплитудно-модулированного колебания (для этого надо включить отображение осциллограммы и спектра на плоттере (View-Grapher). Скопируйте или нарисуйте осциллограмму и спектр АМ-колебания.

4. Установите коэффициент модуляции равным 1,2 и проанализируйте полученные результаты. Включите отображение осциллограммы и спектра на плоттере (View- Grapher). Скопируйте или нарисуйте осциллограмму и спектр АМ-колебания. Как изменилось изображение на осциллографе.

2.4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

Содержание отчёта лабораторной работы:

- 1) цель работы;
- 2) схема амплитудного модулятора, собранного на основе биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером;
- 3) графики осциллограмм и спектров сигналов;
- 4) таблица измеренных и рассчитанных значений коэффициента модуляции;
- 5) график зависимости коэффициента модуляции от величины модулирующего напряжения: $m = f(V_3)$;
- 6) таблица опытных и теоретических значений нижней и верхней боковых частот (табл. 3);
- 7) графики осциллограмм и спектров сигналов, полученных в результате выполнения заданий;
- 8) выводы по результатам экспериментального исследования.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 АМПЛИТУДНАЯ ДЕМОДУЛЯЦИЯ

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ И КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель моделирования состоит в демонстрации характеристик и принципа действия детектора огибающей, а также в получении представления о стадиях воздействия которому подвергается модулированный сигнал в приемнике, вследствие чего восстанавливается исходная переданная информация.

Полученный приемником, АМ-сигнал подвергается нескольким стадиям обработки в процессе демодуляции. Далее рассмотрим стадию получения и фильтрации сигнала с использованием простого диодного детектора. Другие более сложные детекторы, использующие в большинстве своем ФАПЧ-схемы (с фазовой автоматической подстройкой частоты) обеспечивают, совместно с АРУ-схемами (автоматической регулировки усиления), индекс модуляции близкий к единице.

Поскольку схемы осуществляющие процесс детектирования неизменны, фундаментальное требование к сигналу на входе детектора заключается в том, что полоса частот должна лежать по другую сторону от фиксированной частоты. Эта фиксированная частота называется ПЧ или промежуточной частотой и получается в результате микширования частоты колебаний гетеродина с РЧ (радиочастотой) спектра, которая была отфильтрована на РЧ-стадии процесса демодуляции. Фиксированное значение промежуточной частоты равно 455 кГц. Этот сигнал с промежуточной частотой подается на вход тщательно подобранного усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

Частота колебаний гетеродина (ГТ) в распространенных супергетеродинных приемниках регулируется при помощи управления настройкой на 455 кГц выше несущей РЧ, $f_{ГД} = f_c + f_{ПФ}$. Зачем необходим гетеродин? Помните, что детектор требует, чтобы частота передаваемого сигнала была транслирована на другую сторону фиксированной промежуточной частоты. Пропускание РЧ спектра и частоты гетеродина через микшер в результате даст сумму или разность поданных на вход частот. Эта разность частот - именно та, которая требуется ПЧ спектром. Рассмотрим несущую частоту 1050 кГц передающую информационный сигнал с частотой 5 кГц.

Особенностью ПЧ-фильтра является крутой спад характеристик, что обеспечивает отсечение любых частот, отличных от ПЧ частоты транслированного спектра. Сигнал с выхода фильтра является входным сигналом для детектора. Детектор огибающей (рис. 7) предназначен главным образом для детектирования полуволны сигнала. Постоянная времени RC должна обеспечивать быстрое нарастание сигнала и медленный спад. Тем самым будет обеспечено регистрирование детектором колебаний амплитуды огибающей. Постоянную времени RC детектора огибающей следует определять так:

$$RC = \frac{1}{2\pi m f_m} \quad (7)$$

Для упрощения схема АРУ, помогающая контролировать уровень входного сигнала детектора, не показана на рис.5.

Одним из главных недостатков детектора огибающей является эффект падения напряжения на диоде V_d . Эти 0,7 В представляют собой задержку между точкой, где сигнал достигает входа и где конденсатор способен предоставить возможность выходному сигналу реагировать на входной сигнал. В конечном счете, это выражается в потере мощности, поскольку индекс модуляции не может достичь оптимального значения – единицы. Детектор, представленный на рис.6 будет регистрировать модулированные сигналы за границами полосы частот с использованием особого фильтра нижних частот, поддерживающего частоту среза на уровне 2 кГц (с целью ознакомления).

3.2 КОМПОНЕНТЫ СХЕМЫ И ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАБОТЫ

В схемах на рис. 7 и рис. 8 использованы устройства и электрорадиоэлементы следующих типов и номиналов:

- Резисторы: 330 Ом, 620 Ом, 3.3 кОм, 5.2 кОм, 15 кОм, 33 кОм (Resistors);
- Конденсаторы: 2 нФ, 4.7 нФ, 2.2 нФ, 12 нФ (Capacitors)
- Диод: 1N4148 (Diode);
- Идеальный (образцовый) операционный усилитель (Ideal Opamps);
- Амплитудный модулятор (AM Modulator);
- Осциллограф (Oscilloscope).

Постоянная времени RC цепи рассчитывается по формуле (7).

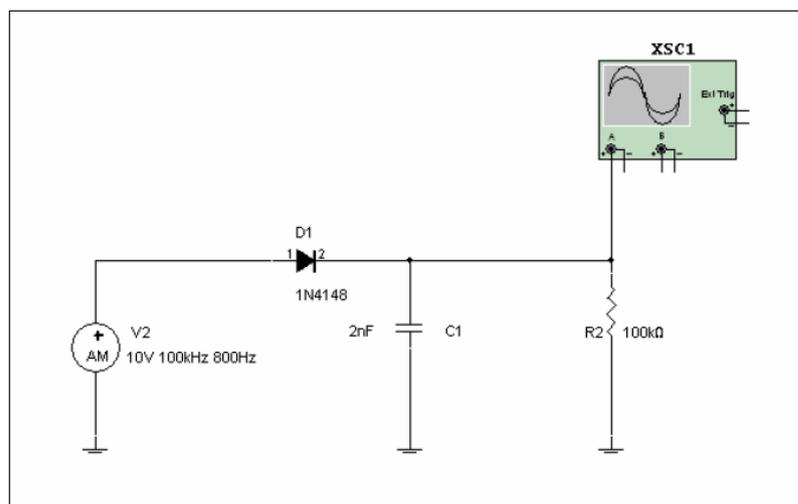


Рис. 8. Схема моделирования детектора огибающей

3.3. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения лабораторной работы необходимо составить схему измерения, как показано на рис. 9.

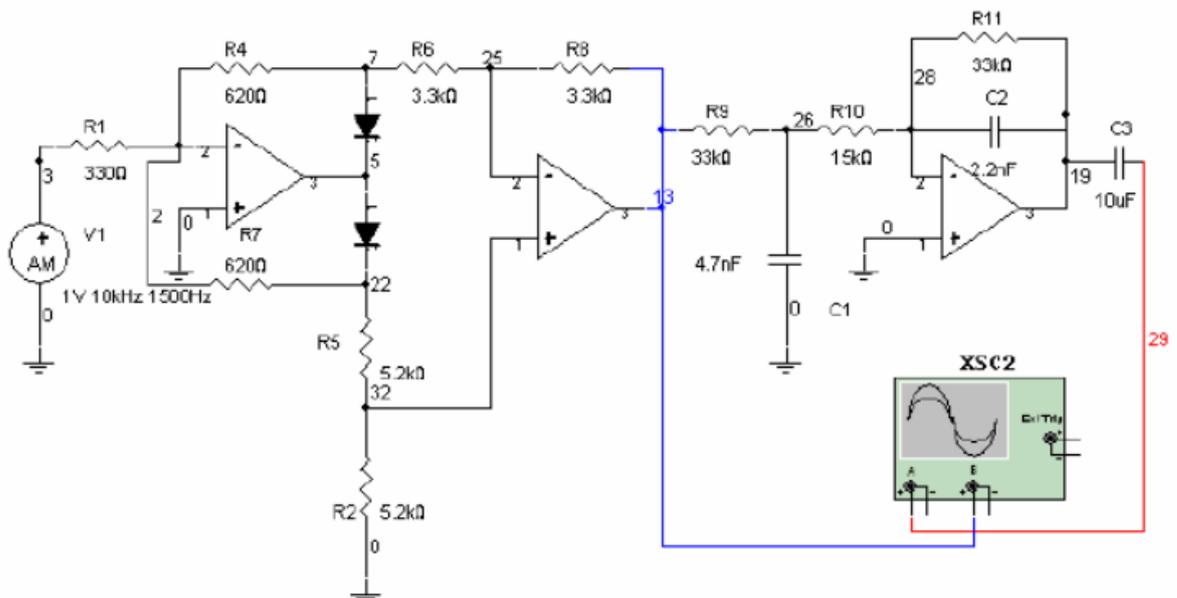


Рис.9. Схема моделирования диодного детектора

Далее выполнить следующие действия:

1. Двойным щелчком мыши откройте окно осциллографа. Установите масштаб на временной оси 10 мс/дел и на амплитудной оси Channel A - 10 В/дел. Выберите Auto triggering and DC coupling (автозапуск и связь по постоянному току).
2. Дважды щелкните мышью по иконке источника АМ-сигналов для изменения его параметров. Установите carrier amplitude (амплитуду несущей) = 10 В, carrier frequency (несущую частоту) = 100 кГц, modulation index (показатель модуляции) = 0.6 и modulation frequency (частоту модуляции) = 800 Гц.
3. Запустите процесс моделирования и измерьте частоту демодулированного сигнала, сравните это значение с предполагаемым. Запишите Ваши результаты в разделе Данные к лабораторной работе.
4. Дважды щелкните мышью на резисторе для того, чтобы изменить его значение. Выберите резистор в 500 кОм. Запустите процесс моделирования заново. Зарисуйте форму сигнала, соответствующего слишком большому значению постоянной времени. Далее, замените сопротивление резистора с 500 кОм на 10 кОм. Запустите процесс моделирования и зарисуйте форму сигнала, соответствующего слишком низкому значению постоянной времени.
5. Измените схему детектора так, чтобы обеспечить оптимальное детектирование 500 герцового модулированного сигнала. Замените компоненты, переустановите параметр частоты модуляции в источнике АМ-сигналов и запустите процесс моделирования.
6. Соедините элементы схемы в соответствии с тем, что изображено на рис. 38. Подключите оба канала осциллографа так, как это показано. Установите масштаб 500 мкс/дел по временной оси, по амплитудной оси Channel A - на 500 мВ/дел и Channel B – на 5 В/дел. Установите источник АМ-сигналов как указано на рис.8. Запустите процесс моделирования. Запишите Ваши наблюдения.

3.4. ПРЕДПОЛАГАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ

В результате моделирования собранной схемы необходимо получить осциллограммы, показанные на рис. 10 и рис. 11.

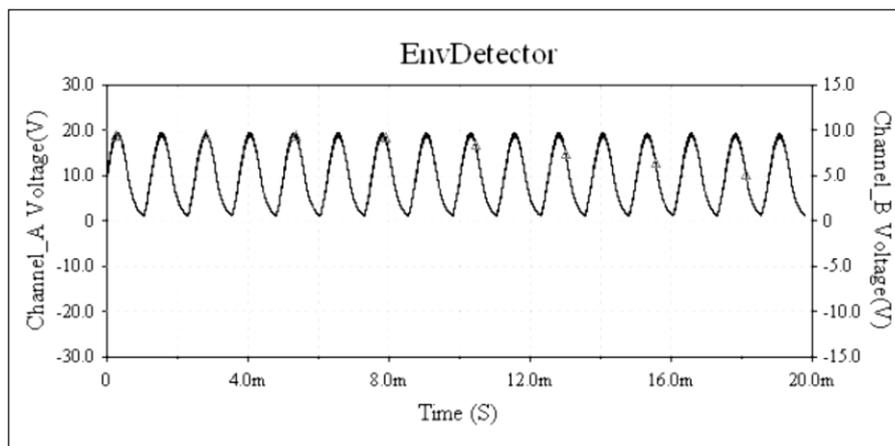


Рис. 10. Выходной сигнал детектора огибающей при $m=0.6$

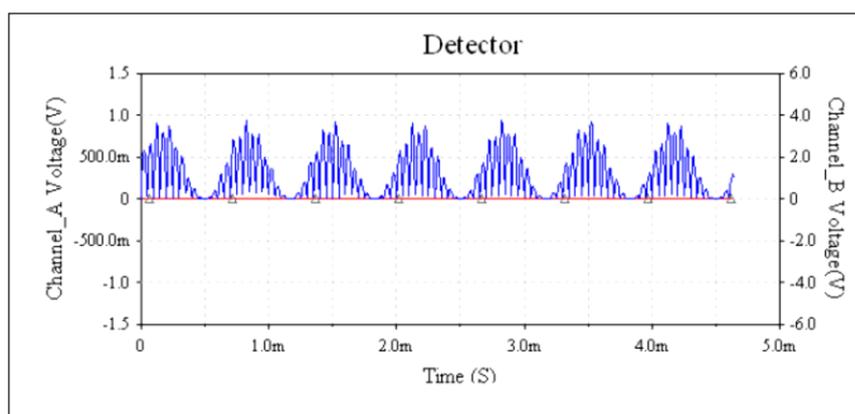


Рис. 11. Выходной сигнал на стадии детектирования детектором огибающей

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные методические указания направлены на изучение основных узлов приемопередающих устройств. В процессе работы моделируются фазосдвигающий генератор, амплитудный модулятор и демодулятор, рассматриваются графики основных сигналов в цепях, оцениваются параметры, полученные в результате теоретических расчетов и в результате моделирования. При необходимости углубить теоретические знания по рассмотренным темам следует обратиться к библиографическому списку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокис. Дж. Цифровая связь / пер. с англ. ред. Д. Д. Кловский – М.: Радио и связь, 2000.
2. Васильев К. К. Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи. / К. К. Васильев – Ульяновск, УлГТУ, 2007.
3. Дьяконов В. П. Simulink 4. Специальный справочник. / Дьяконов В. П. – СПб.: Питер, 2002.
4. Дьяконов В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. / Дьяконов В. П. – СПб.: Питер, 2002.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. ФАЗОСДВИГАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР	3
1.1. Цель работы и краткие теоретические сведения	3
1.2. Выполнение работы	5
1.3. Предполагаемый результат	5
1.4. Дополнительное задание	6
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ.....	6
2.1. Цель работы и краткие теоретические сведения	6
2.2. Схемотехническое моделирование	7
2.2.1. Объект исследования	7
2.2.2. Назначение элементов схемы	7
2.3. Экспериментальное исследование	8
2.3.1. Определение влияния амплитуды источника модулирующего напряжения V_3 на коэффициент модуляции.....	8
2.3.2. Определение влияния амплитуды источника модулированного напряжения V_2 на форму АМ-сигнала	10
2.3.3. Определение спектрального состава выходного сигнала при нелинейном режиме работы усилителя	10
2.3.4. Определение спектрального состава выходного сигнала модулятора	11
2.4. Оформление отчета по работе	13
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. АМПЛИТУДНАЯ ДЕМОДУЛЯЦИЯ..	14
3.1. Цель работы и краткие теоретические сведения	14
3.2. Компоненты схемы и формулы для работы	15
3.3. Ход выполнения работы	15
3.4. Предполагаемый результат работы.....	17
Заключение.....	17
Библиографический список.....	18

Основы теории радиосистем передачи информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 4 - 6
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Составитель
Журавлёв Дмитрий Владимирович

В авторской редакции

Подписано к изданию 15.09.2022.
Уч.-изд. л. 1,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84