

ТОР



КАФЕДРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
И ОСНОВ РАДИОТЕХНИКИ

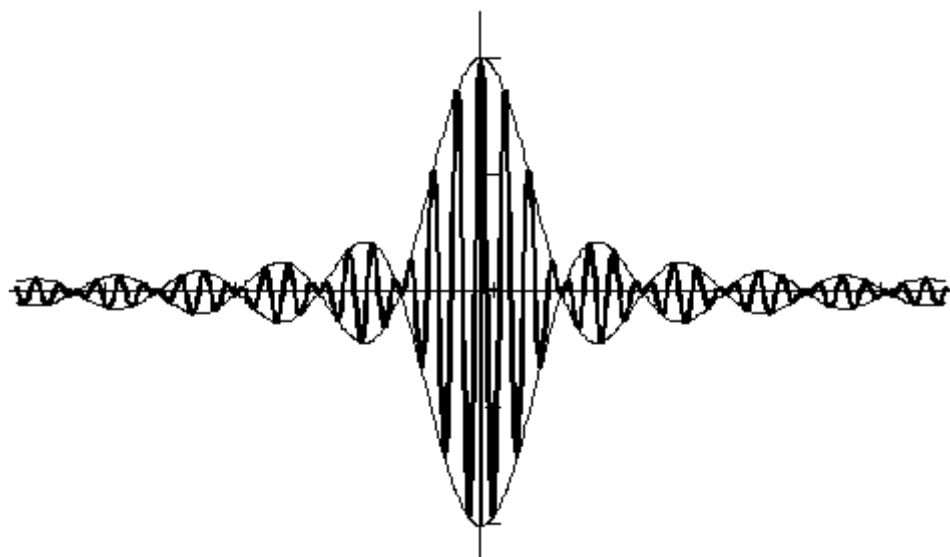
---

**Каминский В.Л**

Лабораторный практикум  
по курсу

**Радиотехнические цепи и сигналы**

**нелинейные цепи**  
**(часть2)**



Томск - 2007

Федеральное агентство по образованию  
ТОМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра ТОР

**Каминский В.Л.**

**Лабораторный практикум по курсу**

**Радиотехнические цепи и сигналы**  
**Нелинейные цепи**  
**(часть 2)**

Томск - 2007

Пособие подготовлено и издано за счет средств Программы  
«Инновационный Вуз»

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОПИСАНИЕ ПАНЕЛИ "НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ" ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	4
РАБОТА № 1. Исследование нелинейного усилителя и умножителя частоты.....	6
РАБОТА № 2. Амплитудный модулятор .....	10
РАБОТА № 3. Исследование детектирования АМ колебаний .....	12
РАБОТА № 4. LC -автогенератор синусоидальных колебаний .....	15
РАБОТА № 5. Регенератор .....	18
РАБОТА № 6. RC-генератор синусоидальных колебаний. ....	19

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по курсу "Радиотехнические цепи и сигналы" имеет целью закрепить и расширить теоретические знания студентов в области радиоэлектроники, ознакомить их с методикой исследования электронных схем и дать практические навыки в работе с основными радиоизмерительными приборами.

Вторая часть лабораторного практикума, предназначенного для студентов всех специальностей радиотехнического факультета, содержит описание следующих работ:

1. Исследование нелинейного усилителя и умножителя частоты.
2. Амплитудный модулятор.
3. Исследование детектирования АМ колебаний.
4.  $LC$  -автогенератор синусоидальных колебаний.
5. Регенератор.
6.  $RC$ -генератор синусоидальных колебаний.

Первые пять лабораторных работ данного перечня выполняются на одной панели "Нелинейные цепи", описание которой приведено в начале практикума.

### **ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Перед выполнением работы студенты обязаны:

- а) При домашней подготовке изучить соответствующие разделы теоретического курса.
- б) Ознакомиться с описанием работы и используемыми при её выполнении измерительными приборами.
- в) Произвести необходимые предварительные расчёты, изложенные в домашнем задании.
- г) Ознакомиться с лабораторной установкой и чётко знать назначение и расположение её отдельных узлов и всех органов управления.
- д) Ознакомиться с правилами техники безопасности.

2. К выполнению лабораторных работ допускаются только студенты, выполнившие требования п.1 и показавшие свою подготовленность при собеседовании с преподавателем.

3. Лабораторные работы выполняются фронтальным методом бригадами из двух-трех человек.

4. При выполнении работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и следовать указанной методике.

5. В процессе выполнения работы составляется предварительный отчёт, один на бригаду. Предварительный отчет должен содержать таблицы и графики полученных экспериментально зависимостей.

6. Если при составлении предварительного отчёта выявится недостаточность или сомнительность полученных данных, то необходимо экспериментально получить недостающие данные и произвести проверку сомнительных результатов.

7. Работа считается выполненной после утверждения предварительного отчета преподавателем.

8. По окончании работы источники питания, все приборы лабораторного стенда должны быть выключены, а на рабочем месте наведен полный порядок.

9. Студенты, не выполнившие работу в часы занятий, обязаны выполнить ее в специально отведенное время.

### СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА

1. Отчет по выполненной работе составляется индивидуально каждым студентом (см. п.3 Сдача зачета).

2. Отчет пишется чернилами в тетради с оставлением полей. Графики следует вычерчивать карандашом на миллиметровой бумаге и вклеивать, так же как и осциллограммы, в отчет. Отчет подписывается студентом.

3. Отчет должен содержать:

- Цель исследования.
- Электрическую схему исследуемого устройства.
- Расчетную часть задания.
- Структурную схему проводимого исследования с указанием всех измерительных приборов.
- Краткое описание методики измерения параметров и характеристик исследуемого устройства.
- Результаты исследования в виде таблиц, графиков и осциллограмм с обязательным указанием условий, при которых они были получены (режим усилительного элемента, частота и амплитуда входного сигнала, параметры нагрузки и т.д.).
- Выводы, полученные на основании анализа расчетных и экспериментальных данных.

### СДАЧА ЗАЧЕТА

1. Лабораторная работа считается выполненной после сдачи студентом зачёта.
2. При сдаче зачета студент должен представить оформленный надлежащим образом отчет и показать свои знания в следующих вопросах:
  - структурная схема и методика выполнения работ;
  - электрическая схема исследуемого устройства и назначение всех её элементов;
  - теоретические закономерности, эквивалентные схемы и расчетные соотношения по данной работе.
  - результаты расчётов по домашнему заданию и методика его выполнения;
  - полученные экспериментальные результаты и их анализ.
3. Студенты могут сдавать зачет о проделанной работе сразу же после её выполнения. В этом случае допускается использование только одного на бригаду аккуратно выполненного предварительного отчёта.
4. Студенты, не получившие зачёт по предыдущей работе, к выполнению

следующей работы не допускается.

## ОПИСАНИЕ ПАНЕЛИ "НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕЛИ" ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Лабораторные работы 1+5 выполняются на одной сменной панели лабораторного стенда. Внешний вид панели и ее электрическая схема изображены на рис.0.1.

В состав панели входят:

1. "УСИЛИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (УЭ)".
2. "НАГРУЗКА" усилительного элемента.
3. "ЦЕПЬ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ".
4. "СХЕМА РЕГУЛИРОВКИ СМЕЩЕНИЯ".
5. Вольтметр (0+1,5 В) и миллиамперметр (0+50 мА) постоянного тока.
- 6 Диодный детектор.
7. Органы регулировки: "РЕГУЛИРОВКА СМЕЩЕНИЯ", "РЕГУЛИРОВКА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ" и "РЕГУЛИРОВКА ФАЗЫ".

Соединения узлов в необходимой последовательности между собой, а так же с генераторами сигналов и контрольными приборами (вольтметры, осциллограф) лабораторного стенда, производятся с помощью проводов с наконечниками, включаемыми в гнезда лицевой панели.

Входной сигнал с гнезда 1, через разделительный конденсатор подводится ко входу УЭ. В эту же точку через дроссель Др подводится напряжение смещения УЭ, величина которого регулируется потенциометром "РЕГУЛИРОВКА СМЕЩЕНИЯ".

Выходом УЭ являются гнезда 11. К гнездам 11 соединительными проводами подключается необходимая нагрузка. Схемы нагрузок и номера соответствующих гнезд указаны на панели. Параметры элементов нагрузки указаны в таблице 0.1.

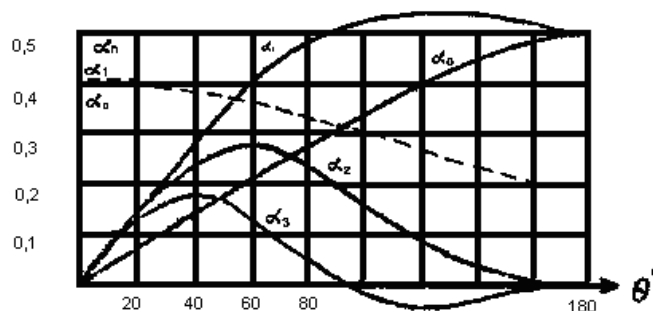
В состав цепи обратной связи входят катушка связи  $L_{св.}$ , потенциометр "РЕГУЛИРОВКА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ" и "ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ  $\pm 45^\circ$ ". Вращением ручек потенциометров "РЕГУЛИРОВКА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ" и "РЕГУЛИРОВКА ФАЗЫ" производится изменение соответственно модуля и фазы коэффициента обратной связи.

В правой верхней части панели смонтированы элементы, необходимые при исследовании диодного детектора А М колебаний. Схема

Таблица 0.1.

№ макета	Частота $f^p$ (кГц)	Емкость контура СЗ (пФ)	Добротность Q	Нагрузка R2(кОм)
1	265	6800	40	2,2
2	300	5600	30	2,4
3	230	5600	35	2,7
4	245	5600	40	3,0
5	270	5600	45	3,3
6	250	5600	45	3,6

7	255	5600	35	3,9
8	250	5600	30	4,3
9	220	5600	40	4,7



### Зависимость $\alpha(\theta)$ от $\theta$ - угла отсечки

соединения этих элементов с соответствующими гнездами выгравирована на лицевой панели. Питание лабораторной панели производится от блока питания (12 В) стенда. Напряжение питания подводится к панели с помощью разъема, расположенного на внутренней части панели.

Электрическое соединение "земляных" выводов всех элементов произведено при монтаже панели. Подключение "земляных" выводов используемых приборов с "землей" панели производится с помощью гнезд, обозначенных знаком  $\perp$ .

### Работа № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ И УМНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

### 1. Цель работы

1. Освоение методики выбора параметров расчёта в настройке нелинейного резонансного усилителя и умножителя частоты.
2. Исследование режимов работы нелинейного резонансного усилителя и измерение его параметров.
3. Исследование амплитудных характеристик нелинейного усилителя в различных режимах.
4. Исследование удвоителя частоты с отсечкой тока.
5. Исследование квадратичного режима удвоения частоты.

### 2. Введение

В работе исследуются линейный и нелинейный режим усиления электрических колебаний и умножение частоты гармонических колебаний. На вход УЭ может подаваться колебание большой амплитуды, в результате этого

коллекторный ток УЭ не повторяет форму входного сигнала.

Принцип работы усилительного элемента в нелинейном режиме иллюстрируется рис. 1.1.

Как видно из рис.1.1 при гармоническом входном большой амплитуды сигнале коллекторный ток имеет форму косинусоидальных импульсов и, следовательно, содержит большое число гармоник, из которых полезной в усилительном режиме является первая, а в режиме умножения та гармоника, которая соответствует коэффициенту умножения частоты ( $n$ ). Нужная гармоника выделяется с помощью избирательной нагрузки (одиночный контур или связанные контуры).

Амплитуда импульса коллекторного тока определяется выражением:

$$I_m = S * U_m(1 - \cos \theta), \quad (1.1)$$

где  $S$  – крутизна характеристики УЭ,

$U_m$  - амплитуда напряжения входного сигнала,

$\theta$  - угол отсечки коллекторного тока, определяемый напряжением запираения УЭ  $E_0'$ , напряжением смещения  $U_0$  и входной амплитудой  $U_m$  :

$$\cos \theta = \frac{E_0' - U_0}{U_m} \quad (1.2)$$

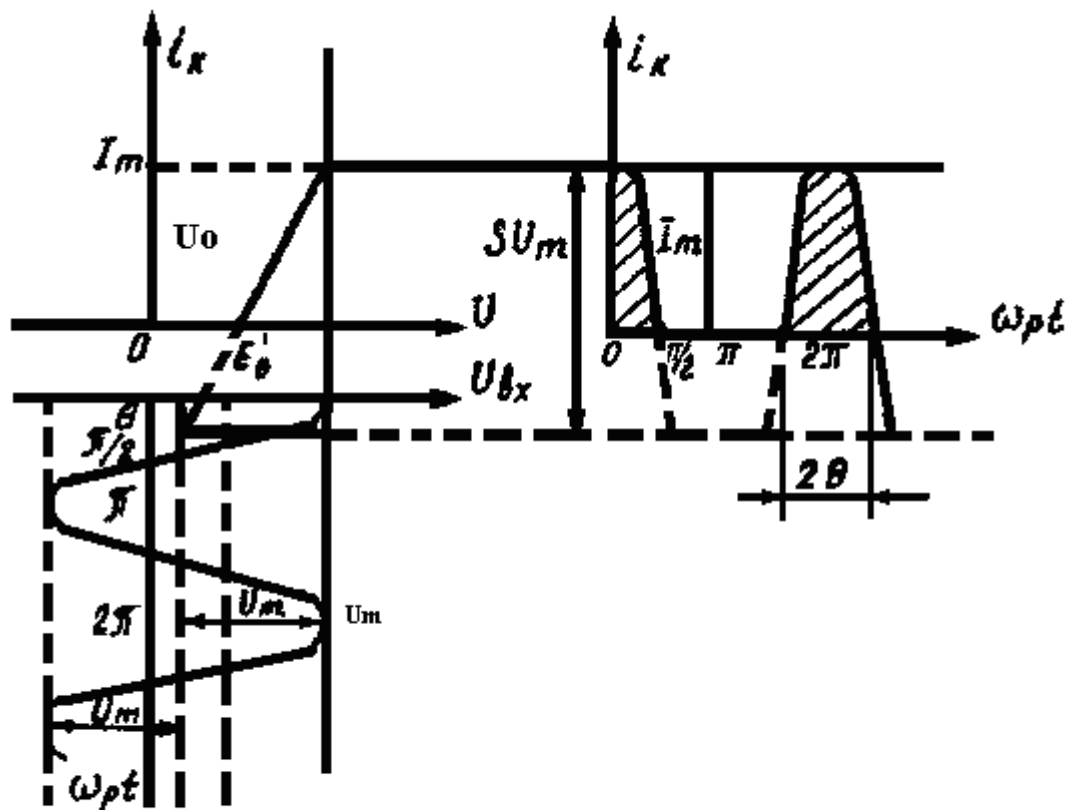


Рис.1.1.



Амплитуда n-й гармоники может быть найдена по формуле:

$$I_n = \alpha_n(\theta) I_m, \quad (1.3)$$

где  $\alpha_n(\theta)$ - коэффициенты разложения косинусоидальных импульсов в ряд Фурье или коэффициенты Берга, величина которых определяется номером гармоники и зависит только от угла отсечки  $\theta$ . Значение коэффициентов Берга берутся из таблиц или графиков либо вычисляются по определенным формулам. Относительная амплитуда каждой гармоники в импульсе коллекторного тока достигает наибольшего значения при определенном (оптимальном) угле отсечки  $\theta_{opt}$ :

$$\theta_{opt} \cong 120^\circ/n$$

Амплитуду напряжения на контуре можно найти по формуле:

$$U_{mn} = I_{mn} \cdot R_p, \quad (1.4)$$

где  $R_p$  – резонансное сопротивление контура.

Используя формулы (1.1), (1.3), (1.4), напряжение на контуре в режиме усиления будет равно:

$$U_{m1} = \alpha_1(\theta) \cdot S \cdot U_m (1 - \cos \theta) \cdot R_p \quad (1.5)$$

где  $\alpha_1(\theta)$ - можно вычислить по формуле:

$$\alpha_1(\theta) = \frac{\theta - \cos \theta \sin \theta}{\pi(1 - \cos \theta)} \quad (1.6)$$

Зависимость амплитуды выходного напряжения  $U_{m1}$  от амплитуды входного напряжения  $U_m = f(U)$  называется колебательной характеристикой, форма которой зависит от положения рабочей точки на характеристике нелинейного элемента,

Основным достоинством нелинейного режима усиления является высокий коэффициент полезного действия:

$$\eta = P_{\sim} / P_o, \quad (1.7)$$

$P_{\sim} = I_{m1} U_{m1} / 2$  - полезная мощность сигнала, вычисляемая на нагрузке,

$P_o = I_o E$  - мощность, подводимая к усилителю от источника питания,

$I_o$  - постоянная составляющая коллекторного тока,

$E$  - напряжение питания.

### 3. Описание схемы.

Схема для исследования резонансного усилителя и умножителя частоты приведена на рис. 1.2.

На вход усилительного элемента высокочастотный сигнал от генератора Г4-102 подается через разделительный конденсатор  $C_p$  и измеряется вольтметром  $V_1$  типа ВЗ-38. Постоянное напряжение смещения  $U_0$  подается через высокочастотный дроссель  $D_r$  и измеряется вольтметром, который расположен на панели. Блокировочный конденсатор  $C_{бл1}$  шунтирует источник смещения по высокочастотному напряжению. Нагрузка усилительного элемента образована параллельным контуром  $L_1 C_3$  с частичным включением. Блокировочный конденсатор  $C_{бл1}$  шунтирует источник питания по высокой частоте. Постоянная составляющая тока УЭ измеряется миллиамперметром мА. Вольтметр  $V_2$  типа ВЗ-38 измеряет напряжение на выходе усилителя (на нагрузке),

а с помощью осциллографа ОСЦ контролируется форма выходного сигнала.

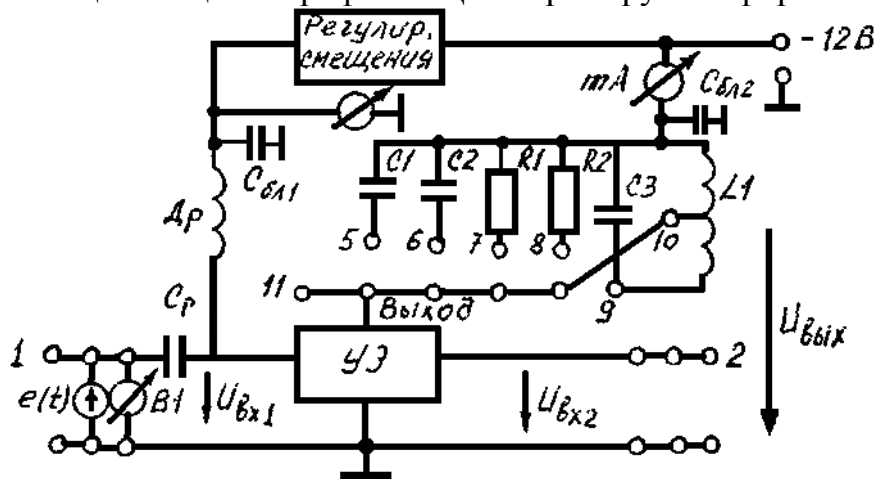


Рис. 1.2.

#### 4. Домашнее задание

1. Изучить схемы резонансного усилителя и умножителя частоты.
2. Задавшись максимальным импульсом коллекторного тока  $I_m = 40-50$  мА и крутизной характеристики нелинейного усилительного элемента  $S = 75$  мА/В, рассчитать значения напряжения смещения  $U_0$  и амплитуду входного сигнала  $U_m$ , необходимые для обеспечения режима нелинейного усиления с углом отсечки  $\theta = 90^\circ$  и режима удвоения  $\theta = 60^\circ$ , приняв напряжение запирания  $E_0 = 0.4$  В.
3. Рассчитать коэффициент усиления резонансного усилителя в линейном (рабочая точка на середине линейного участка характеристики) и нелинейном режимах. Параметры нагрузки для каждого рабочего места приведены в таблице 0.1.
4. Рассчитать коэффициент передачи усилителя в режиме с отсечкой тока.
5. Изобразить примерные колебательные характеристики усилителя в линейном и нелинейном режимах.
6. Ознакомиться с лабораторным заданием, контрольными вопросами и подумать какие таблицы и графики нужны при выполнении работы.
7. Изобразить спектральные диаграммы входного сигнала, тока нелинейного элемента, выходного сигнала усилителя и умножителя частоты.

#### 5 Лабораторное задание

1. Ознакомиться с описанием и схемой модели "Нелинейные цепи".
  2. Подав напряжение смещения и питание на усилительный элемент снять статическую характеристику УЭ.
- ПРИМЕЧАНИЕ: Сопротивление нагрузки УЭ выбрано таким, что статическая и динамическая характеристики УЭ практически совпадают.
3. Построить полученную характеристику в крупном масштабе и аппроксимировать её отрезками прямых линии. Эта характеристика нужна ВАМ при выполнении последующих лабораторных работ.
  4. По полученной характеристике уточнить расчёты в домашнем задании.
  5. Собрать схему для исследования резонансного усилителя. (Рис.1.2). Установить частоту сигнала равной резонансной частоте нагрузочного контура. Снять и построить частотные характеристики

6. Снять колебательные характеристики усилителя и зависимости постоянной составляющей тока УЭ от высокочастотного напряжения на входе усилителя для трех значений напряжения смещения:

- а)  $U_0$  - на середине линейного участка характеристики;
- б)  $U_0$  соответствует углу отсечки  $90^\circ$ ;
- в)  $U_0 = 0$ .

Указанные зависимости построить на одном графике. Определить коэффициенты усиления для линейных участков колебательных характеристик и сравнить с расчётными данными. Вычислить для всех режимов коэффициент полезного действия.

7. Исследовать режим удвоения частоты с отсечкой тока УЭ.

Установить частоту сигнала так, чтобы контур был настроен на вторую гармонику. Напряжение смещения  $U_0$  и входной сигнал  $U_m$  установить равными рассчитанным ранее значениям. Измерить коэффициент передачи удвоителя и зарисовать характерную осциллограмму выходного напряжения.

8. Исследовать эффект удвоения частоты за счёт квадратичного участка характеристики УЭ, для чего, установив входной сигнал порядка 0,05-0,1 В, снять зависимость выходного напряжения от смещения  $U_0$ , По построенной зависимости определить максимальный коэффициент передачи удвоителя в этом режиме.

9. Включить вместо колебательного контура резистор  $R_1 = 100$  Ом имеющийся на панели, и исследовать форму тока усилительного элемента в различных режимах работы от амплитуды входного сигнала.

#### 6. Контрольные вопросы

1. Что такое линейный и нелинейный режимы усиления?
2. Что такое колебательная характеристика усилителя?
3. Чем определяется форма колебательной характеристики?
4. Укажите достоинства и недостатки нелинейного режима усиления.
5. Что такое угол отсечки тока нелинейного элемента?
6. Как выбирается угол отсечки в множителе частоты?
7. Для каких целей в схеме усилителя используются дроссель, разделительный и блокировочный конденсаторы?
8. Что такое крутизна характеристики нелинейного элемента?

#### 7. Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы  
Дрофа, 2006 г. | Классики отечественной науки, ISBN: 5-7107-7985-7  
Стр.220-235.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы  
Издательство: "Высшая школа" ISBN: 5-06-003843-2 Год выхода: 2005.  
Стр.332-336.
3. Денисов Н.П., Шарапов А.В., Шибяев А.А.  
Электроника и схемотехника -, Томск -2002 г.  
Стр. 21-32

#### Работа №2 АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

## 1. Цель работы

1. Изучение процесса модуляции в цепи с нелинейным элементом.
2. Освоение методики расчёта и снятия модуляционных характеристик модулятора и определения их параметров.
3. Исследование амплитудных и частотных характеристик модулятора.
4. Исследование формы тока нелинейного элемента в режиме модуляции.

## 2. Методика расчёта модуляционной характеристики.

Модуляционной характеристикой, в данном случае, называем зависимость амплитуды первой гармоники тока нелинейного элемента (или пропорционального ей напряжения на избирательной нагрузке) от напряжения смещения при постоянной амплитуде входного высокочастотного сигнала.

Задача ставится следующим образом: по известной характеристике нелинейного элемента и выбранной амплитуде входного сигнала, рассчитать зависимость первой гармоники тока нелинейного элемента при изменении напряжения смещения, т.е. положения рабочей точки на характеристике НЭ. При изменении рабочей точки изменяется как амплитуда, так и угол отсечки тока НЭ, что необходимо учитывать при вычислении первой гармоники.

Первая гармоника тока вычисляется по тем же формулам, что и в предыдущей работе

$I_{m1} = \alpha_1(\theta) I_m$ , где  $\alpha_1(\theta)$  - вычисляется по формуле (1.6), а  $I_m$  и  $\theta$  определяются из графических построений для различных  $U_0$  по характеристике, полученной в предыдущей работе.

## 3. Описание схемы измерений

Структурная схема амплитудного модулятора приведена на рисунке 2.1. Высокочастотный модулируемый сигнал от генератора Г4-102 (ГСС) через разделительный конденсатор непосредственно подается на вход УЭ, модулирующий же сигнал от звукового генератора (ЗГ) подаётся на вход 2.

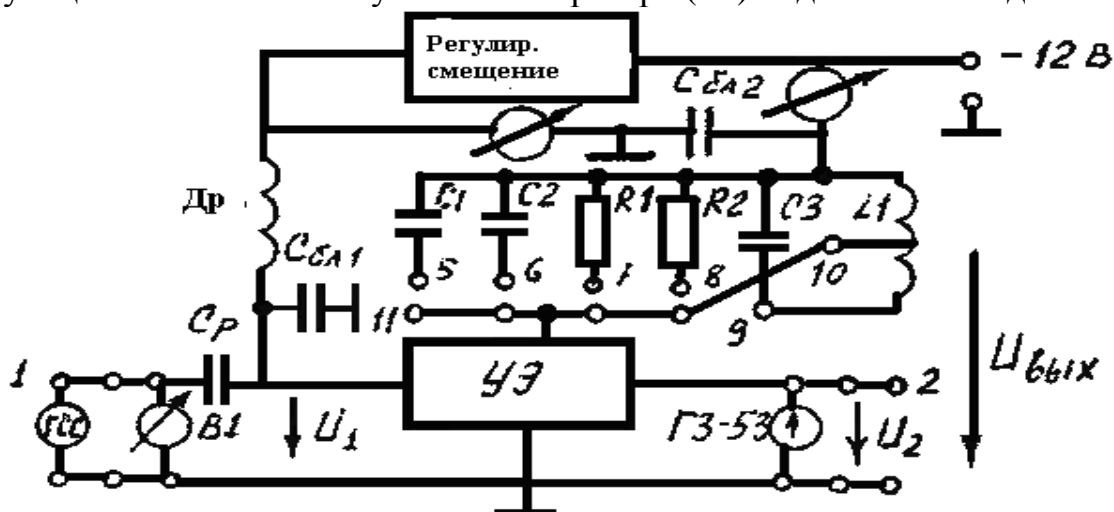


Рис.2.1

Величина и форма выходного сигнала контролируются вольтметром и осциллографом.

#### 4. Домашнее задание

1. Изучить работу амплитудного модулятора применительно к схеме лабораторного макета.

2. Выбрать два значения входного напряжения  $U_m$ , соответствующих приблизительно 0,25 и 0,5 раствора характеристики УЭ и рассчитать семейство модуляционных характеристик.

ПРИМЕЧАНИЕ: При расчёте использовать кусочно-линейную аппроксимацию.

3. На модуляционных характеристиках выбрать линейный рабочий участок и рабочую точку на середине его, соответствующую наибольшей глубине неискажённой модуляции.

Рассчитать максимальный коэффициент модуляции по току  $M_i$  для выбранного участка модуляционной характеристики.

4. Изобразить ход зависимости коэффициента модуляции напряжения на контуре  $M_u$  от амплитуды модулирующего напряжения  $U_F$  для выбранной рабочей точки  $U_0$  и постоянного значения модулирующей частоты  $F$ .

5. Изобразить примерный ход зависимости  $M_u$  от модулирующей частоты  $F$  для выбранных значений  $U_0$  и  $U_F$  в диапазоне от 500 Гц до 15 кГц.

6. Изобразить спектральные диаграммы входных напряжений  $U_m$ , тока УЭ и напряжения на колебательном контуре амплитудного модулятора.

#### 5. Лабораторное задание

1. Собрать схему для исследования амплитудной модуляции (рис.2.1).

2. Установив выходное напряжение ЗГ равное 0, снять семейство модуляционных характеристик для двух значений напряжений, соответствующих п.2 домашнего задания. Построить их на одном графике в одинаковом масштабе.

3. Выбрать модуляционную характеристику, обеспечивающую наибольшую глубину модуляции при незначительней искажениях. Определить по ней рабочую точку  $U_0$ , максимальную амплитуду низкочастотного сигнала  $U_f$  и коэффициент модуляции по напряжению.

4. Установить выбранные в п.3 значения напряжений  $U_f$ ,  $U_0$  и снять зависимость  $M_u = f(U_F)$  при  $F = 600-1000$  Гц.

5. При  $U_{ex} = const$  и  $U_f = const$ , установленных в соответствии с п.3, снять зависимость  $M_u = f(F)$ , изменяя частоту модуляции от 500 Гц до 15 кГц.

6. Заменяя контур сопротивлением  $R_l$ , просмотреть и зарисовать осциллограмму тока УЭ при выбранных значениях  $U_m$ ,  $U_0$  и амплитуде модулирующего напряжения, соответствующий  $M_u \approx 50\%$ . Частоту ЗГ подоврать так чтобы получить устойчивую осциллограмму,

#### 6. Контрольные вопросы

1. Поясните физические процессы при амплитудной модуляции. Приведите временные диаграммы иллюстрирующие получение АМ колебаний.

2. Возможно ли осуществление амплитудной модуляции с помощью линейного элемента?

3. Дайте определение статической модуляционной характеристики.

4. Как по модуляционной характеристике определить рабочую точку

максимальную амплитуду модулирующего сигнала, глубину модуляции?

5. Как выбирается угол отсечки в модуляторе?

6. В каких пределах может изменяться угол отсечки нелинейного элемента для получения малых искажений при модуляции?

7. Как изменяется коэффициент модуляции  $M_U$  от величины модулирующего напряжения  $U_F$  при выбранной рабочей точке  $U_0$  и постоянном значении модулирующей частоты  $F$ .

8. Объясните, почему коэффициент модуляции напряжения на контуре уменьшается с увеличением модулирующей частоты?

9. Какие искажения передаваемого сигнала возможны при осуществлении амплитудной модуляции?

## 7. Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы  
Дрофа | Классики отечественной науки, ISBN: 5-7107-7985-7. 2006 г.  
Стр.220-235.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы  
Издательство: "Высшая школа" ISBN: 5-06-003843-2 год: 2005.  
Стр.332-336.
3. Денисов Н.П., Шарапов А.В., Шибяев А.А.  
Электроника и схемотехника -, Томск -2002 г.  
Стр. 21-32

## Работа № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АМ КОЛЕБАНИЙ

#### 1. Цель работы

1. Изучение физических процессов при детектировании АМ колебаний.
2. Освоение методики расчета и снятия основных характеристик детектора.
3. Расчет и измерение параметров детектора.
4. Исследование влияния параметров нагрузки детектора на его характеристики.

#### 1.2. Определения и расчетные формулы

Детекторной характеристикой называется зависимость постоянной составляющей тока нелинейного элемента  $I_0$  от амплитуды  $U_f$  входного немодулированного высокочастотного сигнала (рис.3.1). Эта характеристика является основой для расчёта параметров входного сигнала и детектора. По ней можно выбрать линейный участок, где будут отсутствовать (либо не превышать заданного значения) искажения при детектировании и рабочую точку на его середине, определяющую уровень входного немодулированного сигнала  $U_{fH}$ . Зная детекторную характеристику и сопротивления нагрузки  $R_H$  детектора можно вычислить амплитуду выходного напряжения  $U_{mF}$  детектора

$$U_F = \Delta I_0 R_H, \quad (3.1)$$

Где  $\Delta I_0 = \frac{1}{2} (I_{0max} - I_{0min})$  определяется по границам линейного участка детекторной характеристики.

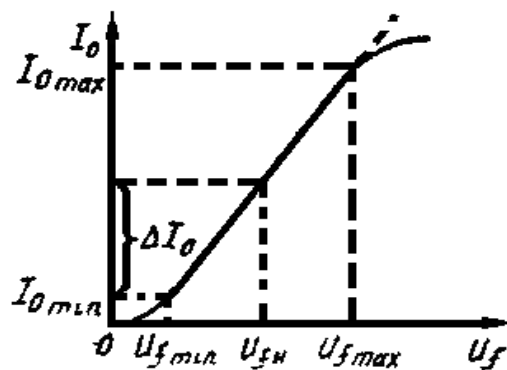


Рис. 3.1.

Коэффициент передачи детектора может быть вычислен по формуле

$$K_g = \frac{U_F}{MU_{fH}} \quad (3.2)$$

где  $M$  – коэффициент модуляции входного сигнала, а  $U_F$  и  $U_{fH}$  определены из детекторной характеристики или экспериментально.

Начальный участок детекторной характеристики от 0 до  $U_{fmin}$  имеет квадратичный характер и описывается формулой

$$I_0 = \frac{1}{2} a_2 U_f^2 \quad (3.3)$$

где  $a_2$  – коэффициент аппроксимации начального участка характеристики нелинейного элемента.

При работе детектора на этом участке характеристики возможны значительные искажения выходного сигнала при больших коэффициентах модуляции.

Верхний участок детекторной характеристики для детектора с использованием усилительного элемента также нелинейный, за счёт ограничения тока усилительного элемента.

Для диодного же детектора такого ограничения обычно не наблюдается.

### 3. Домашнее задание

1. Изучить схемы детекторов АМ колебаний.
2. Рассчитать величину ёмкости нагрузки  $C_H$  детектора, при которой возможно неискажённое детектирование АМ колебания с частотой модуляции  $F = 400$  Гц и несущей частотой  $f_0 = f_p$ . Величину сопротивления нагрузки  $R_I$  взять из таблицы.
3. Изобразить качественно временные диаграммы входного АМ напряжения  $U_{вх}(t)$  и напряжения на нагрузке  $U_{вых}(t)$ :
  - а) при правильно выбранной величине ёмкости нагрузки  $C_H$ ;
  - б) при слишком большой ёмкости нагрузки  $C_H$ ;
  - в) при отключённом конденсаторе нагрузки.
4. Определять коэффициент передачи детектора в режиме линейного детектирования.
5. Определить коэффициент передачи диодного детектора, приняв внутреннее сопротивление диода порядка  $R_i = 20-30$  Ом.
6. Изобразить примерный вид частотной характеристики диодного детектора.

7. Изобразить спектральные диаграммы входного сигнала, тока нелинейного элемента и выходного сигнала.

8. Ознакомиться с лабораторным заданием, контрольными вопросами.

#### 4. Лабораторное задание

1. Собрать схему для исследования детектора 'АМ колебаний с использованием усилительного элемента (рис.3.2). В качестве нагрузки использовать элементы  $R1$  и  $C1$  на лабораторной панели.

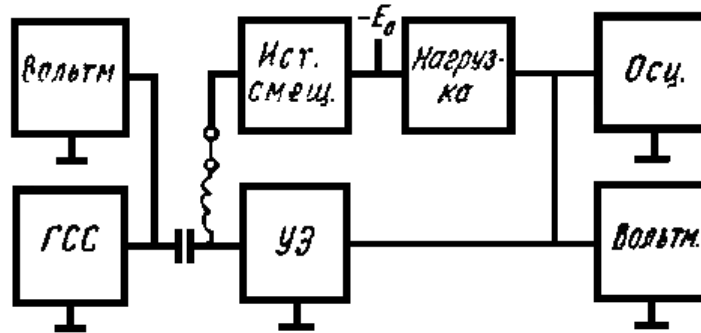


Рис. 3.2.

#### Схема исследования амплитудного детектора

2. Установить напряжение смещения равное напряжению запирающего усилительного элемента по аппроксимирующей характеристике (п.3 стр. 15).

3. Снять и построить детекторную характеристику, изменяя входное немодулированное напряжение от генератора от нуля до максимального значения (1-1,5 В). Постоянную составляющую тока УЭ измерять по миллиамперметру (мА) на лабораторной панели.

4. Определить границы линейного рабочего участка детекторной характеристики и выбрать рабочую точку (т.е. величину немодулированного высокочастотного сигнала на входе детектора).

5. Установив выбранное значение высокочастотного сигнала, снять зависимость выходного протектированного напряжения от глубины модуляции входного сигнала. Зарисовать возможные искажения выходного сигнала при большой глубине модуляции на входе.

6. Исследовать квадратичный режим детектирования. Уменьшить входной сигнал до уровня 0,1 В и зарисовать осциллограммы выходного напряжения для нескольких значений коэффициентов модуляции. Пронаблюдать искажения выходного сигнала в этом режиме.

7. Собрать схему диодного детектора (рис.3.3). Элементы схемы расположены в правом верхнем углу лабораторной панели.



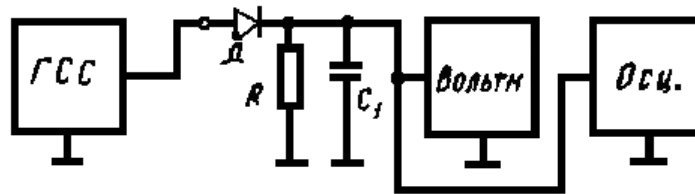


Рис. 3.3.

### Схема исследования диодного детектора

8. Установив уровень несущей на входе детектора порядка 0,5-1,0 В, снять зависимость напряжения на выходе детектора от глубины модуляции входного сигнала. Определить коэффициент передачи детектора. Сравнить с расчётным.

9. Пронаблюдать искажения выходного сигнала диодного детектора и уменьшение коэффициента передачи при слишком большой ёмкости нагрузки  $C_2 \gg C_1$ .

10. Снять частотную характеристику диодного детектора при правильно выбранных параметрах нагрузки. Для этого поставить переключатель модуляции генератора Г4-102 в положение "ВНЕШ. МОД." и подать на клеммы внешней модуляции сигнал от звукового генератора порядка 2-3 В. Ручкой "УСТАНОВКА  $m \%$ " установить глубину модуляции порядка 50%. Изменяя частоту модуляции в пределах 500 Гц-15 кГц, измерить напряжение на выходе детектора при постоянной глубине модуляции.

### 5 Контрольные вопросы

1. Каково назначение детектора в радиоприёмнике?
2. Какие возможны режимы работы диодного детектора? Чем они определяются?
3. В чём преимущества линейного детектирования перед квадратичным.?
4. Чем следует руководствоваться при выборе параметров нагрузки диодного детектора?
5. Как будет изменяться угол отсечки при изменении сопротивления нагрузки диодного детектора  $R$  от 0 до  $\infty$  ?
6. Как будет изменяться угол отсечки при уменьшении ёмкости конденсатора нагрузки до нуля?
7. Дайте определение детекторной характеристики.
8. Какими причинами обусловлено появление нелинейных искажений на выходе детектора АМ колебаний?
9. Что такое коэффициент передачи детектора? От чего он зависит?
10. Как выбираются рабочие точки на статической характеристике УЭ для линейного и квадратичного режимов детектирования?

### 6. Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы  
Дрофа | Классики отечественной науки, ISBN: 5-7107-7985-7, 2006 г.  
Стр.220-235
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы  
Издательство: "Высшая школа" ISBN: 5-06-003843-2 Год выхода: 2005.

Стр.332-336.

3. Денисов Н.П. , Шарапов А.В. , Шибяев А.А.

Электроника и схемотехника -, Томск -2002 г.

Стр. 21-32

## Работа № 4

### LC – АВТОГЕНЕРАТОР

#### 1. Цель работы

1. Изучение принципов работы основной схемы автогенератора.
2. Освоение методики расчёта условий самовозбуждения и стационарного режима LC-автогенератора.
3. Экспериментальное исследование условий самовозбуждения автогенератора и стационарного режима.
4. Исследование влияния изменения фазового сдвига в цепи обратной связи на стабильность частоты автоколебаний.

#### 2. Основные определения и расчётные формулы

В данной работе исследуется автогенератор синусоидального напряжения с колебательным LC контуром.

В классическом варианте такой автогенератор (рис.4.1) состоит из нелинейного усилительного элемента, нагрузочного колебательного контура и цепи положительной обратной связи (ПОС).

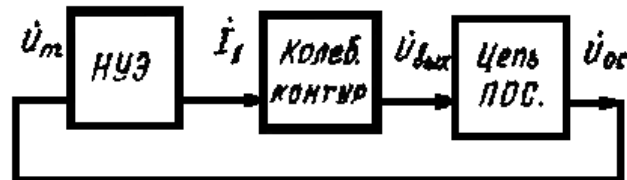


Рис. 4.1.

Нелинейный усилительный элемент и колебательный контур образуют нелинейный резонансный усилитель. Цепь обратной связи служит для обеспечения на входе усилителя необходимого по амплитуде и фазе напряжения для поддержания незатухающих колебаний в контуре.

Как известно, в стационарном режиме выполняется баланс амплитуд

$$K_y * K_{oc} = S_{cp} * R_p * K_{oc} = 1, \quad (4.1)$$

и баланс фаз

$$\gamma_z + \gamma_{oc} = 2\pi n \quad (n=0,1,2,\dots), \quad (4.2)$$

где  $K_y = S_{cp} R_p$  - коэффициент усиления нелинейного усилителя,

$S_{cp}$  - средняя крутизна характеристики УЭ,  $K_{oc}$  - коэффициент обратной связи,  $R_p$  - резонансное сопротивление контура,  $\gamma_z$  и  $\gamma_{oc}$  - фазовые углы нагрузки и цепи обратной связи.

Первое уравнение определяет амплитуду стационарных колебаний, второе -

частоту.

Из первого условия по известной колебательной характеристике  $U_{\text{вых}}=f(U_m)$  и величине обратной связи можно графически определить амплитуду стационарных колебаний, проведя на ней линию обратной связи (рис.4.2).

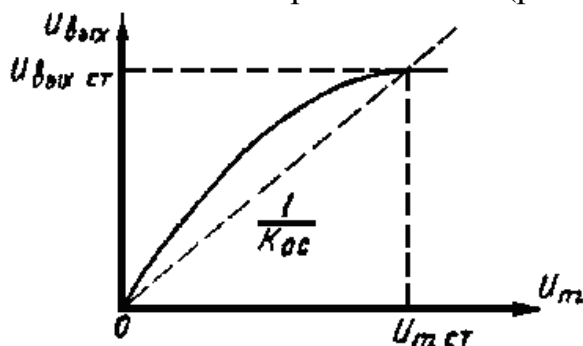


Рис.4.2. Определение амплитуды стационарных колебаний

Из второго условия, зная фазочастотную характеристику нагрузки и фазовый сдвиг в цепи обратной связи, можно вычислить частоту автоколебаний или её отклонение  $\Delta f$  от резонансной частоты нагрузки

$$\Psi_z = \arctg 2Q \frac{\Delta f}{f_0} = \Psi_{oc}, \Delta f = -\frac{f_p}{2\theta} \text{tg} \Psi_{oc} \quad (4.3)$$

Основной характеристикой автогенератора является зависимость амплитуды стационарных колебаний от величины обратной связи. По характеру этой зависимости различают два режима работы автогенератора: «мягкий» и «жесткий».

«Мягкий» режим обеспечивает плавное изменение амплитуды автоколебаний с изменением связи, причем направление изменения связи картину не изменяет. Этот режим обеспечивается выбором рабочей точки на участке характеристики УЭ с максимальной крутизной.

В «жестком» режиме наблюдается скачкообразное изменение амплитуды автоколебаний при регулировке обратной связи, а возникновение и срыв колебаний происходят при разных значениях связи. Рабочая точка в этом выбирается на нижнем сгибе характеристики усилительного элемента.

Условие самовозбуждения автогенератора

$$K_{кр} \geq 1 / S_0 R_p \quad (4.4)$$

позволяет вычислить критическое значение связи  $K_{кр}$  в заданной рабочей точке ( $S_0$  - крутизна характеристики в этой точке), при условии, что  $\gamma_{oc} = 0$  и сопротивление контура на генерируемой частоте равно  $R_p$ .

### 3. Домашнее задание

1. Изучить схемы автогенераторов, принципы и режимы их работы.
2. Выбрать на характеристике УЭ рабочую точку, соответствующую мягкому режиму самовозбуждения (середина линейного участка), и по известным параметрам нагрузки (таблица (0.1) вычислить критический коэффициент обратной связи  $K_{кр1}$ .

3. Для этих же условий рассчитать  $K_{кр2}$ , если контур зашунтирован сопротивлением, равным его резонансному сопротивлению  $R_{ш} = R_p$ .

4. Изобразить ориентировочный график зависимости напряжения на контуре от величины обратной связи  $U_K = f(K_{oc})$  в мягком режиме самовозбуждения.

5. Для значения связи  $K_{oc} = 1,5 K_{кр1}$  по колебательной характеристике (п.б, работа №1) вычислить амплитуду стационарных колебаний в мягком режиме.

6. Выбрать рабочую точку для жесткого режима самовозбуждения на середине нижнего квадратичного участка характеристики УЭ. Определить крутизну в этой точке.

7. Вычислить значение критического коэффициента обратной связи  $K_{кр3}$  для этого режима.

8. Для  $K_{oc} = 1,5 K_{кр3}$  вычислить амплитуду стационарных колебаний по колебательной характеристике (п.б, работа № 1).

9. По этой же характеристике вычислить значение  $K_{кр4}$ , соответствующее срыву колебаний в жестком режиме.

10. Изобразить ориентировочный график зависимости амплитуды стационарных колебаний автогенератора от обратной связи в жестком режиме при увеличении и уменьшении связи.

11. Вычислить уход частоты колебаний автогенератора  $\Delta f$  от резонансной частоты контура при изменении фазы в цепи обратной связи на  $\pm 45^\circ$ .

#### 4. Лабораторное задание

1. Собрать схему для исследования нелинейного усилителя рис. 1.2. Свободный вывод катушки связи  $L_{св}$ , заземлить. Вольтметр  $V_1$  - включить на выход цепи обратной связи (гнездо 14) и, установив напряжение на выходе усилителя  $U_{вых}$  порядка нескольких вольт, снять и построить зависимость  $K_{oc} = U_{oc} / U_{вых}$  от положения ручки "Регулировка обратной связи" в положении 0 "Регулировка фазы".

2. Отключив ГСС, установить рабочую точку в положение, соответствующее мягкому режиму самовозбуждения (п.2 домашнего задания), к подать напряжение обратной связи на вход усилителя. Снять зависимость напряжения  $U_{вых}$  и постоянной составляющей тока УЭ от величины обратной связи при увеличении и уменьшении обратной связи. Построить графики и определить значение  $K_{кр1}$ .

3. Зашунтировать контур  $R_{ш} = R_p$  и определить значение связи  $K_{кр2}$ .

4. Исследовать жесткий режим самовозбуждения,  $R_{ш} = \infty$  (п.б домашнего задания). Зависимость напряжения на выходе автогенератора и постоянной составляющей тока УЭ снимать при увеличении и уменьшении обратной связи. Построить эти зависимости и определить  $K_{кр3}$  и  $K_{кр4}$ .

5. В мягком режиме при  $K_{oc} = 1,5-2 K_{кр1}$  исследовать по фигурам Лиссажу (второй сигнал на осциллограф взять с выхода ГСС) уход частоты колебаний автогенератора при изменении фазы цепи обратной связи на  $\pm 45^\circ$ .

#### 5. Контрольные вопросы

1. Какие режимы самовозбуждения автогенератора Вы знаете?
2. При каких условиях возможен мягкий режим самовозбуждения?
3. Почему этот режим называется "мягкий"?
4. При каких условиях возможен жесткий режим самовозбуждения?
5. Почему такой режим называется "жестким"?

6. Что такое средняя крутизна характеристики Н.Э.?
7. По заданной колебательной характеристике построить зависимость средней крутизны от амплитуды колебаний.
8. Дать сравнительную характеристику мягкого и жёсткого режимов самовозбуждения.
9. Возможно ли самовозбуждение автогенератора, если напряжение смещения больше напряжения запирающего УЭ  $|E_0| > |E'_0|$ ?  
Возможен ли стационарный режим при тех же условиях?
10. Как зависит величина критической связи от режима самовозбуждения автогенератора?
11. Как изменяется величина критической связи при шунтировании контура?
12. В чём сущность квазилинейного метода исследования нелинейных цепей?
13. Изобразите характерные колебательные характеристики для мягкого и жёсткого режимов самовозбуждения.
14. Как по колебательной характеристике и линии обратной связи определить устойчивость автоколебаний в точках их пересечения?

#### 6. Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы | Классики отечественной науки, ISBN: 5-7107-7985-7 Дрофа, 2006 г. Стр.220-235.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы Издательство: "Высшая школа" ISBN: 5-06-003843-2 Год: 2005. Стр.332-336.
3. Денисов Н.П., Шарапов А.В., Шибяев А.А. Электроника и схемотехника -, Томск -2002 г. Стр. 21-32

#### Работа № 5 РЕГЕНЕРАТОР

##### 1. Цель работы

1. Изучение процессов в нелинейных цепях с положительной обратной связью при воздействии внешнего сигнала.
2. Изучение схемы регенератора и методики её настройки,
3. Исследование амплитудных и амплитудно-частотных характеристик регенератора.
4. Исследование синхронизации частоты автоколебаний внешним сигналом.

##### 2. Схема регенератора

Регенератор представляет собой обычно автогенератор в недовозбуждённом режиме ( $K_{ос} < K_{кр}$ ), на который воздействует сигнал от внешнего источника.

Схема регенератора приведена на рисунке 5.1.

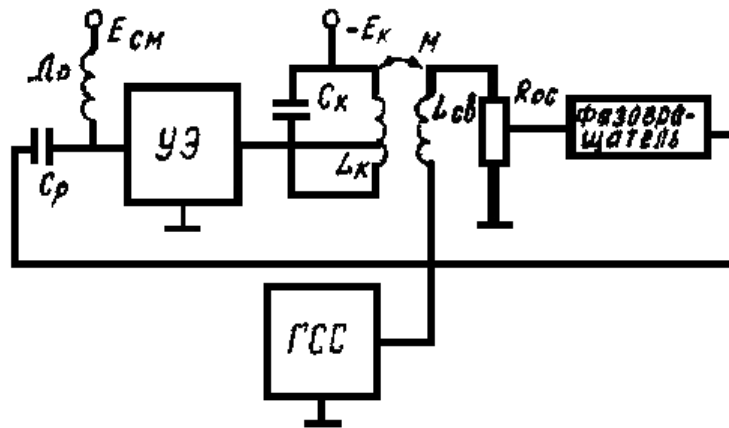


Рис. 5.1.

Здесь  $C_p$ ,  $D_r$ , УЭ,  $L_k$ ,  $C_k$  элементы резонансного усилителя, а  $L_{св}$ ,  $R_{ос}$  и "Фазовращатель" - элементы цепи ПОС. Внешний сигнал от ГСС включается последовательно в цепь обратной связи.

На этой же схеме при  $K_{ос} > K_{кр}$  исследуется синхронизация частоты автогенератора внешним сигналом.

### 3. Домашнее задание

1. Изучите явление регенерации и схему регенератора применительно к лабораторному макету.

2. Изобразить примерный вид частотных характеристик регенератора для трёх значений коэффициента обратной связи  $K_{ос1} = 0$ .

$$K_{ос2} = 0.5 K_{кр} \text{ и } K_{ос3} = 0.95 K_{кр} .$$

3. Изучить процесс синхронизации частоты автогенератора и его характеристики.

4. Рассчитать полосу захвата автогенератора для нескольких значений входного сигнала ( $U_{вх} = 0,5 + 2,0 U_{ос}$ ).

### 4. Лабораторное задание

1. Собрать схему регенератора (рис.5.1) и подключить к ней необходимые для исследования приборы (вольтметры входного и выходного сигналов, осциллограф).

2. Установить рабочую точку на середине линейного участка характеристики УЭ.

3. Установить по снятой в предыдущей работе характеристике обратной связи ( $\gamma_{ос}$  ОП) связь равную  $0,5 K_{кр}$  и снять амплитудную характеристику регенератора на резонансной частоте

$$U_{вых} = f(U_{вх}) .$$

4. Для линейного участка амплитудной характеристики (п.3) снять частотную характеристику и определять эквивалентную добротность контура и коэффициент усиления.

5. Для связи  $K \approx 0.95 K_{кр}$  (близкой к критической, при этом для  $U_{вх} = 0$  на выходе не должно быть сигнала) снять амплитудную характеристику регенератора  $U_{вых} = f(U_{вх})$  и определить коэффициент усиления на линейном участке.

6. Для линейного участка амплитудной характеристики снять резонансную кривую регенератора. Определить эквивалентную добротность.

7. Снять резонансную кривую для сигнала, соответствующего нелинейному участку амплитудной характеристики. Определить эквивалентную добротность.

8. Установить связь  $K_{oc} \approx 1.5 K_{кр}$ . Пронаблюдать по осциллографу появление биений при изменении частоты внешнего генератора. (Длительность развертки осциллографа увеличить). Граничные частоты сигнала, соответствующие появлению биений, определяют полосу синхронизации автогенератора.

#### 5. Контрольные вопросы

1. В чем состоит суть явления регенерации?
2. Что такое регенерированный контур?
3. Чем отличается регенератор от автогенератора?
4. Объясните причину снижения эквивалентно добротности регенерированного контура с увеличением амплитуды входного сигнала.
5. Для каких целей можно использовать явление регенерации в колебательном контуре?
6. В чём состоит явление синхронизации?
7. Что такое полоса синхронизации?
8. Для каких целей можно использовать явление синхронизации?

#### 6. Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы  
Классики отечественной науки, ISBN: 5-7107-7985-7, Дрофа, 2006 г.  
Стр.220-235.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы  
Издательство: "Высшая школа" ISBN: 5-06-003843-2 Год : 2005.  
Стр.332-336.
3. Денисов Н.П., Шарапов А.В., Шибяев А.А.  
Электроника и схемотехника -, Томск -2002 г.  
Стр. 21-32

#### Работа № 6

### РС-ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

#### I. Цель работы

1. Исследование характеристик и параметров двухкаскадного резистивного усилителя с отрицательной обратной связью в интегральном исполнении.
2. Исследование амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик цепи положительной обратной связи.
3. Исследование стационарного режима работы РС автогенератора.

#### 2. Схема генератора

РС-автогенератор (рис. 6.1) состоит из двухкаскадного интегрального усилителя типа 1УС-221, цепи положительной обратной связи (ПОС)  $R_1 R_2 C_1 C_2$  и цепи отрицательной обратной связи (ООС)  $R_3 R_4$ .

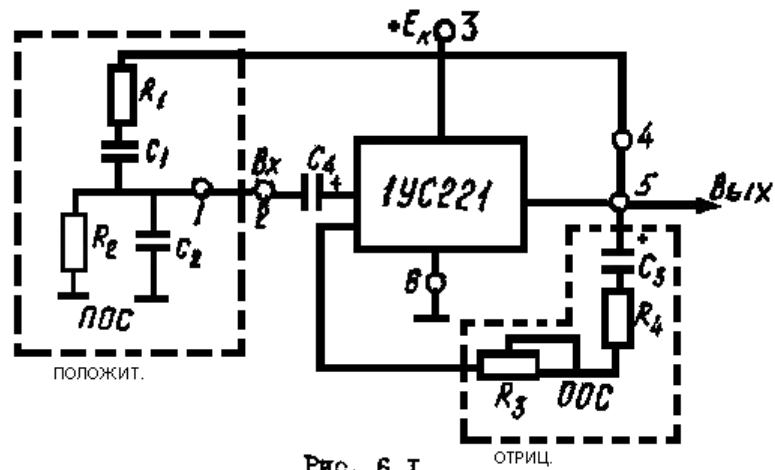


Рис. 6.1.

Усилитель предназначен для компенсации потерь в петле самовозбуждения. В стационарном режиме должно выполняться условие

$$K_y(U_m, \omega_1) \cdot K_{OC}(\omega_2) = 1, \quad (1)$$

где  $K_y(U_m, \omega_1)$  - комплексный коэффициент усиления усилителя на частоте генерируемых колебаний ( $\omega_2$ ) при стационарной амплитуде колебаний ( $U_m$ ),

$K_{OC}(\omega_2)$  - комплексный коэффициент обратной связи на генерируемой частоте.

Так как уравнение (1) комплексное, то действительная часть его определяет амплитуду стационарных колебаний, а мнимая часть - частоту:

$$K_y(U_m) \cdot K_{OC}(\omega_2) = 1, \quad \gamma_y + \gamma_{oc} = 2\pi n.$$

где  $n = 0, 1, 2, \dots$

Так как для резистивного двухкаскадного усилителя  $\gamma_y = 2\pi$  (поворот фазы сигнала для одного каскада равен  $180^\circ$ ), то для выполнения условия баланса фаз цепь обратной связи должна обеспечить  $\gamma_{oc} = 0$ . Из этого условия ( $\gamma_{oc} = 0$ ) определяется частота генерируемых колебаний.

Поскольку в исследуемом генераторе отсутствует избирательная нагрузка, то, для обеспечения требуемой формы колебаний близкой к гармонической, применяется цепь отрицательной обратной связи, которая, уменьшая усиление, линеаризует амплитудную характеристику усилителя. Напряжение обратной связи подается с выхода усилителя через разделительный конденсатор  $C_3$  и сопротивления обратной связи в эмиттер первого каскада. Регулировка обратной связи в необходимых пределах осуществляется сопротивлением  $R_3$  (Добавочное сопротивление  $R_1$  ограничивает максимальное значение ООС).

Электрическая схема усилителя приведена на рис.6.2.



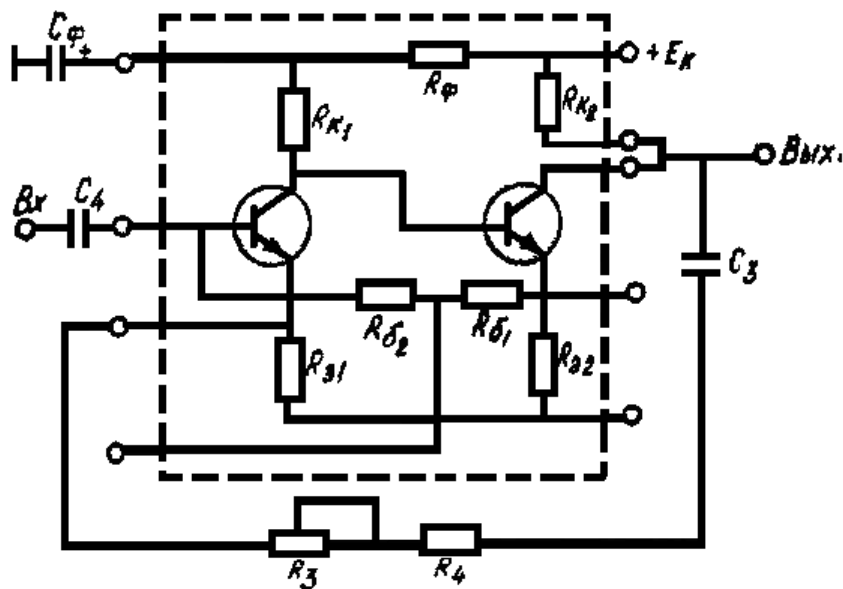


Рис. 6.2.

Усилитель выполнен на двух транзисторах ( $T_1$  и  $T_2$ )  $n-p-n$  типа по схеме с общими эмиттерами и прямой связью между первым и вторым каскадами. Смещение на базу первого транзистора подается через сопротивления  $R_{\delta 1}$  и  $R_{\delta 2}$  с эмиттерного сопротивления  $R_{э 2}$  второго транзистора  $T_2$ , чем обеспечивается стабилизация режима усилителя по постоянному току. В коллекторной цепи первого транзистора имеется фильтр  $R_{\phi}$   $C_{\phi}$  для устранения возможности самовозбуждения по цепи питания. ( $C_{\phi}$  - внешний конденсатор). На вход усилителя ставится разделительный конденсатор, чтобы источник сигнала или цепь обратной связи не нарушали режимы транзисторов по постоянному току. Питается усилитель от источника  $E_k = +12$  В. Коэффициент усиления его на средних частотах (паспортные данные)  $K_y = 250$ , входное сопротивление  $R_{вх} \geq 1,5$  кОм.

На панель RC-генератора выведены гнезда (по два гнезда), соответствующие обозначенным точкам на рисунке 6.1 и сопротивление регулировки отрицательной обратной связи  $R_3$ .

### 3. Домашнее задание

1. Изучить схему RC-генератора и принцип его работы.
2. Для заданных значений элементов цепи ПОС (таблица 6.1) рассчитать и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики коэффициента передачи этой цепи. При условии  $R_1 = R_2$   $C_1 = C_2$  (рис.6.1), расчёт произвести по формулам:

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}}, \Psi(\omega) = \text{arctg} \frac{\frac{1}{\omega RC} - \omega RC}{3}$$

3. Рассчитать частоту генерируемых колебаний с учётом входного сопротивления усилителя, приняв  $R_{вх} = 1,5$  кОм ( $R_{вх}$  подключено параллельно сопротивлению  $R_2$ ), и коэффициент передачи цепи ПОС на этой частоте.

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_{\text{экв}} C}}, \quad K = \frac{1}{2 + \frac{R_1}{R_{\text{экв}}}}$$

где  $R_{\text{экв}}$  - эквивалентное сопротивление нижнего плеча цепи ПОС с учётом входного сопротивления усилителя.

4. Рассчитать необходимую величину коэффициента усиления усилителя, исходя из условия самовозбуждения.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Какая обратная связь называется положительной, а какая - отрицательной? Назначение цепей обратной связи в RC-генераторе?

2. Чем определяется частота генерируемых колебаний в исследуемом генераторе?

3. Можно ли приведённую выше цепь обратной связи использовать в однокаскадном RC-генераторе? Почему?

4. Чем определяется форма генерируемых колебаний в RC-генераторе?

5. Поясните с помощью векторной диаграммы, почему приведённая цепь ПОС даёт сдвиг по фазе между входным и выходным напряжениями равный нулю только на одной определённой частоте?

6. Объясните назначение всех элементов принципиальной схемы интегрального усилителя.

7. Чем ограничивается амплитуда колебаний в RC-генераторах?

8. От чего зависит стабильность частоты колебаний RC-генератора?

9. Каким образом можно перестраивать частоту автоколебаний в RC-генераторе?

#### 5. Лабораторное задание

1. Предварительно ОТКЛЮЧИВ цепь положительной обратной связи от усилителя, снять её амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики, подав от звукового генератора напряжение порядка 5 В. Разность фаз между входным (опорным) и выходным (на элементах  $R_2$   $C_2$ ) напряжениями измерять фазометром Ф2-1. Диапазон частот для снятия характеристик определить из условия уменьшения коэффициента передачи цепи до уровня порядка 0,1 от максимального значения.

2. ПЕРЕКЛЮЧИВ выходное напряжение звукового генератора на предел 0,1 В (чтобы не сжечь микросхему), подать его на вход усилителя и включить источник питания усилителя. Для нескольких (4-5) значений отрицательной обратной связи определить коэффициент усиления и максимальное выходное напряжение усилителя, при котором ещё нет заметных искажений синусоиды.

3. Для одного из значений отрицательной обратной связи снять амплитудно-частотную характеристику усилителя в диапазоне частот 20 Гц - 20 кГц.

4. Собрать схему генератора и регулировкой отрицательной обратной связи добиться максимального неискажённого выходного сигнала. Измерить коэффициент усиления усилителя в этом режиме и определить по фигуре Лиссажу частоту генерируемых колебаний.

5. Изменяя величину отрицательной обратной связи, зарисовать несколько характерных осциллограмм выходного напряжения.

## 6. Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы  
Классики отечественной науки , ISBN: 5-7107-7985-7 Дрофа, 2006 г. |  
Стр.220-235.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы  
Издательство: "Высшая школа" ISBN: 5-06-003843-2 Год выхода: 2005.  
Стр.332-336.
3. Денисов Н.П. , Шарапов А.В. , Шибяев А.А.  
Электроника и схемотехника -, Томск -2002 г.  
Стр. 21-32.

Учебное издание

Каминский В.Л.

**Радиотехнические цепи и сигналы**

(часть 2)

Учебно-методическое пособие по дисциплине  
Радиотехнические цепи и сигналы

Формат 60 x 84 1/16. Усл. печ. л. ....

Тираж 300экз. Заказ ....

Отпечатано в Томском государственном университете  
систем управления и радиоэлектроники.

634050, Томск, пр. Ленина, 40. Тел. (3822) 533018.