



Кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры

---

А.С. Шостак, И.И. Горелкин

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

по курсу “Формирование и передача сигналов”  
Учебно - методическое пособие

Томск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

А.С. Шостак, И.И. Горелкин

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

по курсу “Формирование и передача сигналов”  
Учебно - методическое пособие

2018

**Рецензент:** профессор кафедры КИПР ТУСУР, д. т. н. Масалов Е.В.

**Технический редактор:** доцент кафедры КИПР ТУСУР, к. т. н. Кривин Н.Н.

А.С. Шостак, И.И. Горелкин. Лабораторный практикум по курсу “Прием и обработка сигналов”,

**Томск:** Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018 – 23 с.

Содержит набор лабораторных работ по курсу формирования и передачи сигналов. Лабораторный практикум может быть использован при изучении дисциплин смежных специальностей радиотехнического направления.

© А.С. Шостак, И.И. Горелкин. 2018  
© Кафедра КИПР Томского  
государственного университета систем  
управления и радиоэлектроники, 2018

## Оглавление

Лабораторная работа №1. Нелинейные преобразования сигналов в радиотехнических цепях.....	5
Часть 1. Усиление и умножение частоты .....	5
Часть 2. Модуляция и детектирование.....	10
Лабораторная работа №2. LC-Автогенератор.....	14
Список рекомендованной литературы .....	23

# Лабораторная работа №1. Нелинейные преобразования сигналов в радиотехнических цепях

## 1. Цель работы

Целью работы является: исследование резистивного и резонансного транзисторных усилителей в линейном и нелинейных режимах, исследование умножителя частоты, амплитудного модулятора и последовательного линейного диодного детектора, а также освоение методик измерения параметров и характеристик указанных устройств.

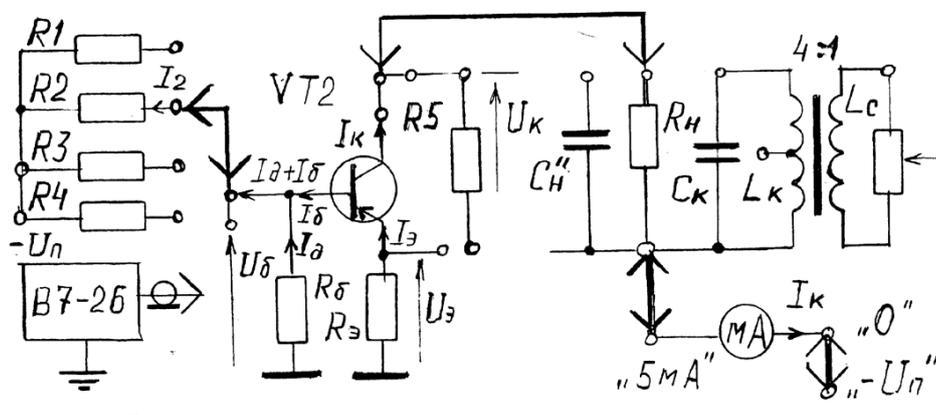


Рис.1.1 – Схема соединений для измерения характеристик усилителя с резистивной и резонансной нагрузками

## 2. Лабораторные задания

### Часть 1. Усиление и умножение частоты

#### 2.1 Исследование транзисторного усилителя с резистивной нагрузкой.

- Начертить в рабочей тетради схему резистивного усилителя с подсоединенными измерительными приборами в соответствии со схемой макета изображенной на рис.1.1.

- Собрать схему усилителя с резистивной нагрузкой на макете и измерить режим работы усилителя по постоянному току при двух значениях резисторов в цепи базы – R1 и R2 : напряжение на базе, напряжение питания, напряжение на коллекторе, ток коллектора и напряжение на эмиттере ( $U_{Б0}$ ,  $E_{ПИТ}$ ,  $U_{К0}$ ,  $I_{К0}$ ,  $U_{Э0}$ ). Соответствие измеренных значений параметров типовым будет свидетельствовать о работоспособности схемы.

- Определить коэффициенты усиления по постоянному току и крутизну передаточной характеристики:

$$K_0=(U_{K01}-U_{K02})/(U_{Б01}-U_{Б02}) \text{ и } S=(I_{K01}-I_{K02})/(U_{Б01}-U_{Б02})$$

- Определить параметры резистивного усилителя по переменному току. Определить границы режима малого сигнала.

В цепь базы включить сопротивление R2 , при котором ток коллектора равен  $I_{К0} \approx 0,5 E_{ПИТ} / R_H$ . Подключить ко входу транзисторного усилителя генератор ГЗ-118 и подать на вход усилителя сигнал с частотой 2 кГц и напряжением 50-100 мВ. При этом на коллекторе и эмиттере наблюдаются с помощью осциллографа сигналы синусоидальной формы. Определить коэффициент усиления по переменному току  $K = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$  .

Увеличить входное напряжение от генератора до значения, при котором наблюдаются на осциллографе искажения сигнала (нелинейные) на выходе в виде отклонения его формы от синусоидальной. Измерить величину входного и выходного напряжений, при которой появляются нелинейные искажения.

Различают два основных режима усиления в резистивном усилителе – режим усиления класса “А” (линейный) и режим усиления класса “В” (нелинейный). В режиме “А” рабочая точка ( $I_{К0}$  и  $U_{Б0}$ ) выбирается на середине линейного участка проходной ВАХ ( $I_{К0} = 0,5 I_{Кmax}$ ). Этот режим характеризуется наибольшим коэффициентом усиления при “малых” входных напряжениях на базе ( $100 U_{мБ} \leq mB$ ).

Нелинейность ВАХ проявляется в снижении коэффициента усиления при “больших” входных напряжениях на ( $U_{ВХ} \geq 150 mB$ ).

Для определения области линейного усиления необходимо снять амплитудную характеристику усилителя – зависимость коэффициента усиления  $K$  от величины входного напряжения  $U_{ВХ}$   $K = f(U_{ВХ})$ . Напряжение  $U_{ВХ}$ , при котором начинает снижаться коэффициент усиления  $K$  и является границей линейного режима.

**Режим “В” (“АВ”)** соответствует выбору рабочей точки ( $I_{к0}$  и  $U_{к0}$ ) на нижнем участке ВАХ. Такой режим может применяться в двухтактных схемах, когда положительный полупериод усиливается одним транзистором, а отрицательный – другим. При этом транзисторы работают на общую нагрузку в схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Ввиду того, что напряжения на базы транзисторов подаются в противоположных фазах ( $\Delta f = 180^\circ$ ) токи четных гармоник имеют малый уровень пропорциональный несимметрии транзисторов, а токи третьей гармоники при угле “отсечки”  $\Theta \approx 90^\circ$  также очень малы, поэтому и коэффициент нелинейных искажений мал.

## 2.2 Исследования резонансного усилителя

- Для исследования резонансного усилителя в линейном и нелинейном режимах необходимо предварительно рассчитать следующие параметры: - резонансную частоту; -эквивалентное сопротивление нагрузки; -коэффициент усиления; -полосу пропускания - полосу частот, в пределах которой усиление уменьшается не более, чем на 3 дБ.

Определение параметров резонансного усилителя в режиме малого сигнала.

- В цепь коллектора транзистора включить в качестве нагрузки LC – контур
- Измерить режим усилителя по постоянному току  $U_{к0}$  и  $I_{к0}$  при подаче на вход сигнала (от генератора ГЗ-118 не более 0.1В).

Изменяя частоту генератора ГЗ – 118, определить резонансную частоту по максимальному значению выходного напряжения на коллекторе. Форма 5 колебаний на эмиттере и коллекторе при этом должна быть синусоидальной, в противном случае необходимо уменьшить уровень входного сигнала.

- Измерить переменные напряжения на базе, эмиттере и коллекторе ( $U_{мв}$ ,  $U_{мэ}$ ,  $U_{мк}$ ) и определить: ток коллектора  $I_K \approx I_E = U_E / R_E$ , коэффициент усиления по напряжению  $K = U_{ВЫХ} / U_{ВХ}$ , сопротивление нагрузки и  $R_H \approx U_K / I_E$ .

В режиме малого сигнала постоянный ток коллектора должен оставаться неизменным, независимо от наличия входного сигнала.

- Исследовать зависимость формы сигнала на эмиттере –  $U_E$  от величины входного напряжения; она изменится от синусоидальной (при малом уровне) до косинусоидальных импульсов – при большом уровне. Форма колебаний на контуре остается синусоидальной независимо от уровня входного сигнала, а величина напряжения на контуре приближается к напряжению питания.

### 2.3 Исследование резонансного усилителя в режиме нелинейного усиления мощности.

- В целях устранения влияния постоянного тока базы на режим работы необходимо сопротивление  $R_2$  отключить. На генераторе ГЗ – 118 установить частоту равную резонансной и, изменяя величину  $U_{ВХ}$ , наблюдать изменение формы коллекторного тока на эмиттерном резисторе  $R_E$ . При  $U_{ВХ} > 0.2В$  сигнал будет приобретать форму косинусоидальных импульсов. Установить такое максимальное напряжение  $U_{ВХ}$ , при котором еще не возникает провал на вершине импульса – искажение за счет захода транзистора в область насыщения.

- Измерить осциллографом напряжение импульса на  $R_E$  –  $U_{Эmax}$ , напряжение на контуре  $U_{ВЫХ}$ , ток коллектора  $I_{K0}$ ,  $U_{ВХ}$ , угол отсечки  $\Theta$ .

- По результатам измерений вычислить:

$$I_{Kmax} = U_E / R_E; \quad I_{K1} = U_{Km} / R_{OE};$$

$$\alpha_0 = I_{K0} / I_{Kmax}; \quad \alpha_1 = I_{K1} / I_{Kmax}.$$

Построить спектр коллекторного тока и рассчитать коэффициент полезного действия  $\eta_{КПД} = I_{K1} * U_{Km} / (2 * I_{K0} * E_{П})$ .

## 2.4 Исследование резонансного умножителя частоты.

- Данные о работе нелинейного усилителя в качестве умножителя частоты в 2 и 3 раза следует произвести аналогично измерениям режима усилителя мощности (п. 2.3.2).

- Для этого частота сигнала от генератора уменьшается соответственно в 2 и 3 раза. На двухканальном осциллографе желательно наблюдать изображения импульсов  $U_E$  и напряжение на выходе (с целью убедиться, что частота напряжения на выходе в 2, 3 раза больше частоты генератора).

- $U_{ВХ}$  следует изменить, чтобы получить одинаковую величину  $I_{СМАХ}$ , не допуская искажений импульсов  $U_E$ , оставить его величину, что и в п.2.2.3.

- Измерить:  $I_{C0}, U_{ВЫХ}, U_{ЕМАХ}$ , вычислить:  $I_{ЕМАХ}=U_{ЕМАХ}/R_E, I_{МСN}=U_{СМ}/R_{ОЕ},$

$$\alpha_0=I_{C0}/I_{СМАХ}, \alpha_N= I_{СMN}/I_{СМАХ}$$

- Сравнить рассчитанные значения  $\alpha_0, \alpha_N$  с данными таблицы коэффициентов Берга.

- Существенную разницу может вызвать неточность измерений и отклонение формы импульсов от косинусоидальной. Последнее имеет место на высоких частотах. Непропорциональное уменьшение или увеличение  $I_{СМАС}$  дает уменьшение или увеличение значения  $\alpha_3$ , асимметрия импульса изменяет  $\alpha_2$ .

- Обработанные данные измерений занести в таблицу, изобразить спектр графически.

- Изобразить рисунком ВАХ транзистора и расположение по ней сигналов для одного из режимов работы нелинейного усилителя.

## Часть 2. Модуляция и детектирование.

### 2.5 Детектор и модулятор АМК.

Важнейшими нелинейными элементами преобразователями сигналов являются получение АМК и их детектирование, то есть обратное преобразование. Подробное исследование этих преобразований требуют сложного аналитического анализа с учетом периодических процессов. Для практического описания этих процессов можно применить метод статистических характеристик, а именно для детектора получить зависимость изменения постоянной составляющей в спектре тока нелинейного элемента от амплитуды детектирующего на входе переменного напряжения  $I_{K0}(U_{мБ})$ , а для амплитудного модулятора анализ его работы произвести на основе получения статистической характеристики зависимости  $I_{K0}(U_{Э0})$  при постоянной амплитуде  $U_{Э0}$ .

Переходные процессы можно продемонстрировать при изменении частоты модулирующего сигнала и параметров фильтра НЧ для детектора и АЧХ контура для модулятора.

#### Измерение статистической характеристики диодного детектора

- На вход диодного детектора подать напряжение от генератора Г-3-118 с частотой 100÷200кГц. Изменяя амплитуду этого напряжения  $U_{ДЕТ}$ , измерить постоянное напряжение на выходе детектора, то есть на сопротивлении нагрузки РС вольтметром В-7-26 (В-7-27).

- Вычислить область квадратичного детектирования по изменению коэффициента передачи пропорционального подаваемому напряжению. На участке “линейного” детектирования коэффициент передачи остается постоянным.

- Определить малую пульсацию, переменную составляющую на выходе детектора при  $f_{\Gamma} = 150$  кГц и  $f_{\Gamma} = 20$  кГц.
- Сделать выводы.

### **Измерение статистической характеристики модулятора АМК**

Для получения амплитудно-модулированных колебаний можно использовать при малых сигналах квадратичную ВАХ, что сопровождается большими искажениями за счет второй гармоники модулирующего сигнала. Уменьшение искажений можно получить, установив угол отсечки коллекторного тока близким к  $90^{\circ}$ .

- Проверить промодулированность между выходным напряжением усиления мощности и постоянным смещением  $U_{Э0}$ , которое определяет его коэффициент усиления.

- Согласно схеме подключить на вход усилителя напряжение от Г-2-118 с частотой резонанса и  $U_{мЭ} = 0,3-0,4$ В, и постоянное смещение  $U_{Э0}$  от источника  $U_{СМ}$ . Меняя последовательно  $U_{СМ}$   $U_{см}$  в пределах  $-0.2$ А;  $-0.3$ ;  $0$ ;  $+0.1$ ;  $+0.2$  В, измерить  $U_{ВЫХ}$ .

- Вычислив коэффициент усиления, построить графики  $K=f(U_{Э0})$  и  $U_{ВЫХ} = f(U_{В0})U_{ВЫХ} = f(U_{Э0})$ , которые позволяют выбрать благоприятный режим работы модулятора.

Начальное смещение при отсутствии сигнала модуляции следует выбирать на середине статистической характеристики, предположительно это  $U_{Э0}=0$ .

- Далее, задавшись амплитудно-модулирующим напряжением  $U_{мМОД}=0,1 \div 0,15$ В, найти  $U_{ВЫХmax} = (1+m) U_{ВЫХm0}$  и  $U_{ВЫХmin} = (1-m)U_{ВЫХ m0}$  при  $U_{Э0} = \pm U_{мМОД}$ .

## Получение АМК и их детектирование

- Выход усилителя  $U_{\text{ВЫХ}}$  соединить со входом диодного детектора и одним каналом осциллографа. Выход детектора соединить с вольтметром постоянного тока В-7-26(27) и вторым каналом осциллографа.

- От второго генератора Г-3-118 (Г-3-107) подать на эмиттер транзистора напряжение  $U_{\text{МОД}} = 0,1 \div 0,15 \text{ В}$  с частотой  $F = 300 \div 500 \text{ Гц}$ .

- Отрегулировать  $U_{\text{ВХ}}$  усилителя,  $U_{\text{м МОД}}$  и режим развертки осциллографа для получения устойчивого изображения на экране осциллографа АМК  $U_{\text{ВЫХ}}$  и  $U_{\text{ВЫХ ДЕТ}}$ .

- Измерить  $m$ ,  $U_{\text{ДЕТ СТАТ}}$ ,  $U_{\text{ДЕТ ДИН}}$ .

- Зарисовать осциллограмму -  $U_{\text{ДЕТ ДИН}}$ .

- Затем измерения повторить при частотах модулирующего сигнала  $f = 2 \div 3 \text{ кГц}$  и  $f = 10 \text{ кГц}$ .

- Сделать выводы о результатах детектирования по коэффициенту передачи  $K_{\text{ДЕТ}}$ , и форме сигнала на выходе детектора с разными частотами.

## 5.4. Требования к отчету

1. Заготовка для отчета должна быть сделана в ходе домашней подготовки к работе.

Она должна содержать:

- название и цель работы;

- домашнее расчетное задание;

- наименование пунктов лабораторной работы в соответствии с заданием.

Каждый пункт должен содержать:

- схему эксперимента;

- заготовку для внесения в нее результатов эксперимента;

- расчетные формулы;

- координатные оси для построения графиков;

● чистое поле (1/4...1/3 листа) для зарисовки осциллограмм, формулировки выводов и оценки полученных результатов.

Таким образом, для каждого пункта может понадобиться до одной страницы.

2. Целесообразно формулировку выводов и оценку результатов привести в конце работы отдельным пунктом. Количество выводов должно быть не меньше количества пунктов задания. Простейшим выводом является констатация факта в виде словесной формулировки полученного результата. Далее должно следовать сравнение результатов с известными теоретическими положениями и расчетными данными. В случае несоответствия результатов – дать объяснения причин этого. Следует помнить, что вывод - это формулировка экспериментального результата и его интерпретация.

## Лабораторная работа №2. LC-Автогенератор.

### 1. Цель работы

Цель работы – исследование режимов работы и поведения транзисторного LC -автогенератора с трансформаторной связью под действием внешнего гармонического воздействия.

### 2. В работе исследуются:

- регенерация в резонансном усилителе с положительной обратной связью;
- установление автоколебаний;
- синхронизация (захват частоты) автоколебаний внешним гармоническим сигналом;
- влияние на нестабильность частоты процесса установления теплового режима, величины коэффициента обратной связи и фазового сдвига, текущего времени (кратковременная нестабильность);
- снимаются колебательная характеристика и характеристика обратной связи.

По результатам измерений определяются:

- коэффициент регенерации резонансного усилителя;
- время установление колебаний;
- полоса синхронизации (захвата) автоколебаний;
- коэффициенты нестабильности частоты несинхронизированного и синхронизированного автогенераторов, обусловленные кратковременными флуктуациями, процессом установления теплового режима, изменением коэффициента обратной связи и фазового сдвига.

### 3. Описание лабораторной установки

Лабораторную работу выполняют на той же установке, что и предыдущую работу “Преобразование сигналов в нелинейных цепях”. Для сборки автогенератора необходимо схему резонансного усилителя дополнить цепью обратной связи, состоящей из: -индуктивного трансформатора со встречным включением обмоток и трансформацией по напряжению 4:1; -плавного аттенюатора (регулятора напряжения) в виде переменного резистора  $R_{П}$  ,

включенного параллельно вторичной обмотке индуктивного трансформатора; - плавного RC-фазовращателя с регулировкой фазового сдвига переменным резистором  $R_{\phi}$ .

#### **4. Лабораторное задание и методические указания.**

##### **4.1. Сборка схемы и проверка работоспособности автогенератора.**

Собрать на макете схему резонансного усилителя, включить питание макета и убедиться, что при уменьшении величины сопротивления в цепи базы (поочередным подключением резисторов  $R_1$ - $R_4$ ) увеличивается ток коллектора. Затем собрать схему автогенератора, соединив выход цепи обратной связи (гнездо “ $U_{OC}$ ”) с входом усилителя. Подключить к вторичной обмотке индуктивного трансформатора (гнездо “ $U_{ВЫХ}$ ”) вход осциллографа, в цепь базы включить резистор  $R_2$  ( $R_1$ ). Изменение коэффициента передачи цепи обратной связи (при помощи переменного резистора  $R_{П}$ ) должно привести к возникновению гармонических колебаний на выходе автогенератора. При помощи частотомера (или осциллографа) и вольтметра измерить частоту автоколебаний и величину выходного напряжения.

##### **4.2. Исследование регенерации в резонансном усилителе с положительной обратной связью.**

- Включить цепь положительной обратной связи, соединив выход фазовращателя с входом усилителя;
- на вход усилителя подать сигнал с выхода ИАЧХ Х1-40 (выход ГКЧ);
- к выходу усилителя подключить вольтметр ВЗ-38 и вход индикатора Х1-40.

Установив переменный резистор  $R_{П}$  в крайнее левое положение (это соответствует нулевому значению коэффициента обратной связи), получить на экране индикатора изображение АЧХ усилителя. Пронаблюдать изменение формы АЧХ усилителя при увеличении обратной связи вращением указанного

резистора. В некотором положении резистора происходит самовозбуждение и возникают автоколебания. Изображение АЧХ на экране исчезнет.

- Зарисовать АЧХ без обратной связи и АЧХ в режиме близком к самовозбуждению. Считая масштаб по частотной оси индикатора линейным, определить относительное сужение полосы пропускания усилителя в режиме регенерации.

- В режиме ручного управления частотой ГКЧ на резонансной частоте измерить напряжение на выходе усилителя без обратной связи и с обратной связью близкой к самовозбуждению. Определить коэффициент регенерации как отношение этих напряжений. При отсутствии измерителя АЧХ коэффициент регенерации можно определить, используя генератор ГЗ-118 и вольтметр ВЗ-38.

#### **4.3. Влияние коэффициента обратной связи на время установления автоколебаний.**

- К выходу автогенератора подключить осциллограф.

- К эмиттеру транзистора подключить генератор (ГЗ-118) с выходным напряжением  $0.5 \div 1\text{В}$  и частотой  $200 \div 300\text{Гц}$ . Так как в схеме используется германиевый транзистор типа р-п-р, то положительный полупериод гармонического колебания автогенератора будет смещать рабочую точку в область отсечки, что приведет к срыву автоколебаний, а отрицательный полупериод возвратит ее в область максимальной крутизны (и, следовательно, максимального усиления). Во втором случае при достаточной обратной связи возникают автоколебания. Время нарастания автоколебаний зависит от величины коэффициента обратной связи – чем больше коэффициент обратной связи, тем меньше время нарастания автоколебаний.

- Измерить время нарастания автоколебаний при слабой и сильной обратной связи. Измерение произвести путем подсчета количества высокочастотных колебаний в промежутке времени, в течении которого их амплитуда возрастает до 0.9 стационарного значения.

- Измерить время затухания автоколебаний (по заднему фронту импульса).

Измерение произвести путем подсчета количества высокочастотных колебаний в промежутке времени, в течение которого их амплитуда уменьшается до 0.1 стационарного значения

- Зарисовать наблюдаемые осциллограммы.

#### **4.4. Исследование синхронизации колебаний автогенератора внешним сигналом с частотой близкой к резонансной.**

Целью данного исследования является определение полосы частот, в которой частота автоколебаний равна частоте внешнего синхронизирующего генератора, подключенного к эмиттеру транзистора. Эта полоса называется полосой захватывания или полосой синхронизации. Если частота внешнего генератора существенно отличается от частоты автоколебаний, то на выходе автогенератора в результате сложения двух колебаний с близкими частотами возникают биения – периодическое изменение амплитуды колебаний. Частота биений равна разности частот внешнего генератора и автоколебаний. Биения можно наблюдать на выходе автогенератора при помощи осциллографа.

• На эмиттер транзистора подать сигнал от генератора ГЗ-118 напряжением  $0.1 \div 0.5 \text{ В}$  и частотой равной частоте автоколебаний. Изменяя частоту генератора ГЗ-118 в сторону повышения и понижения, по отсутствию биений зафиксировать границы одночастотных колебаний. При достаточно медленной развертке осциллографа вне полосы синхронизации можно наблюдать характерную осциллограмму биений.

• Измерение полосы синхронизации провести при двух значениях величины синхросигнала –  $0.1 \text{ В}$  и  $0.3 \text{ В}$ .

- Зарисовать наблюдаемые осциллограммы биений.

#### **4.5. Исследование стабильности частоты автогенератора.**

Целью исследований является определение относительной нестабильности частоты автогенератора от времени, от величин обратной связи и фазового угла. К выходу автогенератора подключить цифровой частотомер. Отсчет частоты нужно производить с точностью до единиц герц.

- Для измерения временной нестабильности произвести отсчеты частоты в течение 3÷5 минут с интервалом в 5÷15 секунд.

- Для измерения нестабильности в зависимости от коэффициента обратной связи произвести отсчеты частоты при различных положениях переменного резистора “ $R_{П}$ ” (до 10 значений).

- Для измерения нестабильности в зависимости от фазового сдвига произвести отсчеты частоты при различных положениях переменного резистора “ $R_{Ф}$ ” (до 10 значений).

- Для оценки нестабильности частоты при установлении теплового режима нужно произвести отсчеты частоты в течение 5÷10 минут после подачи питания на схему автогенератора.

- По результатам измерений в каждом случае определить относительную нестабильность как отношение разности между максимальным и минимальным значением к среднему значению частоты (при определении тепловой нестабильности – к установившемуся значению частоты).

#### **4.6. Исследование стабильности частоты синхронизированного автогенератора.**

Целью данного исследования является определение относительной нестабильности частоты синхронизированного автогенератора.

- На эмиттер транзистора подать сигнал от генератора ГЗ-118 напряжением 0.1÷0.5В и частотой, равной частоте автоколебаний.

- Повторить измерения согласно пункту 4.5. “Исследование стабильности частоты автогенератора”.

#### **4.7 Определение амплитуды стационарных колебаний автогенератора по колебательной характеристике и характеристике обратной связи.**

Целью данного эксперимента является снятие колебательной (амплитудной) характеристики усилителя и характеристики обратной связи усилителя с разомкнутой цепью обратной связи на резонансной частоте.

Разомкнуть цепь обратной связи, на вход усилителя подать сигнал с резонансной частотой от генератора ГЗ-118. К выходу усилителя (гнездо “УВЫХ ”) и к выходу цепи обратной связи (гнездо “УОС ”) подключить вольтметры.

- Изменяя величину напряжения на выходе генератора ГЗ-118 снять колебательную характеристику и амплитудную характеристику обратной связи при двух значениях обратной связи: -максимальном, когда резистор  $R_{П}$  находится в крайнем правом положении; -критическом, когда резистор  $R_{П}$  находится в положении вблизи срыва автоколебаний (это положение необходимо уточнить).

- По результатам измерений в одной системе координат построить графики зависимости коэффициента усиления ( $K_{У}=U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$ ) и коэффициента обратной связи ( $K_{ОС}=U_{ОС}/U_{ВХ}$ ) от величины входного напряжения.

- Графически определить точку баланса амплитуд ( $K_{ОС} * K_{ОС}=1$ ) и величину амплитуды стационарных колебаний.

#### **4.8. Исследование режима регенерации резонансного усилителя при подаче на его вход прямоугольного импульса.**

Режим регенерации резонансного усилителя можно пронаблюдать по прохождению через усилитель прямоугольного импульса. В этом случае контур отвечает собственными затухающими колебаниями. При положительной обратной связи (меньшей, чем требуется для самовозбуждения генератора) продолжительность процесса затухающих колебаний возрастает. Количество

периодов, при котором амплитуда колебаний уменьшается в  $e^{\pi} \approx 23$  численно равно добротности контура.

Для наблюдения этого процесса необходимо подать от генератора прямоугольных импульсов Г5-60 сигнал с периодом повторения  $T=0,5 - 1$  мс и скважностью  $\tau = 0,25 - 0,5$  мс амплитудой до 0,5 В. Сигнал следует подавать на эмиттер или на вход усилителя.

- Затухающие колебания можно наблюдать на экране осциллографа, подключенного к выходу резонансного усилителя.
- Определить добротность контура при нескольких значениях коэффициента положительной обратной связи (  $3 \div 5$  ).
- Зарисовать осциллограммы при двух крайних значениях добротности контура.

## **5. Требования к отчету**

1. Заготовка для отчета должна быть сделана в ходе домашней подготовки к работе. Она должна содержать: 8 - название и цель работы; -домашнее расчетное задание; -наименование пунктов лабораторной работы в соответствии с заданием; Каждый пункт должен содержать:

- схему эксперимента;
- заготовку для внесения в нее результатов эксперимента;
- расчетные формулы;
- координатные оси для построения графиков;
- чистое поле (1/4....1/3 листа) для зарисовки осциллограмм, формулировки выводов и оценки полученных результатов.

Таким образом, для каждого пункта может понадобиться до одной страницы.

2. Целесообразно формулировку выводов и оценку результатов привести в конце работы отдельным пунктом. Количество выводов должно быть не меньше количества пунктов задания. Простейшим выводом является

констатация факта в виде словесной формулировки полученного результата. Далее должно следовать сравнение результатов с известными теоретическими положениями и расчетными данными. В случае несоответствия результатов – дать объяснения причин этого. Следует помнить, что вывод - это формулировка экспериментального результата и его интерпретация.

3. В последнем пункте желательно сформулировать Ваши замечания и предложения по совершенствованию данной работы.

## **6. Контрольные вопросы**

1. Запишите уравнение для коэффициента передачи цепи с обратной связью и поясните смысл понятий положительная (отрицательная) обратная связь, баланс амплитуд, баланс фаз. Представьте графическую зависимость коэффициента передачи цепи с обратной связью от коэффициента обратной связи и поясните характерные режимы работы цепи высокой стабильности, регенерации, самовозбуждения.

2. Запишите нелинейные однородные дифференциальные уравнения второго порядка для LC -автогенератора, поясните метод укороченного уравнения, понятие средней крутизны и условие стационарности.

3. Что такое мягкий и жесткий режимы самовозбуждения, устойчивость стационарного режима?

4. Дайте сравнительный анализ схем автогенераторов: трансформаторная схема, индуктивная и емкостная трехточки.

5. Что такое синхронизация (захват) частоты автогенератора внешним сигналом?

6. Какие параметры схемы и как влияют на время установления автоколебаний?

7. Какие факторы влияют на нестабильность частоты автогенератора?

8. Приведите схемы и поясните методики исследования колебательных характеристик, режима регенерации, процессов установления автоколебаний,

полосы синхронизации колебаний внешним сигналом, стабильности частоты автогенератора.

9. Поясните методику графического определения амплитуды стационарных колебаний по амплитудной характеристике и характеристике обратной связи.

## Список рекомендованной литературы

- 1 В.И. Нефедов. Основы радиоэлектроники и связи: М. ВШ. 2002.-510с.
- 2 С.И. Баскаков Радиотехнические цепи и сигналы: М. ВШ. 2005.-462с.
- 3 А.П. Кулинич. Описания радиоизмерительных приборов, инструкции по работе с ними и методика проведения измерений. Лабораторный практикум.- Томск: ТУСУР, 2012.-17 с.
- 4 А.П. Кулинич. Руководство по выполнению лабораторных работ в лаборатории «Радиоэлектроники» кафедры КИПР.- Томск: ТУСУР, 2012.- 8 с.
- 5 А.П. Кулинич. Основы радиоэлектроники и связи: Учебное пособие по лабораторному практикуму.- Томск: ТУСУР, 2012.