Лабораторная работа №1. **«**Усиление сигналов»

(2 часа)

**Цель работы:** Исследование процессов усиления сигналов в линейном и нелинейном режимах.

**Подготовка к лабораторной работе:**

1. Изучить теорию к лабораторной работе.

2. Изучить по учебнику для бакалавров «Схемотехника телекоммуникационных устройств» (авторы Е. П. Пеньков и В. Е. Пеньков) главы II.2 и II.3 стр.30 − 49.

**Теория.**

Электронным усилителем называется устройство, преобразующее энергию постоянного тока питания в энергию усиливаемого сигнала. Главным элементом такого усилителя является транзистор (биполярный, полевой). Работу усилителя можно сравнить с работой вентиля, который открывает или закрывает канал прохождения тока.

В выходной цепи усилителя протекает ток, форма которого должна повторять форму усиливаемого сигнала, действующего во входной цепи усилителя. Преобразование энергии источника питания усилителя осуществляется с помощью нелинейных элементов. В современной аппаратуре в качестве нелинейного элемента широко используют биполярные и полевые транзисторы.

В зависимости от характера нагрузки различают апериодические и избирательные усилители. Нагрузкой апериодических усилителей являются резисторы, а у избирательных усилителей − колебательные системы. Достоинством апериодических усилителей является широкая полоса пропускания (ПП) усиливаемых частот, а недостатком − низкий коэффициент усиления (КУС). Достоинством избирательных усилителей является высокий коэффициент усиления за счёт резонансных свойств колебательных контуров, а недостатком − узкая полоса пропускания.

***Основные параметры усилителей***

***Коэффициент усиления***, или ***коэффициент передачи*** – отношение амплитуды выходного сигнала к амплитуде входного в установившемся режиме при гармоническом входном сигнале. Сигнал может описываться напряжением, током или мощностью, поэтому различают:

1. Коэффициент усиления по напряжению Ku=Uвых/Uвх

2. Коэффициент усиления по току KI=Iвых/Iвх

3. Коэффициент усиления по мощности KP = Pвых/Pвх

Для многокаскадных усилителей коэффициент усиления определяется

произведением коэффициентов усиления отдельных каскадов, выраженных в

абсолютных единицах:

Ku= Ku1Ku2 × KuN(раз)

или суммой коэффициентов усиления, выраженных в децибелах:

Ku = Ku1 + Ku2+…+ KuN(дБ).

***Входное сопротивление усилителя*** (полное Zвх или резистивное Rвх) представляет собой сопротивление между входными зажимами усилителя и определяется отношением амплитуды входного напряжения к амплитуде входного тока:

Характер входного сопротивления зависит от диапазона усиливаемых частот.

***Выходное сопротивление***(полное Zвых или резистивное Rвых) определяют между выходными зажимами при отключенном сопротивлении нагрузки как отношение амплитуды выходного напряжения к амплитуде выходного тока:

***Коэффициент демпфирования***–отношение сопротивления нагрузки к выходному сопротивлению усилителя:

Значение этого параметра лежит в пределах от 10 до 100.

***Выходная мощность*** – мощность гармонического сигнала на выходе усилителя при работе на расчетную нагрузку и заданном коэффициенте гармоник или нелинейных искажений:

***Коэффициент полезного действия*** (КПД) – отношение выходной мощности, отдаваемой усилителем в нагрузку, к общей мощности, потребляемой от источника питания:

***Чувствительность*** (номинальное входное напряжение) – амплитуда напряжения сигнала, который нужно подать на вход усилителя, чтобы получить на выходе сигнал с заданной мощностью.

***Динамический диапазон*** – отношение наибольшего допустимого значения входного напряжения к его наименьшему допустимому значению:

***Диапазон усиливаемых частот*** (полоса пропускания) – разность между верхней и нижней граничными частотами:

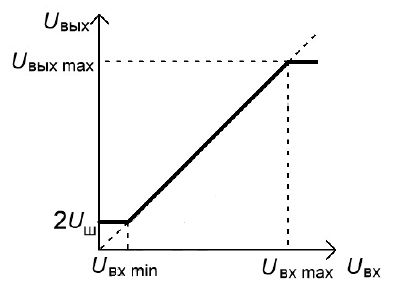
в которой коэффициент усиления изменяется по определенному закону с заданной точностью.

***Коэффициент гармоник*** оценивает нелинейные искажения усилителя в процентах: ???

где *P1, P2, ..., Pn*–мощности гармонических составляющих выходного сигнала (*nf1*) при синусоидальном входном сигнале частотой*f1*. Источником нелинейных искажений являются нелинейность вольт-амперных характеристик (ВАХ) активных элементов усилителя, а также ограниченное значение напряжения питания. Это приводит к искажению формы сигнала и появлению высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала при действии на входе гармонического сигнала.

***Линейные искажения*** определяются зависимостями параметров транзисторов от частоты и реактивными элементами усилительных устройств. Линейные искажения бывают трех видов: частотные, фазовые и переходные.

***Амплитудная характеристика*** (АХ) – это зависимость амплитуды (или действующего значения) напряжения первой гармоники выходного сигнала от амплитуды (или действующего значения) напряжения гармонического входного сигнала (рисунок 1.1).



**Рисунок 1.1. Амплитудная характеристика**

Для идеального усилителя АХ линейна и проходит через начало координат (штриховая линия), наклон характеристики у оси абсцисс определяется коэффициентом усиления:

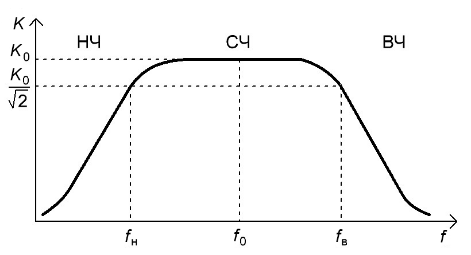
Отличие реальной АХ от идеальной при малых входных сигналах обусловлено влиянием помех (шумы *UШ* усилителя, наводки, фон и т.д.), которые приводят к наличию выходного сигнала при отсутствии входного. АХ реального усилителя становится нелинейной при превышении входного напряжения значения *Uвхmax*, что обусловлено нелинейностью ВАХ активного элемента и ограниченным значением напряжения питания *UИП*. В случае резистивного усилителя

.

По АХ легко определить динамический диапазон усилителя.

Минимальной амплитудой напряжения входного сигнала следует считать такое ее значение, при котором амплитуда напряжения выходного сигнала в два раза превышает амплитуду напряжения шумов на выходе усилителя. Максимальная амплитуда входного сигнала ограничивается допустимым уровнем коэффициента гармоник.

***Амплитудно-частотная характеристика***(АЧХ) определяет зависимость модуля коэффициента усиления от частоты гармонического сигнала на входе усилителя. На рисунке 1.2 представлена типичная АЧХ резистивного усилителя.



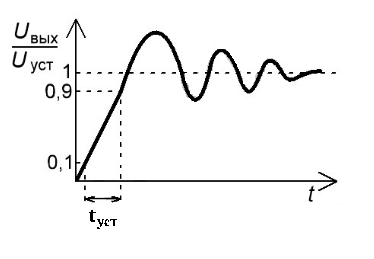
**Рисунок 1.2. АЧХ резистивного усилителя**

В полосе пропускания усилителя или области средних частот (СЧ) коэффициент усиления можно считать постоянной величиной. Частоты, на которых коэффициент усиления уменьшается в 2 раза относительно своего значения *K0* в области СЧ, определяют нижнюю *fн* и верхнюю *fв* границы полосы пропускания усилителя и называются граничными частотами. Для определенности величину *K0* находят на частоте . Уменьшение модуля коэффициента усиления в области низких частот (НЧ) обусловлено наличием разделительных и блокировочных конденсаторов в схемах усилителей. Поведение АЧХ в области высоких частот (ВЧ) определяется частотными свойствами транзисторов, влиянием емкости монтажа и комплексного характера сопротивления нагрузки.

Измерение АЧХ проводят при фиксированном уровне входного сигнала, соответствующем линейному участку АХ, обычно . Поскольку полоса пропускания резистивных усилителей лежит в пределах нескольких декад, то при построении ее графика используется логарифмический масштаб по оси частот.

***Переходная характеристика*** (ПХ) устанавливает зависимость мгновенного значения напряжения на выходе усилителя от времени при бесконечно быстром скачкообразном изменении входного сигнала. ПХ оценивает искажения формы усиливаемых импульсных сигналов, которые обусловлены реактивными элементами схемы усилителя.

На рис. 1.3 представлена нормированная ПХ усилителя. Изменение выходного напряжения оказывается растянутым во времени и характеризуется временем установления *tуст*. Время установления определяется временным интервалом, в течение которого выходное напряжение изменяется от 0,1 до 0,9 установившегося значения *Uуст*. Время установления связано с верхней граничной частотой следующей зависимостью: . ПХ усилителя связана с его АЧХ, причем АЧХ в области ВЧ определяет поведение ПХ в области малого времени и наоборот.



**Рисунок 1.3 Переходная характеристика усилителя**

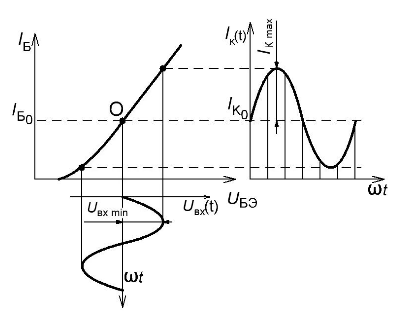
В усилительном каскаде при отсутствии входного сигнала устанавливаются в постоянные значения токов и напряжений, которые определяют **статический режим работы (режим по постоянному току или режим покоя) транзистора**. Значения постоянных токов и напряжений определяются напряжениями источника (источников) питания и сопротивлениями нагрузок во входной и выходной цепях активного элемента. Соответствующая режиму покоя точка на ВАХ транзистора называется **рабочей точкой**. Положения рабочей точки выбирается исходя из требуемого режима работы активного элемента.

***Режимы работы усилительного элемента***

**Режим класса А.**

Режимом класса А, называется такой режим работы усилительного элемента, при котором ток в выходной цепи протекает в течение всего периода сигнала (угол отсечки Q=180°) и крайние положения рабочей точки не выходят за пределы сравнительно прямолинейной части входной характеристики транзистора.

**Углом отсечки** называется половина интервала времени, выраженного в градусах или радианах, в течение которого протекает ток в нагрузке усилителя за один период колебания.



**Рисунок 1.4. Режим работы усилителя класса А.**

В данном режиме работы в выходной цепи активного элемента протекает в течение всего периода входного сигнала. Положение рабочей точки выбирается таким образом, что амплитуда переменной составляющей выходного тока *Ikmax,* появившегося в результате входного сигнала, не превышает ток покоя *Ik0*(рисунок 1.4). Рабочая точка на выходной характеристике для резистивного усилителя определяется половиной напряжения питания:

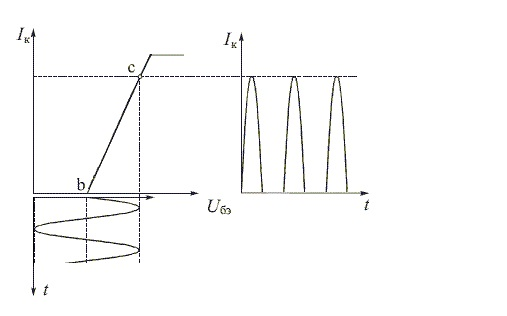
.

Режим класса А характеризуется работой транзистора на линейных участках ВАХ. В связи с этим нелинейные искажения сигнала минимальны (Кг≤1%). Максимальное значение КПД в этом режиме мало, для резистивного усилителя КПД≤25%.

**Режим класса В.**

Ток в выходной цепи активного элемента протекает в течение половины периода входного сигнала. Рабочая точка на ВАХ выбирается так, что входной ток покоя равен нулю, а выходной ток протекает в течение 2Q=π(рисунок 1.5). При этом входной и выходной токи имеют форму импульса с углом отсечки Q=90°.

Из-за нелинейности начального участка ВАХ активного элемента форма входного и выходного токов существенно отличается от формы, соответствующей линейному элементу (см. рисунок 1.5).



**Рисунок 1.5. Режим работы усилителя класса В**

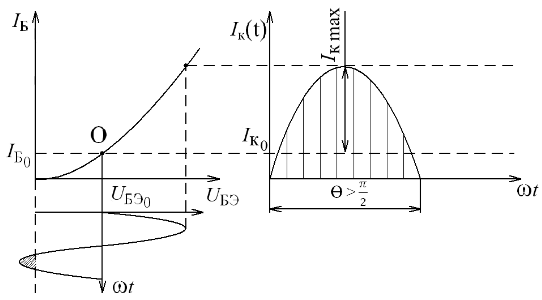
Для усилителя другой полуволны входного сигнала используют еще один транзистор; такой усилитель называется двухтактным. Режим класса В характеризуется большими нелинейными искажениями сигнала (Кг≤10%), обусловленными работой на нелинейных начальных участках ВАХ транзистора и высоким КПД. Максимальный КПД достигает 70%.

**Режим класса АВ.**

Ток в выходной цепи активного элемента протекает в течение промежутка времени больше половины периода входного сигнала. Угол отсечки достигает Q=120°-150°.

В режиме покоя транзистор приоткрыт, и через него протекает ток, равный 5…15% максимального тока при заданном входном сигнале (рисунок 1.6). Используется для уменьшения нелинейных искажений, присущих режиму класса В. Коэффициент гармоник уменьшается (Кг≤3%), но уменьшается и КПД за счет наличия входного тока покоя *IБ0.*

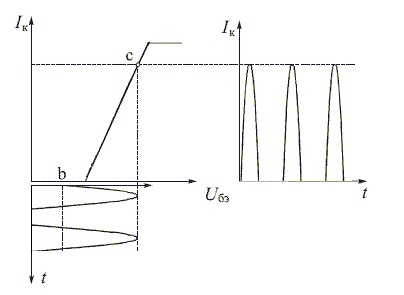
Влияние формы характеристик на свойства схемы.



**Рисунок 1.6. Режим работы усилителя класса АВ.**

**Режим класса С.**

Режимом С называется такой режим работы усилительного элемента, при котором ток в его выходной цепи при подаче на вход синусоидальной ЭДС протекает меньше половины периода. Для этого рабочая точка в исходном состоянии (сигнал на входе отсутствует) выбирается напряжением смещения левее запирания усилительного элемента. Угол отсечки выходного тока Q<90°. Ток покоя в режиме С равен нулю. Разложение импульсов в ряд Фурье показывает, что даже при прямолинейности динамической характеристики каскада выходной ток имеет постоянную составляющую, а также четные и нечетные гармоники. Режим класса С широко используется в мощных резонансных усилителях передающих устройств, где нагрузкой является параллельный колебательный контур, настроенный на частоту подаваемого на вход сигнала.



**Рисунок 1.7. Режим работы усилителя класса С**

Использование режима класса С в мощных усилителях объясняется его высоким КПД, т.к. при отсутствии сигнала усилительный элемент закрыт и ток покоя *I0=0.*

Основным недостатком усилителей, работающих в режиме класса С, является сильная степень искажений выходного сигнала относительно входного.

**Режим класса D.**

Режимом D, или ключевым режимом, называется такой режим работы, при котором усилительный элемент в течение рабочего цикла находится только в двух состояниях: или полностью заперт, а, следовательно, текущий через него ток равен нулю, или полностью открыт, а, следовательно, падение напряжения на нем близко к нулю. В таком режиме потери питающей энергии в усилителе незначительны, а, следовательно, КПД усилителя высокий. Режим D эффективен в цифровых устройствах и системах автоматики.

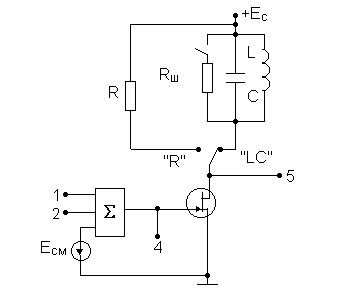
**Схема работы и измерительная аппаратура**

Для работы используется сменный блок ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ. Схема исследуемой цепи приведена на рисунке 1.8 и представляет собой усилительный каскад на полевом транзисторе.

КТ 1

Вх 1

Вх 2



КТ 2

**Рисунок 1.8. Схема исследуемой цепи**

Выбор нагрузки в цепи стока (колебательный LC-контур) осуществляется кнопками переключателя "НАГРУЗКА". Изменение резонансных свойств контура достигается с помощью кнопки "RШ", которая подключает шунтирующий резистор (RШ=10кОм) параллельно LC- контуру, уменьшая его добротность.

Источником входного сигнала служит встроенный диапазонный генератор, который подключается к любому входу сумматора, например, к гнездам 1.

В качестве измерительных приборов − встроенный вольтметр переменного напряжения, двухлучевой осциллограф и ПК. Кроме того, диодный детектор макета (на рисунке 1.8 не показан), и стрелочный микроамперметр стенда образуют индикатор резонанса, позволяющий настраивать контур в резонанс без применения внешних приборов.

При наблюдении процессов на входе нелинейного элемента приборы должны подключаться к затвору (гнездо КТ 1), на выходе к стоку (гнездо КТ 2).

**Подготовка к выполнению лабораторной работы**

1. Изучить по учебнику для бакалавров «Схемотехника телекоммуникационных устройств» (авторы Е. П. Пеньков и В. Е. Пеньков) материал по теме «Усилители электронных сигналов, их характеристики и разновидности» (глава II. 1, стр. 30).
2. Изучить по материалы по учебно-методическому пособию «Схемотехника аналоговых и цифровых устройств» (авторы А. А. Будько, Т.Н. Дворникова/ Минск: БГУИР, 2013. -156с.: ил.)

**Лабораторное задание**

1. Исследовать работу резонансного усилителя в линейном и нелинейном режимах.

**Методические указания**

Принципиальная схема макета изображена на рисунке 1.8. Переключатель "НАГРУЗКА"- в положении "LC", переключатель "Rш" должен быть выключен (кнопка отжата).

Настройка в резонанс осуществляется путем изменения частоты встроенного генератора в диапазоне 12÷16кГц при UВХ≈0,5В. Достижение резонанса фиксируется по максимальному напряжению в цепи стока (гнездо КТ2) либо по максимальному показанию микроамперметра стенда, постоянно включенному в цепь индикатора резонанса. Значение резонансной частоты f0 вносится в табл. 1.1.

1. Линейный режим усиления.

1.1 Положение рабочей точки выбирается на середине линейного участка сток-затворной характеристики, аппроксимированной отрезками прямых линий. Найденное значение напряжение смещения ЕСМ устанавливается потенциометром "СМЕЩЕНИЕ" и вносится в табл. 1.1

Таблица 1.1

|  |  |
| --- | --- |
| ЕСМ =... В, | f0 =...кГц |
| UВХ ,В |  |
| UВЫХ ,В |  |

1.2 Амплитудная характеристика усилителя UВЫХ=ϕ1(UВХ) снимается при изменении напряжения входного сигнала в пределах от 0 до 2В; начальный участок рассматривается подробно через 0,05В. Результаты заносятся в табл. 1.1. Строится график зависимости UВЫХ=φ1(UВХ).

1.3. Временные диаграммы входного напряжения uВХ(t), напряжения на выходе UВЫХ(t) при двух значениях добротности колебательного контура (RШ выключено, включено) и тока стока iС(t) наблюдаются и зарисовываются при действии на входе (гнездо КТ 2) напряжения UВХ=UВХmax, где UВХmax − наибольшее напряжение, при котором амплитудная характеристика еще может считаться линейной (определить по графику ϕ1).

2. Нелинейный режим усиления.

* 1. Положение рабочей точки выбирается так, чтобы угол отсечки был равен 900. Для этого устанавливается ЕСМ=u0 (напряжение отсечки на графике кусочно-линейной аппроксимации сток-затворной характеристики). Найденное значение ЕСМ устанавливается потенциометром "СМЕЩЕНИЕ" и вносится в табл. 2.1, подобную табл. 1.1.

2.2 Амплитудная характеристика усилителя UВЫХ = ϕ2(UВХ) в нелинейном режиме снимается при изменении напряжения на входе (гнездо КТ 1) в пределах 0 ÷ 4В. Перед снятием каждого отсчета выходного сигнала (гнездо КТ2) необходимо подстраивать частоту генератора в резонанс (по максимуму UВЫХ). Результаты измерений заносятся в табл. 1.2. Построить график зависимости ϕ2 и определить на нем границу линейного участка амплитудной характеристики UВХ.МАХ.

2.3 Временные диаграммы наблюдаются и зарисовываются при UВХ=UВХМАХ. Необходимо зафиксировать с сохранением масштаба по осям времени:

* осциллограмму входного сигнала uВХ(t) (гнездо КТ 1);
* две осциллограммы выходного напряжения uВЫХ(t) при включенном колебательном контуре (нагрузка LC) для двух вариантов добротности контура (кнопка "RШ" нажата и отжата) - гнездо КТ 2;

3. Исследовать работу резистивного усилителя в линейном режиме.

3.1. Положение рабочей точки выбирается на середине линейного участка сток-затворной характеристики. Необходимое значение напряжения смещения ЕСМ  устанавливается как и в пункте 1.1.

3.2. Заполнить таблицу 3.1. по результатам измерений.

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ЕСМЕЩ. | | | | | UВХ. = 0,5 В | | | | | |
| FГЕН., КГц | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 5,0 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 | 100 |
| UВЫХ., В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| КУСИЛ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3.3. По результатам измерений UВЫХ определить коэффициенты усиления на указанных в таблице 3.1.частотах и построить АЧХ усилителя.

**Отчёт**

Отчёт должен содержать:

1. Принципиальную схему исследованных устройств.
2. Исходную и аппроксимированную сток–затворную характеристику полевого транзистора для соответствующего варианта.
3. Таблицы исходных, расчетных и экспериментальных данных

4. АЧХ резонансных усилителей (LC и LC c RШ) с расчётом полосы пропускания каждого усилителя.

5.Выводы по результатам экспериментов.

**Контрольные вопросы**

1. Какое электронное устройство называется усилителем?

2. Режимы работы усилителей А, В, С, D их сравнительная характеристика.

3. Основные параметры усилителя (Кус, ПП, АЧХ, её линейность).

4. Особенности работы резистивных и резонансных усилителей.

5. От чего зависит Кус  в усилителе?

6. Основные характеристики усилителя.

7. Чем определяется положение РТ на характеристике усилителя?

8. Преимущества и недостатки линейного режима работы усилителя.

9. Области применения усилителей в аппаратуре связи