

Лабораторная работа II

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАСКАДНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

(2 часа)

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомление с устройством и при. дпом работы двухкаскадного усилителя.

2. Определение основных характеристик транзисторного двухкаскадного усилителя и усилителя с интегральными микросхемами.

3. Ознакомление с влиянием величины отдельных элементов усилительных каскадов на их характеристики.

4. Получение практических навыков обнаружения неисправностей в усилительных схемах с помощью электронных измерительных приборов.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Усилителями называются устройства, предназначенные для увеличения параметров электрического сигнала (тока, напряжения, мощности). Усилитель действует как преобразователь электрической энергии вторичного источника питания в колебательную энергию.

Усиление сигнала - это преобразование энергии источника постоянного напряжения в энергию переменного напряжения в выходной цепи за счет изменения сопротивления управляемого элемента (транзистора, лампы) по закону, задаваемому входным сигналом.

Многие усилители состоят из нескольких ступеней, осуществляющих последовательное усиление и называемых каскадами.

число каскадов зависит от требуемых коэффициентов усиления тока, напряжения и мощности.

Усилители можно разделить на два класса с линейным и нелинейным режимом работы. Линейными усилителями называют электропреобразовательные устройства, обладающие способностью повышать уровень мощности входного сигнала без искажения его формы.

В усилителях с нелинейным режимом работы после достижения некоторой величины напряжения входного сигнала при его увеличении сигнал не вхсде не изменяется (ограничивается на некотором уровне). На этом принципе основана работа усилителей-сравнителей, нелинейных импульсных усилителей.

Рассмотрим работу линейного двухкаскадного усилителя. Наиболее распространенными являются двухкаскадные усилители с резистивно-емкостной связью. На рис. II.1 приведена схема двухкаскадного усилителя с резистивно-емкостной связью на биполярных транзисторах $n-p-n$ типа.

Усилитель состоит из двух усилительных каскадов с общим эмиттером, соединенных между собой с помощью конденсатора связи C_{p2} , включенного между коллектором транзистора VT_1 и базой транзистора VT_2 . Конденсатор C_{p2} не пропускает постоянную составляющую коллекторного напряжения с транзистора VT_1 в базовую цепь транзистора VT_2 .

Аналогично назначению конденсаторов связи C_{p1} и C_{p3} . На вход усилителя подается переменный сигнал U_{bx} от источника с внутренним сопротивлением R_r и э.д.с. E_r . По отношению к источнику сигнала усилитель представляет собой нагрузочное сопротивление, принимаемое входным R_{bx1} первого каскада. Сопротивлением нагрузки первого каскада является входное сопротивление второго каскада

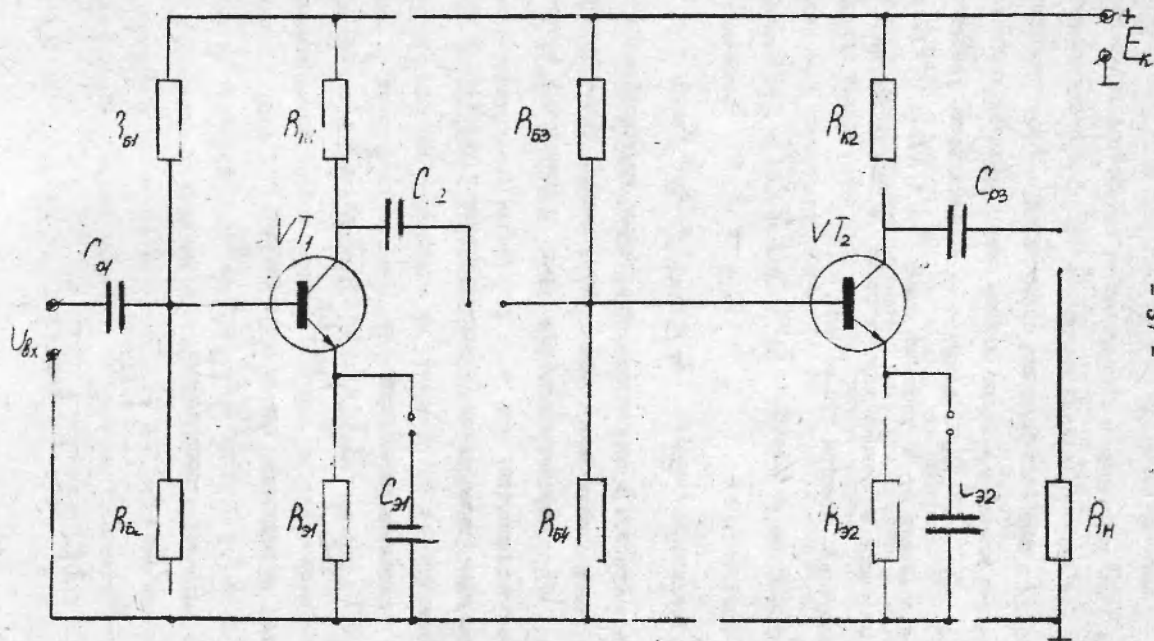


Рис. I I. Схема двухкаскадного усилителя напряжения с резистивно-емкостной связью на биполярных транзисторах

$R_{вх2}$, а роль внутреннего сопротивления генератора входного сигнала R_r для второго каскада выполняет выходное сопротивление $R_{вых1}$ первого каскада. Выходное сопротивление $R_{вых2}$ второго каскада является выходным сопротивлением всего двухкаскадного усилителя. Сопротивление R_H — нагрузочное сопротивление усилителя.

В зависимости от соотношений между R_r и $R_{вых1}$, $R_{вых2}$ и R_H различают не только режимов работ и соответствующие им типы усилителей. Отметим три из них:

1. Усилитель напряжения $R_r \ll R_{вх1}$ и $R_H \gg R_{вых2}$.
2. Усилитель тока $R_r \gg R_{вх1}$ и $R \ll R_{вых2}$.
3. Усилитель мощности $R_r = R_{вх1}$ и $R_H = R_{вых2}$.

Анализ работы и определение параметров двухкаскадного усилителя по схеме с общим эмиттером с RC — связью обычно производят с учетом n — параметров транзисторов, включенных в качестве управляемых элементов.

Основными параметрами и характеристиками усилителей напряжения являются:

1. Входное сопротивление

$$R_{вх1} \approx \frac{1 + \Delta h R_{вх2}}{1 + h_{22} R_{вх2}} \approx h_{11}; \text{ где: } \Delta h = h_{11} \cdot h_{22}$$

Входное сопротивление второго каскада

$$R_{вх2} = \frac{1 + \Delta h R_H}{1 + h_{22} R_H} \approx h_{11}$$

2. Выходное сопротивление

$$R_{вых1} = \frac{1}{1 + h_{22} \cdot K_1}$$

$$R_{вых2} = \frac{R_{K2}}{1 + h_{22} \cdot K_2}$$

3. Коэффициент усиления по напряжению двухкаскадного усилителя

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = K_{U1X} \cdot \frac{R_{вх2}}{R_{вых1} + R_{вх2}} \cdot K_{U2X} \cdot \frac{R_{н}}{R_{вых2} + R_{н}}$$

где коэффициент усиления K_{U1X} для одного каскада.

$$K_{U1X} = \frac{h_{21} R_{н}}{h_{11} (1 + R_{н} h_{22})}; \quad K_{U2X} = \frac{h_{21} R_{к2}}{h_{11} (1 + R_{к2} h_{22})}$$

Наличие в формуле знака "минус" для коэффициента усиления одного каскада свидетельствует о том, что входное и выходное напряжения находятся в противофазе. Двухкаскадный усилитель не изменяет фазу выходного каскада по отношению к входному. Коэффициент усиления иногда целесообразно выражать в логарифмических единицах - децибелах.

$$K_U(\text{дБ}) = 20 \lg K_U$$

4. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) $K = f(\omega)$ определяет зависимость модуля коэффициента усиления K от частоты f входного сигнала. Эта характеристика позволяет определить полосу пропускания усилителя, т. е. тот диапазон частот, где уменьшение коэффициента усиления не выходит за допустимые пределы. Полосу пропускания определяют на уровне 0,707 от коэффициента усиления K_0 на средних частотах. Типовая амплитудно-частотная характеристика приведена на рис. II.2. Диапазон частот $\Delta f = f_H - f_H$ называют полосой пропускания. Величина модуля коэффициента усиления и полосы пропускания усилителя в значительной степени зависят от характера и глубины обратной связи.

Уменьшение коэффициента усиления на низких частотах связано с наличием в усилителе конденсаторов и паразитных емкостей, включенных в схему после затвора усилителя (например: $C_{г1}$).

С_{р2} и т.д.) Их сопротивление зависит от частоты и в низких частотах велико.

Спад АЧХ на высоких частотах связан с тем, что между элементами транзисторов существуют емкости, которые на высоких частотах шунтируют транзистор и могут совершенно исключить его из процесса усиления сигнала.

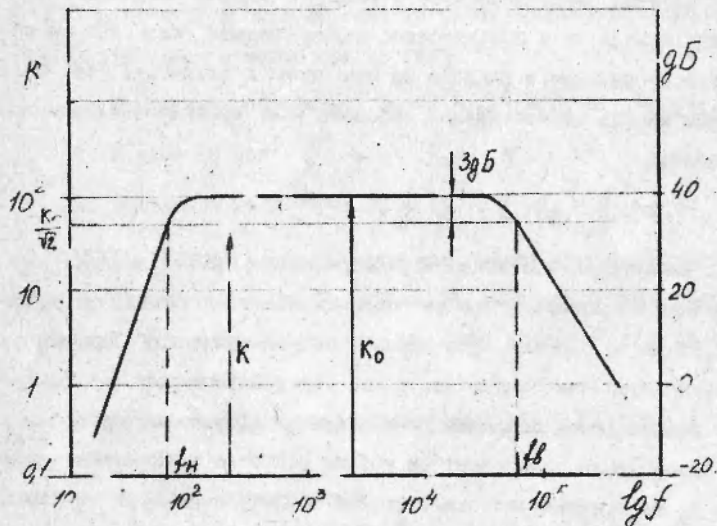


Рис. II.2. Амплитудно частотная характеристика двухкаскадного RC-усилителя.

Влияют на работу усилителя и паразитные емкости, возникающие при монтаже.

Уменьшение коэффициента усиления в области низких и высоких частот приводит к линейным искажениям входного сигнала. Возникновение искажения связано с тем, что при усилении несинусоидального

сигнала отдельные составляющие его из-за неравномерности амплитудно-частотной характеристики усиливаются по-разному, в результате чего форма кривой усиленного сигнала искажается. Эти искажения оцениваются коэффициентом частотных искажений M , который показывает во сколько раз коэффициент усиления на средних частотах K_0 отличается от коэффициента усиления на какой-либо частоте K_i .

$$M = \frac{K_0}{K_i} = \sqrt{1 + \left(\frac{f_i}{f_0}\right)^2}$$

Коэффициент частотных искажений возрастает с ростом числа каскадов.

$$M = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_n$$

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов и множителей, учитывающих влияние последующего каскада на предыдущий.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \cdot \frac{R_{вх}}{R_{вх1} + R_{вх2}} \cdot \dots \cdot \frac{R_{вх}}{R_{вхn} + R_n}$$

Полоса пропускания усилителя с увеличением числа каскадов уменьшается.

5. Амплитудная характеристика усилителя $U_{вых} = f(U_{вх})$ выражает зависимость амплитуды (или действующего значения) выходного сигнала от амплитуды входного. Типовая амплитудная характеристика приведена на рис. II.3. В определенном диапазоне изменения входного сигнала зависимость $U_{вых} = f(U_{вх})$ представляет собой прямую линию, тангенс угла наклона которой определяется величиной коэффициента усиления.

Затем угол наклона начинает уменьшаться, что связано с появлением нелинейных искажений. Снимают эту характеристику на фиксированной частоте входного сигнала. Обычно выбирают частоту в диа-

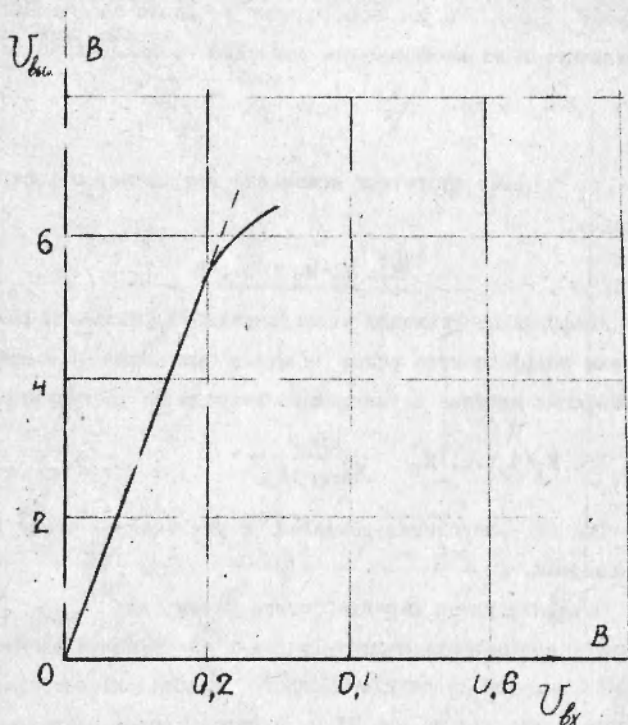


Рис. II.3. Амплитудная характеристика двухкаскадного РС - усилителя

в диапазоне звуковых частот (1000 Гц), чтобы исключить влияние реактивных элементов на величину коэффициента усиления.

В настоящее время многокаскадные усилители переменного тока при-

жения с f - связь повсеместно заменяются усилителями, выполненными на основе интегральных микросхем. Такие усилители обладают рядом преимуществ. Они имеют более высокий коэффициент усиления, стабильно работают в большем диапазоне частот. Принцип их работы в основном мало чем отличается от работы усилителей на транзисторах.

Усилитель на интегральных микросхемах представлен на рис. II.4.

III. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для исследования двухкаскадного усилителя и усилителя на интегральных микросхемах состоит из лабораторной панели, закрепленной на вертикальной стойке лабораторного стенда и контрольно-измерительной аппаратуры. Схемы для исследования представлены на рисунках II.1 и II.4. Для снятия характеристик применяют следующие приборы:

1. Задвижной генератор ГЗ-34.
2. Электронно-лучевый осциллограф С1-195.
3. Цифровой электронный вольтметр.

IV. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

В этой работе студенты рассчитывают и измеряют входные и выходные сопротивления одно- и двухкаскадных усилителей, выполненных на транзисторах и интегральных микросхемах; снимают амплитудные и амплитудно-частотные характеристики усилителей; определяют полосу пропускания; исследуют влияние различных элементов усилителя на его характеристики; определяют причины неисправностей в работе усилителя.

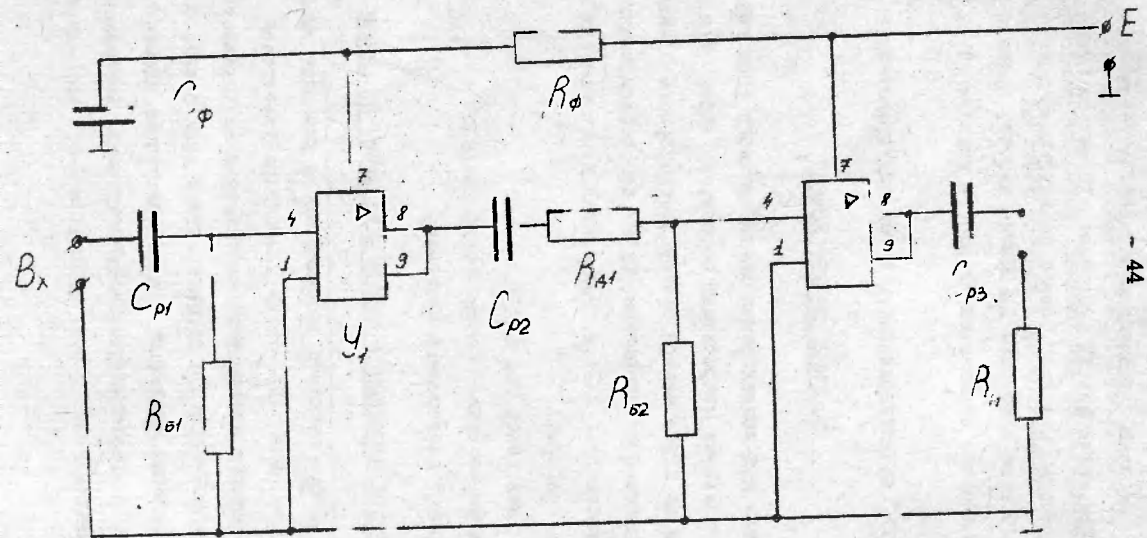


Рис. II.4 Схема усилителя, выполненного с применением интегральных микросхем

Подготовка к лабораторной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо выполнить следующие задания:

1. Зарисовать в конспекте по лабораторной работе схемы усилителей (рис. II.1 и II.4).

2. Рассчитать $R_{вх1}$, $R_{вх2}$, $R_{вых1}$, $R_{вых2}$, используя для этого значения h - параметров, полученные в лабораторной работе №3, считая их одинаковыми для всех каскадов и значений R_T и R_P , заданные в таблице I.

3. Для специальностей 0405, 0406, 0407 рассчитать коэффициенты усиления напряжения K_T , K_2 и $K_{ус}$ ($K_{ус}$ - коэффициент усиления двухкаскадного усилителя) используя данные пункта 2 и таблицы I.

Т а б л и ц а I

№ бригады	I	2	3	4	5
R_T , кОм	0,5	0,8	I	0,3	0,6
R_H , кОм	0,5	I	I	0,8	0,6
R_P , кОм	3	4	5	3	5

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы 1-5, изложенные в разделе 1.3 данной лабораторной работы.

Указания по охране труда

Перед проведением экспериментальных работ необходимо ознакомиться с пунктами 11-26 инструкции по технике безопасности.

Перед сборкой схемы необходимо убедиться в отсутствии напря-

нения на стенде. После сборки схемы необходим контрол. лаборанта для проверки правильности сборки.

Включение напряжения для питания лабораторной панели осуществляется только с разрешения лаборанта.

При проведении измерений с помощью электронных приборов не касаться руками одновременно корпуса прибора и схемы, а также корпусов двух различных приборов. Предварительно необходимо ознакомиться с лабораторным стендом и его комплектацией.

Методические указания по проведению эксперимента

Для измерений входного и выходного сопротивлений отдельных каскадов двухкаскадного усилителя необходимо ознакомиться с методикой измерения сопротивлений, изложенной в лабораторной работе №4 по униполярным транзисторам. Коэффициенты усиления каскадов определять при нагруженных усилителях. К первому каскаду должен быть подключен второй каскад без R_H ; а при измерении коэффициента усиления второго каскада необходимо отключить первый каскад и подключить R_H .

При снятии амплитудной характеристики с генератора сигнала подать напряжение при частоте $f = 1000$ Гц и изменять его величину от 0 (нуля) до значения, когда в нагрузке появятся искажения формы выходного сигнала. Форму выходного сигнала контролировать осциллографом. При снятии амплитудно-частотной характеристики при частоте $f = 1000$ Гц на вход подавать напряжение такой величины, чтобы не было искажения формы выходного сигнала, затем изменять частоту от 20 Гц до 20 кГц. Амплитудно-частотную характеристику строить в логарифмическом масштабе: по оси ординат откладывать зна-

чения коэффициента усиления по напряжению в децибелах, а по оси абсцисс - значения логарифма частоты.

Задача. VI. Выполняемые в лаборатории

В процессе проведения лабораторной работы необходимо ответить на контрольные вопросы 6-12, изложенные в разделе УШ данной лабораторной работы, а также выполнить следующие задания:

1. Собрать схему двухкаскадного усилителя на транзисторах.

2. Измерить входные и выходные сопротивления каждого каскада и всего двухкаскадного усилителя на транзисторах.

Данные записать в таблицу 2.

Т а б л и ц а 2

Вид усилителя \ Сопротивления	$R_{вх1}$	$R_{вых1}$	$R_{вх2}$	$R_{вых2}$	$R_{вх.ус.}$	$R_{вых.ус.}$
Усилитель на транзисторах						
Усилитель на микросхемах						

3. Измерить коэффициенты усиления по напряжению $k_v = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$ каждого каскада и всего двухкаскадного усилителя на транзисторах при частоте входного сигнала $f = 1000$ Гц и напряжении на входе, не дающем искажение выходного сигнала.

Данные занести в таблицу 3.

Коеф. усилят.	$U_{вх1}$	$U_{вых2}$	K_I	$U_{вх2}$	$U_{вых2}$	K_2	$U_{вх.ус}$	$U_{вых}$	$K_{ус.}$
Вид усилителя	В	В		В	В		В	В	
Усилитель 1									
транзисторах									
Усилитель на микросхемах									

4. Снять амплитудную характеристику двухкаскадного усилителя на транзисторах $U_{вых} = f(U_{вх})$.
 Напряжение менять при $f = 1000$ Гц от 0 до появления искажений выходного сигнала. Снять 5-6 значений. Данные записать в таблицу 4

Т а б л и ц а 4

Усилитель на транзисторах	$U_{вх, В}$
	$U_{вых, В}$
Усилитель на микросхемах	$U_{вх, В}$
	$U_{вых, В}$

5. Снять амплитудно-частотную характеристику двухкаскадного усилителя $K_f = f(f)$. На вход подать напряжение, не вызывающее искажения выходного сигнала. Изменять частоту сигнала, подаваемого с ГЗ-34.

Данные записать в таблицу 5.

Вид усилителя	При частотах												
	20	200	500	750 Гц	1	2	3	4	10	12,5	17,5	20 кГц	
Усилитель на транзисторах	$U_{вых}, В$												
$U_{вх} = , В$	$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$												
Усилитель на микросхемах	$U_{вых}, В$												
$U_{вх} = , В$	$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$												

6. Собрать усилитель на интегральных микросхемах.

7. Выполнить задания пунктов 2+5 для исследования работы усилителя на интегральных микросхемах; результаты экспериментов заносить в соответствующую таблицу.

Для студентов специальностей 0405, 0406, 0407

8. Снять амплитудно-частотную характеристику двухкаскадного усилителя на транзисторах при изменении величины разделительных конденсаторов C_p . Данные записать в таблицу, составленную по образцу таблицы 5.

9. Определить неисправность в работе двухкаскадного усилителя на транзисторах (неисправность задается преподавателем).

У. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Сравнить полученные значения величин входных и выходных сопротивлений:

а) $R_{вх1}$, $R_{вх2}$, $k_{вх.ус.}$ с соответствующими сопротивлениями, рассчитанными при подготовке к лабораторной работе;

б) $R_{вых1}$, $R_{вых2}$, $R_{вых.ус.}$ с соответствующими сопротивлениями, рассчитанными при подготовке к лабораторной работе;

в) соответствующие сопротивления усилителя на транзисторах и усилителя на интегральных микросхемах.

Записать выводы, полученные при сравнении.

2. Сравнить коэффициенты усиления напряжения по методике, аналогичной методике, изложенной в пункте 1.

Записать выводы, полученные при сравнении.

3. Построить на одном графике амплитудные характеристики усилителей на транзисторах и микросхемах. Сравнить их.

4. Построить на одном графике амплитудно-частотные характеристики усилителей на транзисторах и микросхемах, определить полосы пропускания. Сравнить их.

Для студентов специальностей 0405, 0406, 0407

5. Построить амплитудно-частотную характеристику усилителя на транзисторах при изменении величины разделительного конденсатора. Определить полосу пропускания. Сравнить полученную характеристику с характеристикой пункта 4. Проанализировать влияние емкости на вид амплитудно-частотной характеристики.

6. Указать причину неисправности усилителя.

УІ. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

В содержание отчета входят:

1. Наименование работы и ее цель.

2. Краткое содержание работы, необходимые теоретические сведения, схемы.

3. Таблицы с результатами экспериментов и расчеты.

4. Графики, построенные по экспериментальным данным.

5. Выводы, полученные из анализа рассчитанных и снятых в процессе эксперимента параметров и характеристик.

УІІ. ЛИТЕРАТУРА

Герасимов В.Г. и др. Основы промышленной электроники.

—М.: Высшая школа. Учебник 2-е. 1978, с.129-135.

УІІІ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение и классификацию усилителей.

2. Что такое многокаскадные усилители? Для чего они применяются?

3. Какие режимы работы усилителей вы знаете? Расскажите о их назначении?

4. Какие бывают типы усилителей? Какими соотношениями между их параметрами они характеризуются?

5. Какие основные параметры характеризуют усилитель, как они определяются?

6. Что можно сказать о фазе входного и выходного сигналов в однокаскадном и двухкаскадном усилителе?

7. Какие основные характеристики описывают работу усилителя?

8. Что такое полоса пропускания усилителя, как она определяется?

9. От чего зависит полоса пропускания усилителя?

10. Какие причины вызывают уменьшение коэффициента усиления на высоких и низких частотах.

11. Чему равен коэффициент усиления многокаскадного усилителя?

12. Что такое коэффициент частотных искажений? Как он изменяется при изменении числа каскадов?