

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет



ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Электроника и микросхемотехника» для студентов дневной
и заочной формы обучения направления
подготовки 6.050201 – «Системная инженерия»
(специальность – компьютеризированные системы
управления и автоматика)

Зак. № ... от ... 2010 г., Тираж 50 экз.
Изд-во «СевНТУ»

УДК 621.38



Севастополь
2010

Исследование усилителя мощности на биполярных транзисторах:

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электроника и микросхемотехника» / Сост. В.В. Чмут – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2010. – 16 с.

В методических указаниях исследуются параметры и характеристики трехкаскадного усилителя мощности на биполярных транзисторах. Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 6.050201 – Системная инженерия. Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры технической кибернетики СевНТУ (протокол № 1 от 17.09.2010 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент Семенов В.И., канд. техн. наук, доцен

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Краткие теоретические сведения.....	3
3. Описание технических средств выполнения работы.....	9
4. Порядок выполнения экспериментальных исследований и теоретических расчетов.....	12
5. Обработка экспериментальных данных.....	13
6. Содержание отчёта о выполнении лабораторной работы.....	14
7. Контрольные вопросы.....	15
Библиографический список	15

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

7.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте назначение усилителя и назовите основные технические параметры.
2. Назовите основные технические характеристики усилителя.
3. Сформулируйте назначение каскадов усилителя и охарактеризуйте особенности их схемной реализации.
4. Приведите определение граничных частот усилителя, полосы пропускания.
5. Что такое обратная связь в усилителе? Охарактеризуйте её влияние на коэффициент нелинейных искажений.
6. Укажите элементы используемых цепей отрицательной обратной связи в принципиальной схеме лабораторного стенда
7. Как влияет сопротивление нагрузки R_n на коэффициент усиления по мощности?
8. Охарактеризуйте влияние глубины ООС на спектральный состав выходного сигнала
9. Чем обуславливаются нелинейные искажения сигнала в усилительных каскадах?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровников Л.З. Электроника: Учебник/ Л.З. Бобровников – СПб.: Питер, 2004. – 560с.
2. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC, том 1/ В.И.Карлашук – М., Солон-пресс, 2006. –671с.
3. Опадчий Ю.Ф., Аналоговая и цифровая электроника: Учебник/ Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И.Гуров – М.: «Горячая линия - Телеком», 2002. –768с.
4. Гусев В.Г., Электроника: Учебное пособие/ В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев – М.: Высшая школа, 1982. –495с.
5. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: Учебник в 2 ч. /В. А. Скаржепа, А.Н. Луценко – К.: Вища школа, Головное издательство, 1989. –ч.1. –432с.



5.4. По данным таблицы 3 рассчитать выходную мощность сигнала при разных значениях сопротивления нагрузки R_n по соотношению

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}^2}{2R_n}. \text{ Найти входную мощность } P_{\text{вх}} \text{ по соотношению}$$

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}^2}{2R_{\text{вх}}}, \text{ где } R_{\text{вх}}=8,8\text{кОм} - \text{входное сопротивление усилителя}$$

(определено экспериментально). Рассчитать коэффициент усиления по мощности $K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$ при различных сопротивлениях R_n . Сделать вывод о влиянии R_n на K_p усилителя.

5.5. По данным эксперимента (пункт 4.5) и таблицы 4 сделать вывод о влиянии величины амплитуды входного сигнала на составляющие спектра выходного сигнала.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель исследований;
- перечень используемых приборов;
- принципиальную схему лабораторного стенда;
- результаты эксперимента (табличный, графический и расчетный материалы);
- выводы

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями ДСТУ.

Цель работы – изучение основных параметров и характеристик усилителя мощности на биполярных транзисторах.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Характерной особенностью современных электронных усилителей является исключительное многообразие схем, по которым они могут быть построены. Однако среди этого многообразия можно выделить наиболее типичные схемы, содержащие элементы и цепи, которые чаще всего встречаются в усилительных устройствах независимо от их функционального назначения. К числу таких типичных усилительных схем относятся усилители мощности сигналов низкой частоты (УМ).

Современные УМ выполняются преимущественно на биполярных и полевых транзисторах в дискретном или интегральном исполнении, причем усилители в микроисполнении отличаются от своих дискретных аналогов, главным образом, конструктивно-технологическими особенностями, схемные же построения принципиальных отличий не имеют.

Назначение усилителя в конечном итоге состоит в получении на заданном сопротивлении оконечного нагрузочного устройства требуемой мощности усиливаемого сигнала.

В качестве источника входного сигнала могут использоваться различного рода преобразователи неэлектрических сигналов в электрический сигнал, например, термопара, фотоэлемент, звукопередатчик, микрофон и т. д. Типы нагрузок также весьма разнообразны. Например, последующий усилитель, реле, осциллограф, измерительный прибор, исполнительный орган в системе управления и др.

Большинство из перечисленных выше источников входного сигнала развивают очень низкое напряжение, которое подавать непосредственно на каскад 78 усиления мощности не имеет смысла по той причине, что при таком слабом управляющем напряжении невозможно получить сколь-нибудь значительные изменения выходного тока, а, следовательно, и выходной мощности. Поэтому в состав структурной схемы УМ, кроме выходного каскада, отдающего требуемую мощность полезного сигнала в нагрузку, обычно входят и предварительные каскады усиления (рисунок 1).



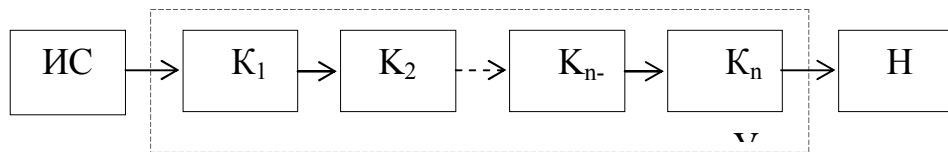


Рисунок 1 – Структурная схема УМ

В качестве предварительных каскадов усиления напряжения с коэффициентами $K_1 \dots K_{n-1}$ обычно используются резистивные усилительные каскады. Простейшая схема такого каскада показана на рисунке 2.

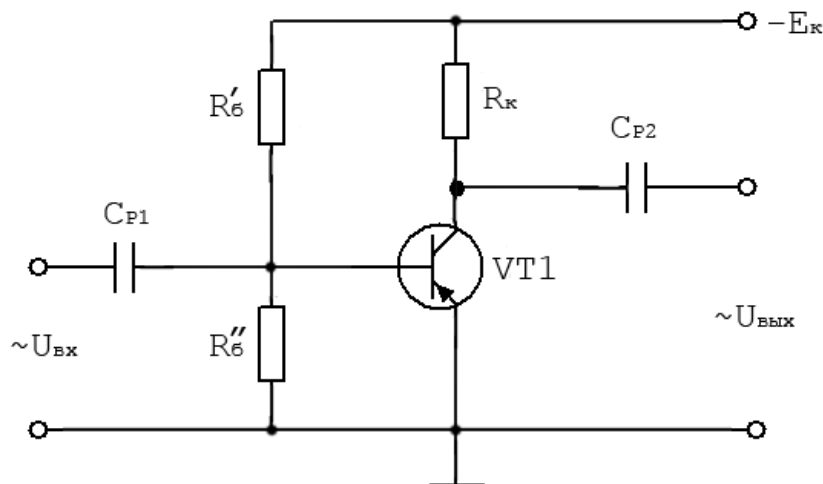


Рисунок 2 – Схема резистивного каскада с фиксированным напряжением смещения

Входное напряжение $u_{вх}$ через разделительный конденсатор C_{p1} поступает на участок база–эмиттер, что приводит к изменению тока базы, а, следовательно, к изменению тока коллектора и напряжения $u_{вых}$. Разделительный конденсатор C_{p1} служит для предотвращения протекания постоянной составляющей тока базы через источник входного сигнала. С помощью конденсатора C_{p2} на выход каскада подается только переменная составляющая напряжения $U_{кэ}$, изменяющаяся по закону входного сигнала. С помощью резисторов $R_{б'}$ и $R_{б''}$ задается исходное положение рабочей точки, т.е. напряжение смещения на участке база–эмиттер. Кроме указанных

амплитуд выходного напряжения. Результаты эксперимента занести в таблицу 3.

Таблица 3

$F=10\text{кГц};$
 $U_{вхм}=0,2\text{В}$

$R_n [\text{Ом}]$	10	30	60	90	160
$U_{выхм} [\text{В}]$					
$P_{выхм} [\text{Вт}]$					
$K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}$					

4.7. Исследовать спектральный состав выходного сигнала при отсутствии и наличии нелинейных искажений. Для этого задавая различными значениями амплитуд входного сигнала ($U_{вх1м}=20\text{мВ}$ и $U_{вх2м}=400\text{мВ}$) зарисовать спектрограммы выходного сигнала при отсутствии и наличии нелинейных искажений. Значения частот F и амплитуд $U_{гм}$ гармонических колебаний занести в таблицу 4

Таблица 4

F [кГц]						
$U_{гм}$ [В]						

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

5.1. По результатам эксперимента (таблица 1) построить график амплитудной характеристики усилителя. Рассчитать коэффициент усиления, соответствующий линейному участку амплитудной характеристики.

5.2. По результатам эксперимента (п. 4.4) сделать вывод о влиянии величины емкости конденсатора в цепи ООС в каскаде усиления на транзисторе VT2 на коэффициент нелинейных искажений

5.3. По данным таблицы 2 построить график АЧХ усилителя, определить нижнюю и верхнюю граничные частоты а также полосу пропускания усилителя.



4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

- 4.1. Изучить принцип действия усилительного устройства (рисунок 7) и особенности схемной реализации
- 4.2. Начертить принципиальную схему лабораторного стенда и уяснить назначение элементов схемы, используемых приборов и устройств
- 4.3. Включить источник питания стенда, исследовать амплитудную характеристику усилителя – зависимость амплитуды $U_{\text{выхт}}$ выходного напряжения при фиксированной частоте входного сигнала (например, $F=10$ кГц). Результаты эксперимента занести в таблицу 1.

Таблица 1 F=10 кГц

$U_{\text{вхт}}$ [В]	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$U_{\text{выхт}}$ [В]								

- 4.4. Исследовать влияние частотно-зависимой отрицательной обратной связи на форму выходного сигнала. Для этого варьируя значениями величин емкостей конденсаторов $C6=1\text{nF}$, $C7=10\text{nF}$, $C8=100\text{nF}$ с помощью переключателей P1, P2 зарисовать соответствующие осциллограммы выходного сигнала
- 4.5. Исследовать амплитудно - частотную характеристику усилителя в диапазоне частот от 1кГц до 200 кГц, задавая амплитудой входного сигнала $U_{\text{вхт}}=0,2\text{В}$ и изменяя частоту входного сигнала. Результаты эксперимента занести в таблицу 2

Таблица 2 $U_{\text{вхт}}=0,2\text{В}$

F [кГц]	1	5	10	50	100	150	200
$U_{\text{выхт}}$ [В]							

- 4.6. Исследовать влияние сопротивления нагрузки R_n на выходную мощность $P_{\text{вых}}$ при заданных параметрах входного сигнала. Для этого изменяя значение сопротивления R_n (R11), измерить соответствующие значения

основных элементов схема резистивного каскада содержит ещё элементы термостабилизации исходного положения рабочей точки (на схеме условно не показаны).

Обычно предварительные каскады усиления выполняются на маломощных транзисторах и потребляют от источника питания незначительную мощность. Амплитуда входного сигнала в этих усилителях в большинстве случаев невелика и рабочий участок характеристики транзистора можно считать линейным. Поэтому при рассмотрении работы каскадов предварительного усиления не интересуются коэффициентом полезного действия каскада, а нелинейные искажения сигнала считаются ничтожно малыми.

Выходной каскад усилителя предназначен для отдачи заданной величины мощности сигнала в заданное сопротивление нагрузки. По сравнению с каскадами предварительного усиления выходные каскады имеют ряд особенностей.

Поскольку выходные каскады потребляют от источников питания значительно большую мощность, то их коэффициент полезного действия должен быть достаточно высоким, так как, в конечном счете, он определяют экономичность всего усилителя. Для выделения в нагрузку заданной мощности на вход каскада усиления мощности подается большая амплитуда сигнала, захватывающая значительную область характеристик транзистора. Поэтому увеличение мощности, развиваемой усилителем в нагрузке, сопровождается возрастанием нелинейных искажений. Следует также иметь в виду, что из-за большой амплитуды входного сигнала параметры транзистора за период сигнала меняются в широких пределах. В связи с этим расчет основных параметров каскада усиления мощности производят графическим методом, так как при аналитическом расчёте этих величин с использованием малосигнальных параметров могут быть допущены большие погрешности.

Отметим также, что выходные каскады усилителей могут быть построены по одноконтной или двухконтной схемам [1, 4]. В зависимости от выбора рабочей точки на проходной динамической характеристике транзистора различают три основных режима работы усилительного каскада: А, В и АВ.

Для работы каскада в режиме А на базу подается такое напряжение смещения, чтобы рабочая точка, определяющая исходное состояние схемы при отсутствии входного сигнала, располагались примерно на середине прямолинейного участка характеристики. В этом режиме напряжение



смещения по абсолютной величине всегда больше амплитуды входного сигнала, а ток покоя коллектора всегда больше амплитуды переменной составляющей переменного тока. Поэтому в режиме А при подаче на вход каскада синусоидального напряжения в выходной цепи будет протекать ток, изменяющийся также по синусоидальному закону. Это обуславливает минимальные нелинейные искажения сигнала, но коэффициент полезного действия усилительного каскада в режиме А составляет лишь 20-30%. Обычно в этом режиме работают каскады предварительного усиления или маломощные выходные каскады.

В режиме В рабочая точка выбирается так, чтобы ток покоя был равен нулю. При подаче на вход сигнала ток в выходной цепи каскада протекает лишь в течение половины периода изменения напряжения сигнала. Режим В характеризуется высоким коэффициентом полезного действия усилительного каскада (60 - 70%) т.к. постоянная составляющая выходного тока значительно меньше, чем в режиме А. Однако, режим В характеризуется большими нелинейными искажениями сигнала, вследствие чего этот режим используется главным образом в мощных двухтактных каскадах.

Режим АВ является промежуточным между режимами А и В.

Типичная схема выходного каскада с общим эмиттером содержит выходной трансформатор [3, 4]. Однако, наличие трансформатора приводит к существенным частотным искажениям усиливаемого сигнала, а также к увеличению габаритов всего усилителя.

В случаях, когда одноктактный каскад усиления мощности неприменим по предъявляемым к нему требованиям, применяются двухтактные каскады [3, 4]. Широкое применение в электронной аппаратуре получили бестрансформаторные двухтактные каскады на транзисторах. Особый интерес представляют схемы с использованием транзисторов разных типов (ррр и прп), что позволяет существенно упростить схему усилителя. В качестве примера на рисунке 3 приведена бестрансформаторная схема каскада на разнотипных транзисторах. Цепи смещения, обеспечивающие работу транзисторов в режиме А, условно не показаны.

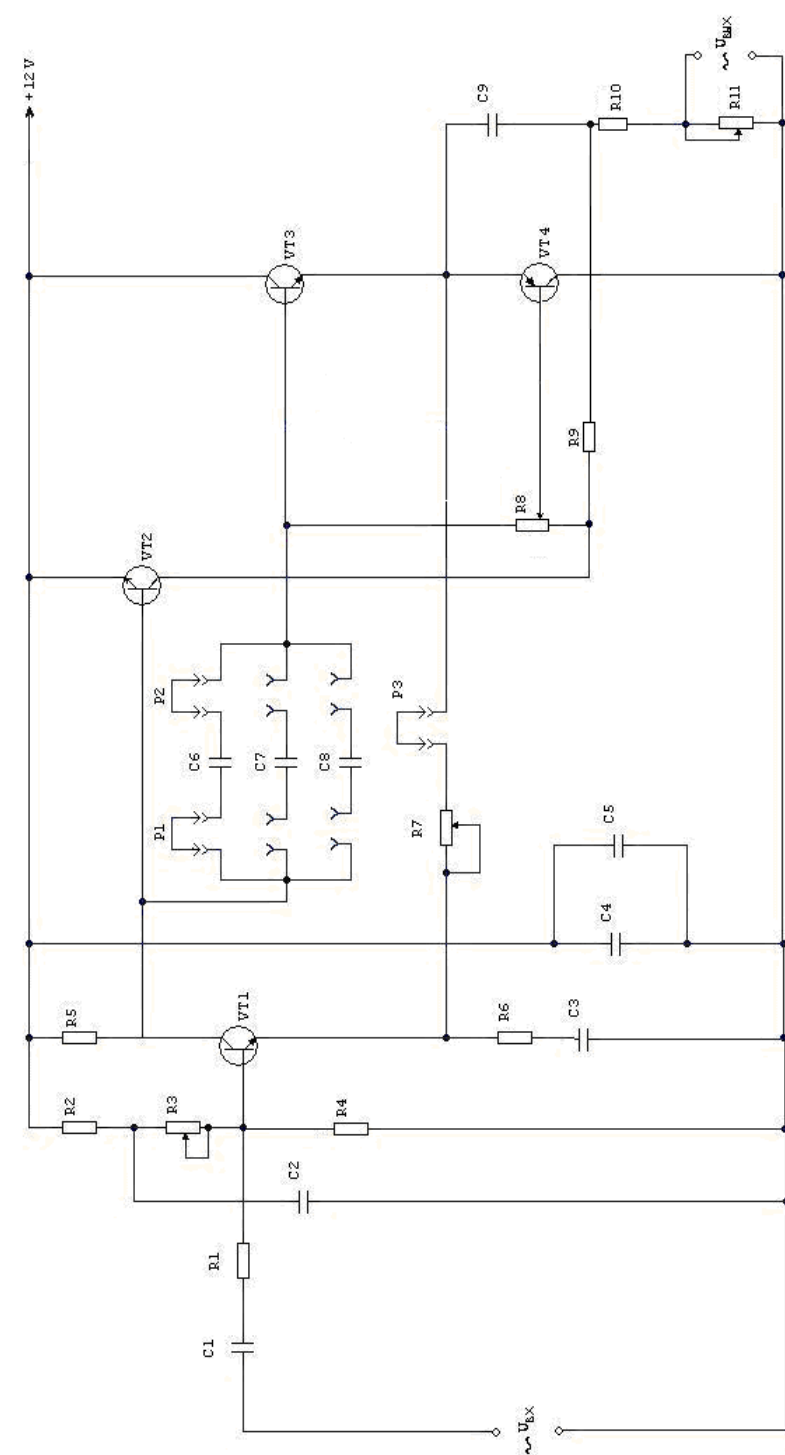


Рисунок 7 – Принципиальная схема усилителя мощности (модуль «Транзистор II»)

K_2 , K_3 и источник питания ИП. Входной сигнал поступает от источника сигнала I_c . Соответствующая принципиальная схема показана на рисунке 7.

Первый и второй каскады предварительного усиления реализованы на транзисторах VT1 (n-p-n типа) и VT2 (p-n-p типа) соответственно по схеме с общим эмиттером. Выходной каскад мощного усиления реализован по двухтактной схеме на транзисторах VT3 и VT4. Во втором каскаде усиления используется частотно-зависимая отрицательная обратная связь (резистор R7 и конденсаторы C6 C7 C8). Назначение остальных элементов схемы общеизвестно [1, 2, 3].

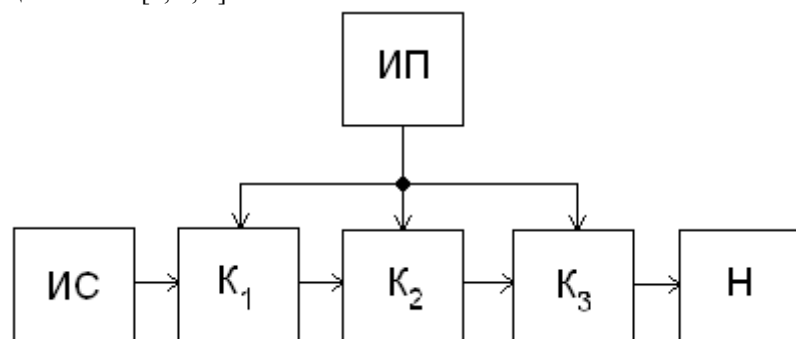


Рисунок 6 – Структурная схема усилителя

мощности (модуль «Транзистор II»)

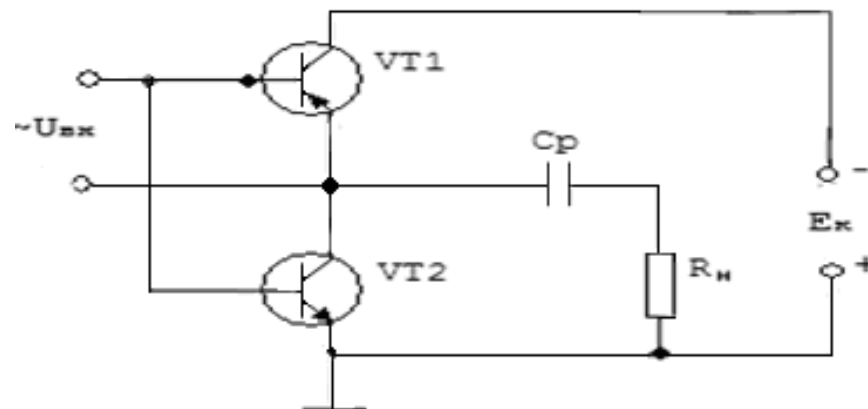


Рисунок 3 – Принципиальная схема двухтактного каскада

При подаче на вход переменного сигнала $u_{вх}$ по сопротивлению нагрузки $R_{н}$, включённому через разделительный конденсатор C_p , потечёт переменный ток i_n , равный разности переменных составляющих коллекторных токов транзисторов VT1 и VT2:

$$i_n = i_{к1} - i_{к2}$$

Это обусловлено тем, что при положительном потенциале баз относительно эмиттеров, соединённых накоротко, верхний транзистор VT1 поздапирается, а VT2 более откроется, а в следующий полупериод наоборот. Графики изменения переменных составляющих токов показаны на рисунке 4

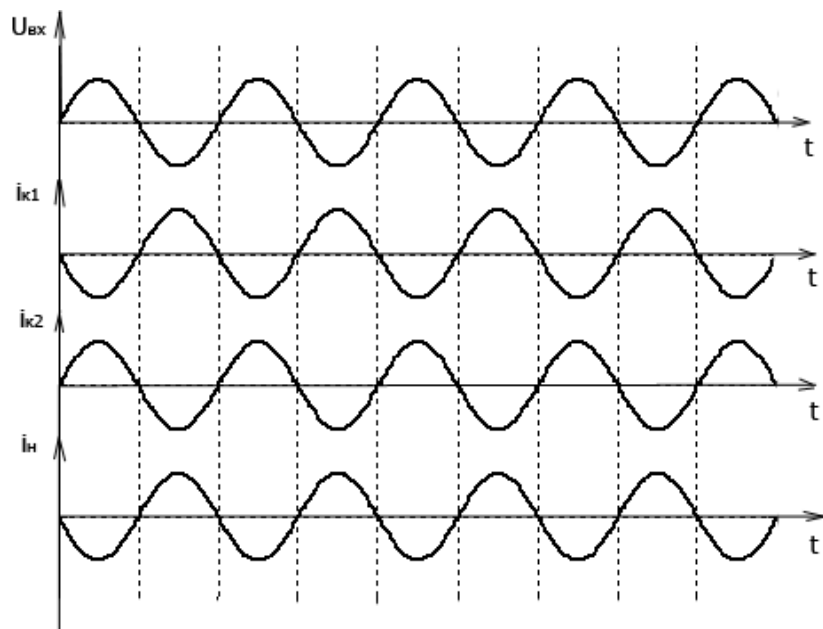


Рисунок 4 – Графики изменения токов в схеме при действии входного сигнала

Амплитуда переменной составляющей тока в нагрузке при симметрии схемы примерно равна удвоенной амплитуде коллекторного тока каждого транзистора, т.е. схема позволяет повысить выходную мощность в два раза по сравнению в одноктактным каскадом. В схеме также сохраняются все остальные преимущества обычного двухтактного каскада [2, 5].

3. ОПИСАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения лабораторной работы используются следующие технические средства.

1. Экспериментальный стенд фирмы FESTO с модулем «Транзистор II».
2. Генератор гармонических сигналов низких частот типа ГЗ-118.
3. Осциллограф фирмы Tektronix типа TDS-1001B.
4. Цифровой вольтметр В7-27.
5. Компьютер с приставкой типа PC Scope фирмы velleman.

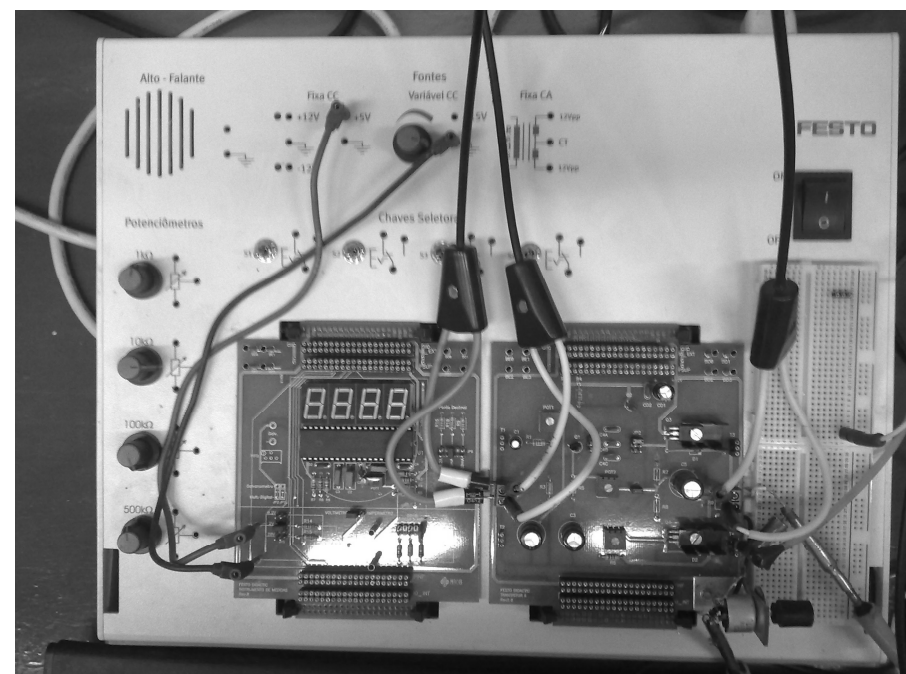


Рисунок 5 – Общий вид стенда

В лабораторной работе исследуется усилитель мощности (модуль «Транзистор II»), структурная схема которого приведена на рисунке 6. Усилитель содержит три каскада усиления с коэффициентами передачи K_1 ,

