

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса ГОУ ОГУ

Кафедра электронной техники и физики

А. П. РЫЖКОВ

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ЧАСТЬ 2

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 621.31(075.3)

ББК 32.8

Р93

Рецензент

заведующая кафедрой электронной техники и физики Л.А. Бушуй

А. П. Рыжков

Р93

Электронная техника: методические указания к лабораторным работам/А. П. Рыжков – Оренбург: Колледж электроники и бизнеса ГОУ ОГУ, 2009. 4.2 – 40 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ во втором семестре и могут быть использованы как преподавателями, так и студентами при изучении дисциплины «Электронная техника».

В методических указаниях рассмотрены теоретические сведения и даны практические рекомендации, необходимые для выполнения лабораторных работ во втором семестре учебного года.

ББК 32.8

© Рыжков А. П., 2009
©ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

1	Лабораторная работа 6. Исследование включения транзисторов в схеме с общим эмиттером.....	4
2	Лабораторная работа 7 Исследование типовой схемы включения транзисторов с общим коллектором.....	11
3	Лабораторная работа 8. Исследование бестрансформаторного усилителя мощности	16
4	Лабораторная работа 9. Исследование инвертирующей схемы включения операционного усилителя	20
5	Лабораторная работа 10. Исследование неинвертирующей схемы включения операционного усилителя	26
6	Лабораторная работа 11. Линейные вычислительные схемы на основе операционного усилителя	32
7	Лабораторная работа 12. Исследование аналогового компаратора.....	37
	Список использованных источников.....	42

1 Лабораторная работа №6

Тема: Исследование включения транзисторов в схеме с общим эмиттером

Цель работы:

Исследование характеристик и параметров усилительных каскадов на биполярных транзисторах в схеме с общим эмиттером (ОЭ) и отрицательной обратной связью по току (ООС)

1.1 Теоретические сведения

1.1.1 Основные характеристики усилителей

Усилитель - это устройство, предназначенное для усиления мощности входного сигнала за счет потребления энергии источников питания.

В зависимости от схемы включения биполярного транзистора (БТ), усилители делятся на:

- усилители с общим эмиттером (ОЭ);
- усилители с общим коллектором (ОК);
- усилители с общей базой (ОБ).

Чтобы определить схему включения транзистора, достаточно выяснить на какой его вывод подается входное напряжение $U_{вх}$ и с какого вывода снимается выходное напряжение $U_{вых}$.

Например, если в схеме $U_{вх}$ подается на базу относительно эмиттера, а $U_{вых}$ снимается с коллектора тоже относительно эмиттера, то это схема усилителя с общим эмиттером ОЭ.

К основным параметрам усилителей относятся:

1) коэффициент усиления по:

- а) напряжению $K_u = U_{вых} / U_{вх}$;
- б) току $K_i = I_{вых} / I_{вх}$;
- в) мощности $K_p = P_{вых} / P_{вх} = K_u * K_i$.

2) входное сопротивление $R_{вх}$ – это сопротивление между входными зажимами усилителя для переменного входного тока, определяется по формуле (1.1)

$$R_{вх} = U_{вх} / I_{вх} \quad (1.1)$$

3) **выходное сопротивление** $R_{\text{вых}}$ – это сопротивление между выходными клеммами усилителя для переменного тока при отключенном сопротивлении нагрузки, определяется по формуле (1.2)

$$R_{\text{вых}} = U_{\text{вых.}} / I_{\text{вых.}} \quad (1.2)$$

4) **коэффициент полезного действия усилителя** η – это отношение мощности ($P_{\text{вых}}$), поступающей в нагрузку, к мощности, потребляемой от источника питания ($P_{\text{ист}}$), определяется по формуле (1.3):

$$\eta = P_{\text{вых.}} / P_{\text{ист.}} \quad (1.3)$$

К **основным характеристикам усилителя** относятся:

- амплитудно-частотная (АЧХ);
- фазочастотная (ФЧХ);
- амплитудная (АХ).

В общем случае коэффициент усиления по напряжению и току является величиной комплексной, характеризующейся модулем и фазой, которые зависят от частоты усиливаемого сигнала.

Из-за наличия в схеме усилителя реактивных элементов и зависимости свойств транзистора от частоты коэффициент усиления усилителя имеет различные значения на различных частотах.

Это явление называется **частотными искажениями усилителя**. Для их оценки вводится параметр, называемый **коэффициентом частотных искажений** $M(\omega)$, равный отношению коэффициента усиления на средних частотах ($K_{\text{ср}}$) к коэффициенту усиления на данной частоте ($K_{\text{у}(\omega)}$):

Коэффициент частотных искажений определяется по формуле (1.4)

$$M(\omega) = K_{\text{ср}} / K_{\text{у}(\omega)} \quad (1.4)$$

Частоты, на которых коэффициент усиления достигает предельно допустимого значения и определяется согласно формуле (1.5), называются **верхней $\omega_{\text{в.гр}}$ и нижней $\omega_{\text{н.гр}}$ граничными частотами** (частотами среза), а разность $\Delta\omega = \omega_{\text{в.гр}} - \omega_{\text{н.гр}}$ – полосой пропускания усилителя или **диапазоном усиливаемых частот**.

$$K_{\text{у}(\omega)\text{гр.}} = K_{\text{ср}} / \sqrt{2} = 0,707 * K_{\text{ср}}, \quad (1.5)$$

Амплитудная характеристика усилителя - это зависимость амплитуды выходного сигнала $U_{\text{вых.м}}$ от амплитуды входного сигнала $U_{\text{вх.м}}$ на некоторой постоянной частоте.

Амплитудная характеристика идеального усилителя представляет прямую линию, проходящую через начало координат, а амплитудная

характеристика реального усилителя совпадает с характеристикой идеального усилителя только на некотором участке.

При больших входных сигналах $U_{\text{вх.м}} > U_{\text{вх.м.мах}}$, выходное напряжение усилителя перестает возрастать.

Это связано с тем, что рабочая точка транзистора попадает в область насыщения или отсечки, при этом выходной сигнал искажается.

Это явление называется **нелинейными искажениями** и оценивается коэффициентом гармоник K_{Γ} по формуле (1.6)

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\sum P_n / P_1} \quad (1.6)$$

где P_n - мощность n-й гармонической составляющей выходного сигнала при $n=2, 3, 4, \dots$, Вт;

P_1 - мощность первой гармоники, Вт.

Если нагрузка усилителя активная, то коэффициент гармоник принимает вид согласно формуле (1.7):

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\sum U_{nm}^2 / U_{1m}^2} = \sqrt{\sum I_{nm}^2 / I_{1m}^2} \quad (1.7)$$

где U_{nm} - амплитуда напряжения n-й гармонической составляющей выходного сигнала, начиная со второй гармоники, В;

U_{1m} - амплитуда напряжения первой гармонической составляющей выходного сигнала, В;

I_{nm} - амплитуда тока n-й гармонической составляющей выходного сигнала, начиная со второй гармоники, А;

I_{1m} - амплитуда тока первой гармонической составляющей выходного сигнала, А.

При малых входных сигналах выполняется следующее условие (1.8)

$$U_{\text{вх. м}} < U_{\text{вх. м min}} \quad (1.8)$$

При этом, выходное напряжение усилителя, остается практически постоянным и равным $U_{\text{вых.м.min}}$. Напряжение $U_{\text{вх.м.min}}$ называется **напряжением собственных шумов усилителя**.

Собственные шумы усилителя обусловлены различными помехами и наводками, а также непостоянством электрических процессов во времени.

Отношение $U_{\text{вх.м.мах}} / U_{\text{вх.м.min}} = D$ называется **динамическим диапазоном усилителя**.

1.1.2 Усилительный каскад на БТ с ОЭ

Наиболее распространенная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе с ОЭ представлена на рисунке 1.1.

Входное усиливаемое переменное напряжение $U_{вх}$ подводится к входу усилителя через разделительный конденсатор C_{p1} .

Конденсатор C_{p1} разделяет источник входного сигнала и базовый вход усилителя по постоянному току, чтобы исключить нарушение начального режима работы транзистора VT1.

Усиленное переменное напряжение, выделяемое на коллекторе транзистора VT1, подводится к внешней нагрузке с сопротивлением $R_{н}$ через разделительный конденсатор C_{p2} . Этот конденсатор служит для разделения выходной (коллекторной) цепи транзистора и внешней нагрузки по постоянной составляющей коллекторного тока $I_{кА}$.

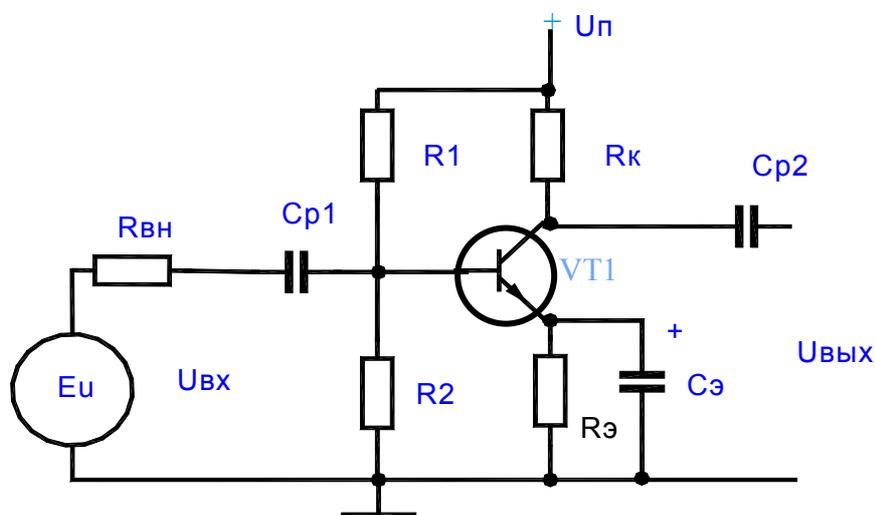


Рисунок 1.1 – Схема усилителя на биполярном транзисторе с ОЭ

Значение $I_{кА}$ и других постоянных составляющих токов и напряжений в цепях транзистора зависят от режима работы по постоянному току (положения рабочей точки на нагрузочной прямой).

Положение рабочей точки, т.е. значение начального тока базы $I_{бА}$ задается делителем $R1, R2$. При отсутствии входного переменного сигнала в цепи коллектора протекает постоянный ток $I_{кА}$, значение которого определяется по формуле (1.9):

$$U_{кэА} + I_{кА} * R_{к} + I_{эА} * R_{э} = U_{кэА} + I_{кА}(R_{к} + R_{э}) = E_{к}, \quad (1.9)$$

где $R_{к}$ - сопротивление в цепи коллектора, Ом;

$R_{э}$ - сопротивление в цепи эмиттера, Ом.

Решив это уравнение относительно тока $I_{кА}$, получим **динамическую характеристику транзистора по постоянному току**, которая рассчитывается по формуле (1.10)

$$I_{кА} = E_{к}/(R_{к}+R_{э}) - U_{кэА}/(R_{к}+R_{э}). \quad (1.10)$$

Это выражение представляет собой уравнение прямой линии, проходящей через точки с координатами: $(E_{к}, 0); (0, E_{к}/R_{кэ})$, изображенными на выходных характеристиках транзистора.

Усилительные каскады могут работать в одном из режимов: А, В, С, АВ, определяемых начальным положением рабочей точки при отсутствии входного переменного сигнала.

При работе транзистора в активном (усилительном) режиме (классА) начальное положение рабочей точки должно быть таким, чтобы ток через активный элемент транзистора протекал в течение всего периода изменения входного сигнала, а амплитудное значение выходного тока $I_{км}$ не превышало начального тока $I_{кА}$.

Начальное положение рабочей точки обеспечивается делителем напряжения R1, R2, значения которых определяется соотношениями (1.11), (1.12):

$$R1 = (E_{к} - U_{бэА} - U_{гэ})/(I_{дел} + I_{бА}), \quad (1.11)$$

$$R2 = (U_{бэА} + U_{гэ})/I_{дел}, \quad (1.12)$$

где $I_{дел} = (2...5)I_{бА}$ - ток в цепи делителя;

$U_{гэ} = (0,1...0,25)E_{к}$ - для каскадов предварительного усиления.

При обеспечении режима работы транзистора необходимо осуществить температурную стабилизацию положения рабочей точки. С этой целью в эмиттерную цепь введен резистор $R_{э}$, на котором создается напряжение отрицательной обратной связи ООС по постоянному току $U_{гэ}$.

Для устранения ООС по переменному току при наличии входного переменного сигнала резистор $R_{э}$ шунтируют конденсатором $C_{э}$, сопротивление которого на частоте усиливаемого сигнала должно быть незначительным.

Аналитический расчет коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности, а также входного и выходного сопротивлений производится по эквивалентным схемам усилительного каскада для различных диапазонов частоты входного сигнала.

1.2 Подготовка к работе

1.2.1 Изучить принцип работы схем усилительных каскадов на БТ с ОЭ.

1.2.2 Изучить порядок расчета схем усилительных каскадов БТ с ОЭ и ОК.

1.2.3 Нарисовать схемы исследуемых усилительных каскадов.

1.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

1.3 План работы

1.3.1 Собрать генератор синусоидальных колебаний согласно рисунку 1.2.

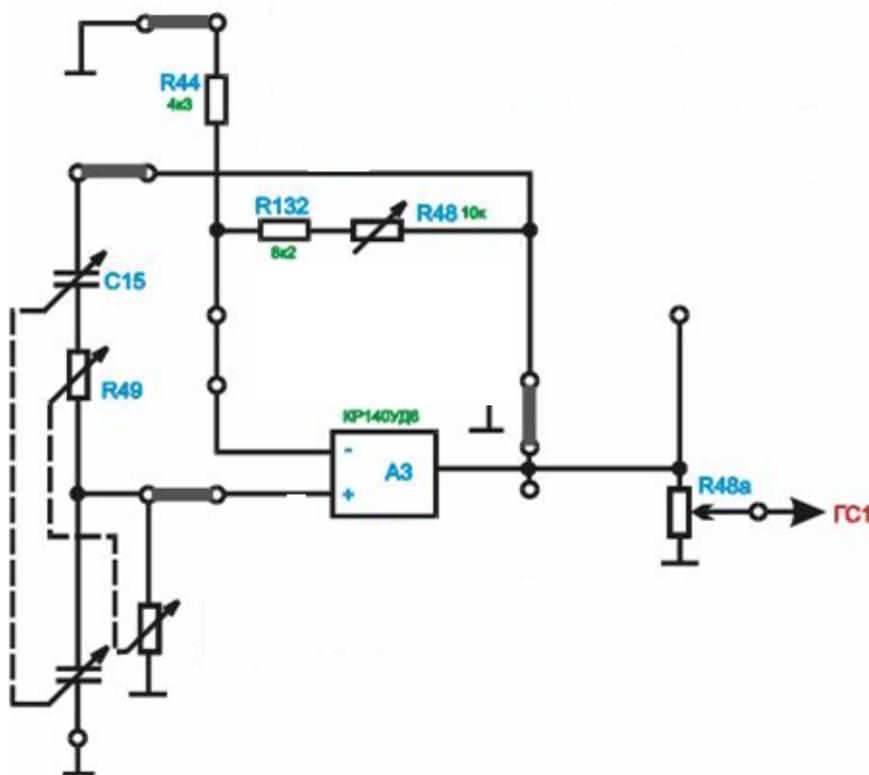


Рисунок 1.2 – Схема генератора синусоидальных колебаний

1.3.2 Собрать схему усилителя без шунтирующего конденсатора в цепи эмиттера, на основе схемы рисунка 1.3. Установить значение сопротивления резистора R23 таким, при котором искажения сигнала на выходе будут наименьшие (по осциллографу).

1.3.3 Подать на вход усилителя от генератора ГС1 синусоидальный сигнал частотой $f = 1$ кГц и амплитудой $U_{вх.м} = 0,05$ В. Замерить с помощью осциллографа амплитуду выходного сигнала $U_{вых.м}$ и зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений.

Рассчитать коэффициент усиления каскада по напряжению.

1.3.4 Изменяя величину сопротивления R23, по осциллографу определить момент появления в выходном сигнале больших нелинейных искажений и зарисовать осциллограмму этого напряжения.

1.3.5 Включить емкость в цепь эмиттера и выполнить операции п.п. 1.3.3 и 1.3.4.

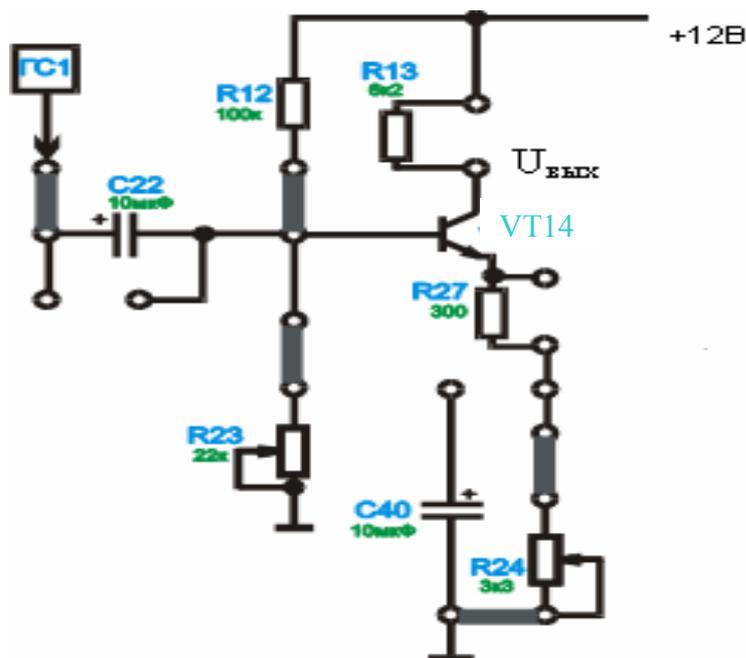


Рисунок 1.2 – Схема усилителя на БТ с ОЭ

1.3.6 Установить амплитуду входного сигнала $U_{вх.м} = 0,05В - const$. Изменяя частоту входного сигнала F от 0 до 100 кГц (рекомендуемые частоты, Гц: 20, 50, 200, 500; 1000, 5000, 10000, $15 \cdot 10^3$, $20 \cdot 10^3$, $25 \cdot 10^3$, $50 \cdot 10^3$, $75 \cdot 10^3$, $90 \cdot 10^3$, $100 \cdot 10^3$), снять амплитудно-частотную характеристику усилителя и построить ее в логарифмическом масштабе.

1.3.7 Заполнить таблицу 1.1, в которой поместить результаты измерений и вычислений для построения логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) при условии: $U_{вх.м} = 0,05В - const$; $K_u = U_{вых.м} / U_{вх.м}$ согласно формуле (1.13)

$$K_u = f(\lg F) \quad (1.13)$$

Таблица 1.1 – Результаты измерений и вычислений

F, Гц	20	50	200	500	1000	5000	...	$10 \cdot 10^5$
$U_{вых.м}$, В								
K_u								

1.3.8. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой $f = 1кГц$. Изменяя амплитуду входного сигнала $U_{вх.м}$ от 0 до 0,5В согласно таблице 1.2, измерить $U_{ввых.м}$.

1.3.9. Построить амплитудную характеристику усилителя согласно формуле (1.14)

$$U_{\text{ВЫХ.м}} = f(U_{\text{ВХ.м}}) \quad (1.14)$$

1.3.10 Для каждого значения $U_{\text{ВХ.м}}$ пронаблюдать осциллограмму выходного напряжения. Определить $U_{\text{ВХ.м}}$ в момент появления существенных нелинейных искажений $U_{\text{ВЫХ}}$ и зарисовать осциллограмму.

Таблица 1.2 – Результаты измерений

$U_{\text{ВХ.м}}, \text{ мВ}$	0	5	20	60	100	150	200	250	500
$U_{\text{ВЫХ.м}}, \text{ мВ}$									

1.3.11 Сравнить результаты теоретических расчетов и практических исследований, сформулировать выводы по каждому пункту рабочего задания.

1.4 Контрольные вопросы

1.4.1 Определить по принципиальной схеме усилительного каскада способ включения транзистора.

1.4.2 Объясните назначения отдельных компонентов схемы усилителя с ОЭ.

1.4.3 Когда следует применять усилительные каскады, включенные по схеме с ОЭ?

1.4.4 Назовите способы задания режима работы транзистора в усилительных каскадах?

1.4.5 Объясните влияние температуры на режим работы усилительных каскадов.

1.4.6 Какие вы знаете способы температурной стабилизации режима работы усилительных каскадов?

2 Лабораторная работа №7

Тема: Исследование типовой схемы включения транзисторов с общим коллектором

Цель работы:

Исследование характеристик и параметров усилительных каскадов на биполярных транзисторах в схемах с общим коллектором.

2.1 Теоретические сведения

2.1.1 Усилительный каскад на биполярном транзисторе (БТ) с общим коллектором называется **эмиттерный повторитель**.

Эмиттерный повторитель (ЭП) представляет собой усилитель тока и мощности, выполненный на транзисторе по схеме с общим коллектором (ОК). Схема ЭП представлена на рисунке 2.1.

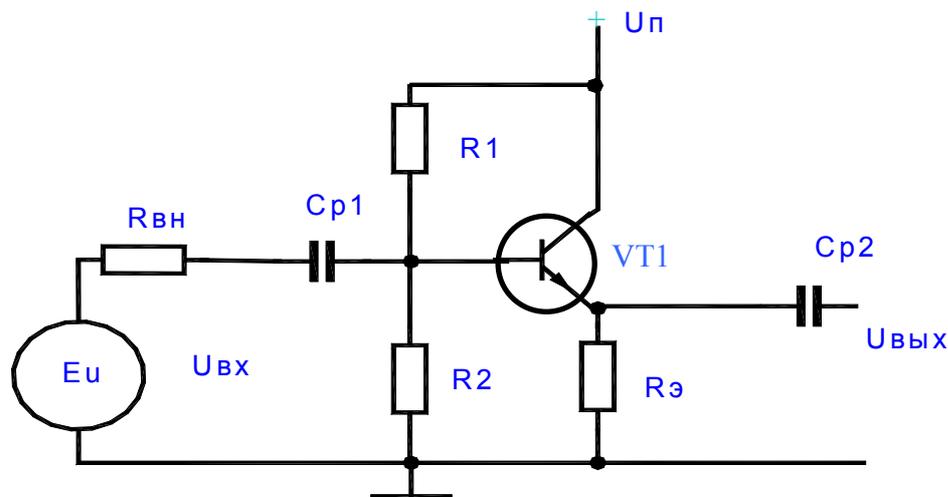


Рисунок 2.1- Схема эмиттерного повторителя

Сопротивление нагрузки включается в эмиттерную цепь транзистора. ЭП обладает повышенным входным и пониженным выходным сопротивлениями. Его входное и выходное напряжения совпадают по фазе и незначительно отличаются по величине. Отмеченные свойства ЭП позволяют использовать его для согласования высокоомного источника напряжения с низкоомной нагрузкой.

ЭП можно рассматривать как усилительный каскад с общим эмиттером (ОЭ), у которого $R_k=0$, а резистор в цепи эмиттера не зашунтирован конденсатором $C_э$.

В этом случае все выходное напряжение, выделяемое на сопротивлении в цепи эмиттера, последовательно вводится во входную цепь усилителя, где вычитается из напряжения входного сигнала $U_{вх}$, снижая его. В схеме действует 100 % последовательная отрицательная обратная связь по току.

Коэффициент усиления по напряжению ЭП определяется по формуле (2.1):

$$K_u = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = (I_3 * R_3)/(I_6 * R_{\text{ВХ}}) \quad (2.1)$$

где K_u – коэффициент усиления по напряжению;
 $U_{\text{ВЫХ}}, U_{\text{ВХ}}$ – напряжения на выходе и входе ЭП, В;
 I_3, I_6 – сила тока на эмиттере и БТ соответственно, А;
 $R_3, R_{\text{ВХ}}$ –сопротивления нагрузки на эмиттере и входе, Ом.

Коэффициент усиления по току K_i в схеме ЭП без учета сопротивления нагрузки R_n (холостой ход) определяется по формуле (2.2)

$$K_i = I_3/I_6 = 1+\beta. \quad (2.2)$$

где β – коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером

2.2 Подготовка к работе

2.2.1 Изучить принцип работы схем усилительных каскадов на БТ с ОЭ и ОК.

2.2.2 Изучить порядок расчета схем усилительных каскадов БТ с ОЭ и ОК.

2.2.3 Нарисовать схему исследуемого усилительного каскада.

2.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

2.3 План работы

2.3.1 Собрать генератор синусоидальных колебаний по схеме на рисунке 2.2

2.3.2 Собрать схему ЭП согласно рисунку 2.3

Установить значение сопротивления резистора R_{23} таким, при котором искажения сигнала на выходе будут наименьшие (по осциллографу).

2.3.3 Установить амплитуду входного сигнала $U_{\text{вх.м}}=0,05\text{В}$ постоянной. Изменяя частоту входного сигнала F от 0 до 100кГц (рекомендуемые частоты, Гц: 20, 50, 200, 500; 1000, 5000, 10000, $15*10^3$, $20*10^3$, $25*10^3$, $50*10^3$, $75*10^3$, $90*10^3$, $100*10^3$), снять амплитудно-частотную характеристику усилителя,, значения которой занести в таблицу 2.1.

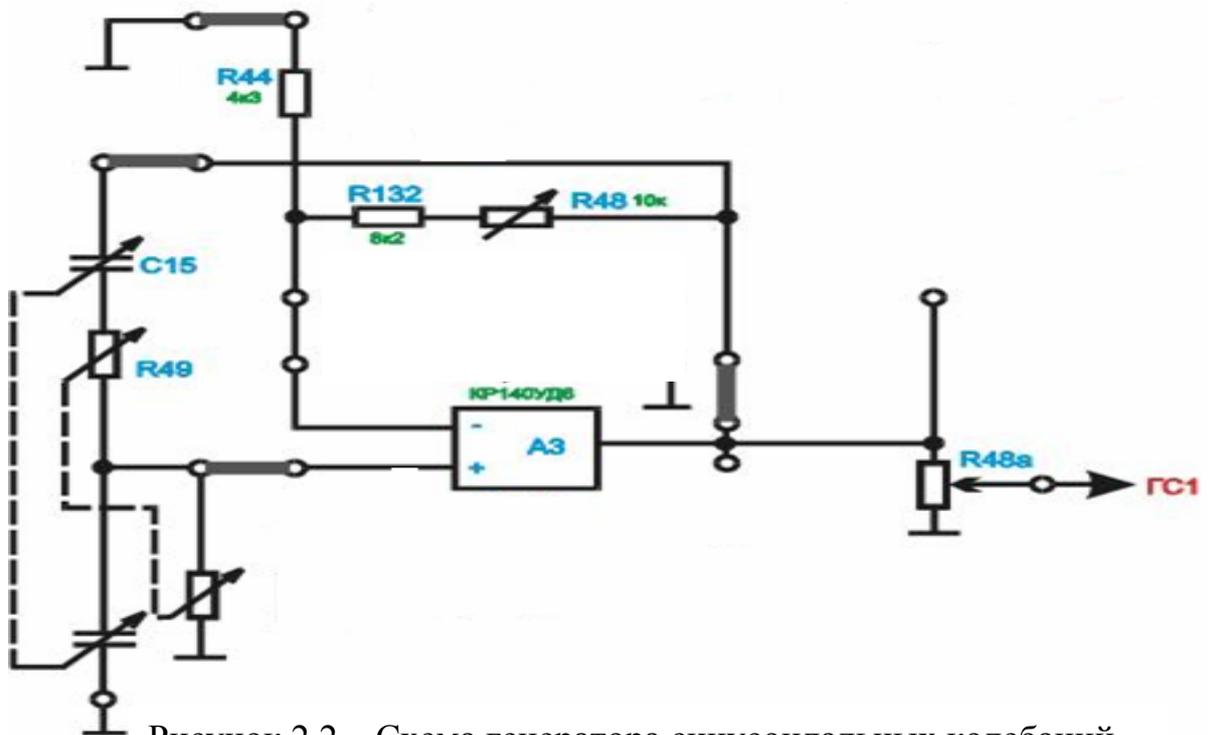


Рисунок 2.2 – Схема генератора синусоидальных колебаний
Рис

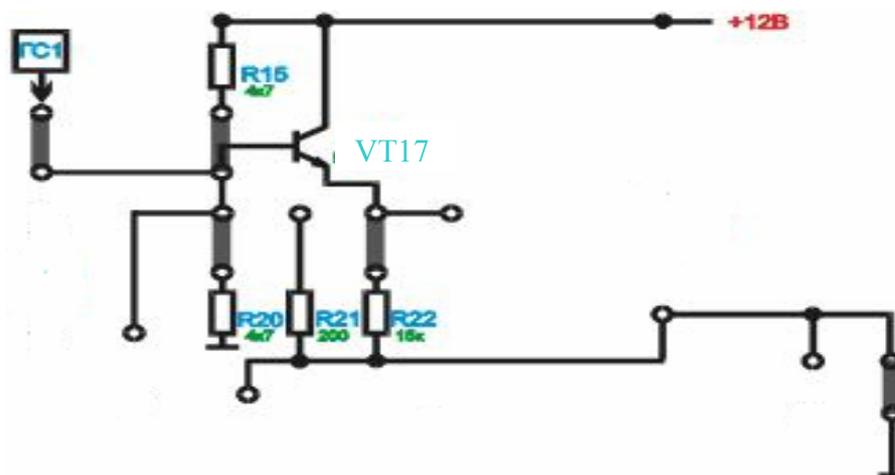


Рисунок 2.3 - Схема усилителя на биполярном транзисторе с ОК

2.3.4 На основании полученных значений построить логарифмическую амплитудно-частотную характеристику (ЛАЧХ) при условии: $U_{вх.м} = 0,05В - const$; $K_u = U_{вых.м} / U_{вх.м}$. в логарифмическом масштабе с использованием функциональной зависимости по формуле (2.3)

$$K_u = f(\lg F) \quad (2.3).$$

Таблица 2.1 – Результаты измерений и вычислений

F, Гц	20	50	200	500	1000	5000	...	10*10 ⁵
U _{ВЫХ.м} , В								
K _u								

2.3.4 Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой $f=1\text{кГц}$. Изменяя амплитуду входного сигнала $U_{\text{ВХ.м}}$ от 0 до 0,5В, измерить $U_{\text{ВЫХ.м}}$. Результаты занести в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Результаты измерений для построения амплитудной характеристики усилителя $U_{\text{ВЫХ.м}}=f(U_{\text{ВХ.м}})$

U _{ВХ.м} , мВ	0	5	20	60	100	150	200	250	500
U _{ВЫХ.м} , мВ									

2.3.5 Построить амплитудную характеристику усилителя с использованием функциональной зависимости по формуле (2.4)

$$U_{\text{ВЫХ.м}}=f(U_{\text{ВХ.м}}) \quad (2.4)$$

2.3.6 Для каждого значения $U_{\text{ВХ.м}}$ пронаблюдать осциллограмму выходного напряжения. Определить $U_{\text{ВХ.м}}$ в момент появления существенных нелинейных искажений $U_{\text{ВЫХ}}$ и зарисовать осциллограмму.

2.4 Контрольные вопросы

2.4.1. Определить по принципиальной схеме усилительного каскада способ включения транзистора.

2.4.2. Сравните усилители с ОЭ, ОК, ОБ по коэффициентам усиления K_i , K_u , K_p .

2.4.3. В каком усилителе осуществляется усиление по напряжению и по мощности?

2.4.4. В каком усилителе осуществляется усиление по току и по мощности?

2.4.5. Какой усилитель обеспечивает максимальное усиление по мощности и почему?

2.4.6 Сравните усилители с ОЭ, ОБ, ОК по значениям $R_{\text{ВХ}}$ и $R_{\text{ВЫХ}}$. Чем обусловлено их различие?

2.4.7 Сравните частотные свойства каскадов с ОЭ, ОБ, ОК и объясните причины различия.

2.4.8 Объясните назначения отдельных компонентов схем усилителей с ОЭ, ОБ, ОК.

2.4.9 Как зависит $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_u , K_i , K_p усилителя с ОЭ от значений электрических параметров отдельных компонентов схемы? *

2.4.10 Когда следует применять усилительные каскады, включенные по схеме с ОЭ, ОБ, ОК?

2.4.11 Назовите способы задания режима работы транзистора в усилительных каскадах?

2.4.12 Объясните влияние температуры на режим работы усилительных каскадов.

2.4.13 Какие вы знаете способы температурной стабилизации режима работы усилительных каскадов?

3 Лабораторная работа №8

Тема: Исследование бестрансформаторного усилителя мощности

Цель работы:

Исследование основных параметров и характеристик двухтактных усилителей мощности.

3.1 Теоретические сведения

Усилителями мощности называют выходные (оконечные) усилительные каскады, предназначенные для передачи потребителю указанной или максимально возможной мощности при заданных сопротивлениях нагрузки R_n , высоком к.п.д. и допустимых уровнях частотных и нелинейных искажений.

Выходные каскады, как правило, работают в режиме усиления больших сигналов и их важнейшими показателями являются:

- отдаваемая в нагрузку мощность;
- к.п.д.;
- уровень нелинейных искажений.

Уровень нелинейных искажений и к.п.д. усилителя существенно зависят от начального положения рабочей точки, поэтому необходимо строго соблюдать режим работы усилителя по постоянному току. Уровень нелинейных искажений оценивается коэффициентом гармоник K_r .

Выходные каскады проектируют в одно- и двухтактном исполнении. Однотактные каскады обычно работают в режиме класса А, двухтактные - в режиме класса В или АВ.

На практике наибольшее распространение получили двухтактные бестрансформаторные усилительные каскады, работающие в режиме класса В. Их достоинством является высокий к.п.д. и возможность получения большого коэффициента усиления по мощности. Существенное уменьшение нелинейных искажений в этих усилителях обеспечивается путем исключения

начального участка входной характеристики, поэтому усилитель работает в режиме класса АВ, близкого к классу В.

В этих усилителях используют сочетание в одном каскаде либо однотипных, либо разнотипных транзисторов *p-n-p* и *n-p-n* типов, включенных по схеме с общим коллектором (с ОК).

Каскады, в которых использованы транзисторы *p-n-p* и *n-p-n* типов, носят название каскадов с дополнительной симметрией.

Одна из возможных схем усилительного каскада с дополнительной симметрией показана на рисунке 3.1.

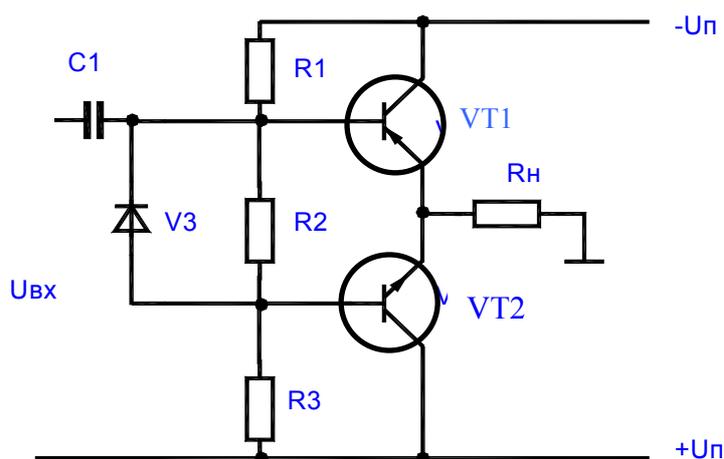


Рисунок 3.1 - Схема усилительного каскада с дополнительной симметрией

Как видно из рисунка, такие выходные каскады имеют последовательное питание и параллельное включение нагрузки. При отсутствии входного сигнала ток в сопротивлении R_n практически отсутствует, поскольку небольшие начальные токи, протекавшие через транзисторы $VT1$ и $VT2$, в нем взаимно вычитаются. Эти токи обусловлены смещением, созданным падением напряжения на R_2 , определяемым по формуле (3.1):

$$U_{R2} = I_{\text{дел}} * R_2, \quad (3.1)$$

где $I_{\text{дел}}$ – ток делителя, который можно рассчитать по формуле (3.2)

$$I_{\text{дел}} = 2 * U_{п} / (R_1 + R_2 + R_3), \quad (3.2)$$

где R_1, R_2, R_3 – сопротивления нагрузки, Ом.

Если транзисторы $VT1$ и $VT2$ идентичны по параметрам, то потенциалы баз транзисторов относительно эмиттеров, равны $(-U_{R2}/2)$ и $(+U_{R2}/2)$. В этом случае через транзисторы протекает одинаковый ток, а в

сопротивлении нагрузки ток отсутствует. При этом ток делителя напряжений выбирают от 5 до 10 раз больше начальных базовых токов транзисторов. Это обеспечивает малое изменение потенциалов баз при температурных изменениях их токов.

Поскольку R_2 мало, можно считать, что базы транзисторов по переменному току непосредственно соединены между собой. Вместо резистора R_2 может быть включен диод VD_3 или несколько последовательно соединенных диодов, которые обеспечивают требуемое падение напряжения между базами транзисторов при заданном токе делителя и в тоже время имеют малое дифференциальное сопротивление. Замена R_2 диодами повышает температурную стабильность усилителя.

При подаче входного переменного усиливаемого сигнала один из транзисторов в зависимости от фазы сигнала закрывается, а открытый транзистор работает, как усилительный каскад, собранный по схеме с ОК, т.е. как обычный эмиттерный повторитель (ЭП). Во время другого полупериода входного сигнала открытый и закрытый транзисторы меняются местами.

Выходное сопротивление ЭП мало, что облегчает согласование усилителя с низкоомной нагрузкой и к.п.д. схемы может быть достаточно большим. Поскольку выходное напряжение схемы с ОК почти равно входному, усиление мощности в таком усилителе достигается за счет усиления тока.

Для получения одинакового входного сопротивления в разные полупериоды и одинакового усиления по мощности транзисторы усилителя рекомендуется подбирать с идентичными параметрами.

3.2 Подготовка к работе

3.2.1 Изучить принцип работы схем двухтактных усилителей мощности на БТ.

3.2.2 Изучить порядок расчета схем двухтактных усилителей*.

3.2.3 Нарисовать схемы исследуемых двухтактных усилителей мощности.

3.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

3.3 План работы

3.3.1. Собрать схемы двух источников питания и схему генератора синусоидальных колебаний по рисунку 3.2.

3.3.2. Собрать схему двухтактного усилителя, представленную на рисунке 3.3.

3.3.3. Замерить с помощью амперметра A_1 ток через нагрузку при отсутствии входного сигнала. Пояснить полученное значение.

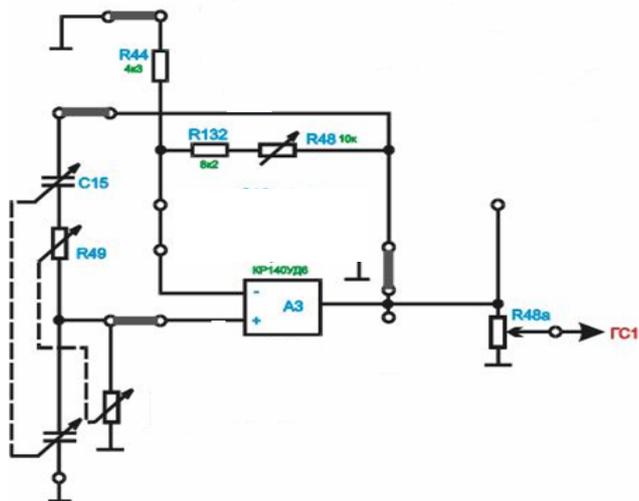


Рисунок 3.2 – Схема генератора синусоидальных колебаний

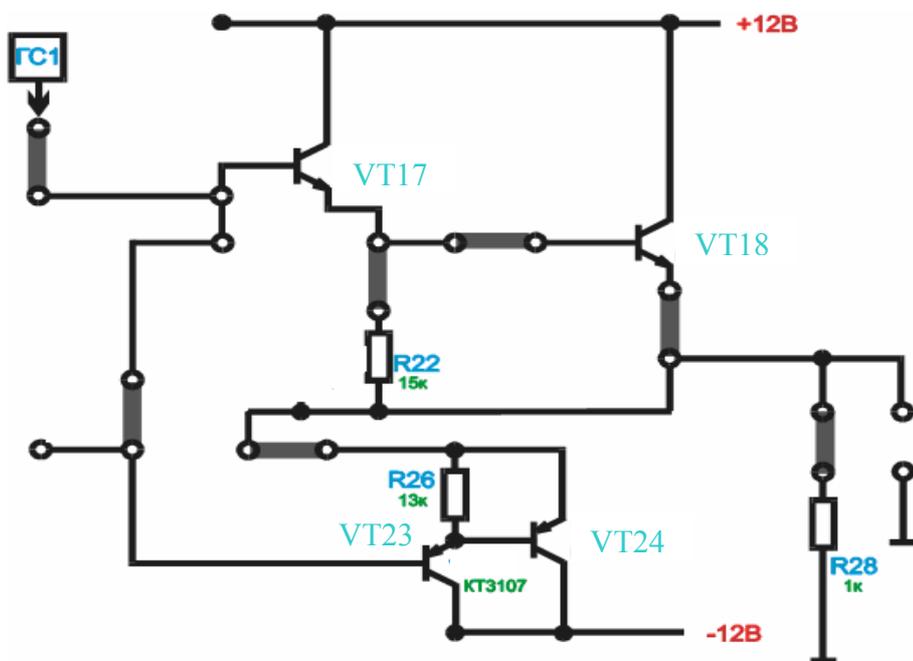


Рисунок 3.3 - Бестрансформаторный двухтактный усилитель без элементов исключения начального участка входной характеристики

3.3.4. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой $f=1\text{кГц}$ и амплитудой не более 3В . Снять и зарисовать осциллограммы входного напряжения и напряжения на нагрузке. Пояснить наличие в выходном напряжении переходных искажений.

3.3.5. Определить с помощью осциллографа на частоте $f = 1\text{кГц}$ значение $U_{\text{вх.мах}}$, при котором в выходном сигнале появляются заметные нелинейные искажения. Зарисовать осциллограммы напряжений.

3.3.6. Снять и построить амплитудную характеристику $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$

при изменении $U_{вх}$ от нуля до $U_{вх.мах}$, при котором появляются в выходном сигнале визуально заметные на экране осциллографа нелинейные искажения.

3.3.7 Результаты занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты измерений для построения амплитудной характеристики

$U_{вх.м}, мВ$	0	50	200	600	1000	1500	2000	2500	5000
$U_{вых.м}, В$									

3.3.8 Снять амплитудно-частотную характеристику усилителя при входном напряжении $U_{вх} = 1В$, изменяя частоту входного сигнала от 0 до 100 кГц (рекомендуемые частоты, Гц: 20 ; 50; 200; 500; 1000; 5000; 10000; $15 \cdot 10^3$; $20 \cdot 10^3$; $25 \cdot 10^3$; $50 \cdot 10^3$; $75 \cdot 10^3$; $90 \cdot 10^3$; $100 \cdot 10^3$), построить ее в логарифмическом масштабе $K_u = f(\lg F)$.

3.3.9 Результаты занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты измерений и вычислений при условии $U_{вх.м} = 1В-const$, $K_u = U_{вых.м} / U_{вх.м}$.

F, Гц	20	50	200	500	1000	5000	...	$10 \cdot 10^5$
$U_{вх.м}, В$								
$U_{вых.м}, В$								
K_u								

3.4 Контрольные вопросы

3.4.1 Объясните положение рабочей точки транзистора усилителя мощности, работающего в режимах класса А, АВ, В.

3.4.2. Сравните каскады усилителей мощности классов А, АВ, В по экономичности и уровню нелинейных искажений.

3.4.3. Объясните причины нелинейных искажений в каскадах усиления мощности на БТ.

3.4.4. Опишите принцип работы исследуемой схемы.

3.4.5. Объясните назначение элементов исследуемой схемы.

4 Лабораторная работа №9

Тема: Исследование инвертирующей схемы включения операционного усилителя

Цель работы: Изучение принципа работы, основных параметров и характеристик операционного усилителя (ОУ), исследование инвертирующей схемы включения ОУ.

4.1 Теоретические сведения

Исследуемый усилитель называется операционным потому, что он может использоваться для выполнения различных математических операций над сигналами: алгебраического сложения, вычитания, умножения на постоянный коэффициент, интегрирования, дифференцирования, логарифмирования и т.д. Современный ОУ выполняется на базе интегральной микросхемы операционного усилителя, к выводам которой присоединяются источники питания, входных сигналов, сопротивление нагрузки, цепи обратной связи (ОС), коррекции частотных характеристик ОУ и другие цепи.

ОУ - это усилитель постоянного тока, имеющий большой коэффициент усиления по напряжению. Для получения возможности усиливать разнополярные сигналы ОУ запитывают, обычно симметричным, двухполярным источником питания.

На рисунке 4.1 показано условное обозначение ОУ с одним выходом и двумя входами: прямым и инверсным. Инверсный вход обозначают знаком инверсии (кружком) или помечают знаком "-". Прямой вход не имеет знака инверсии или его помечают знаком "+".

В общем случае на входные выводы ОУ подаются либо синфазный сигнал $U_{сф}$, величина которого определяется по формуле (4.1), либо дифференциальный сигнал, который определяется по формуле (4.2).

$$U_{сф} = (U_{вх1} + U_{вх2})/2, \quad (4.1)$$

где $U_{сф}$ – напряжение синфазного сигнала, В;
 $U_{вх1}$ – напряжение на прямом входе, В;
 $U_{вх2}$ – напряжение на инверсном входе, В.

$$U_{диф} = U_{вх1} - U_{вх2} \quad (4.2)$$

где $U_{диф}$ – напряжение дифференциального сигнала, В.

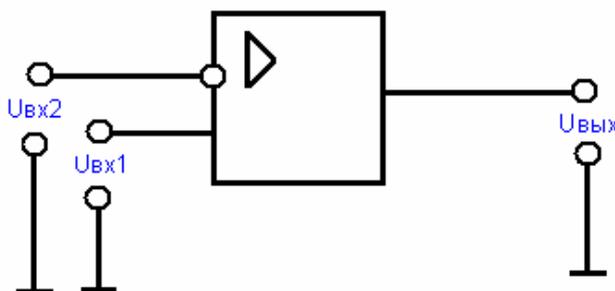


Рисунок 4.1- Условное обозначение ОУ

ОУ предназначен для усиления небольшого разностного (дифференциального) сигнала. Синфазный сигнал схемой ОУ должен быть максимально ослаблен. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ находится в фазе (синфазно) с напряжением на входе "+" $U_{\text{вх1}}$ и противофазно напряжению на входе "-" $U_{\text{вх2}}$.

На рисунке 4.2 приведены амплитудные характеристики ОУ.

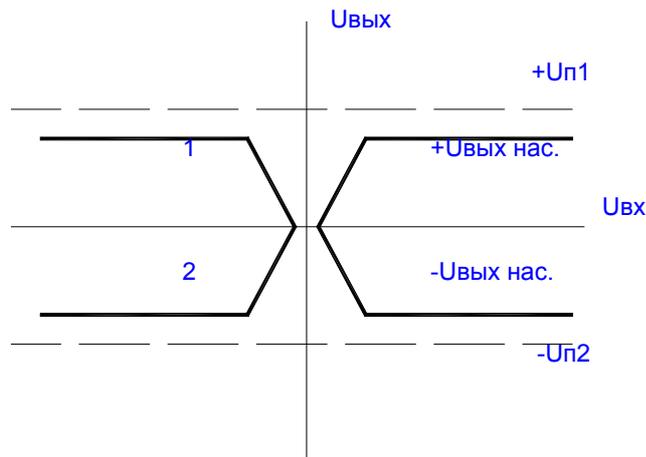


Рисунок 4.2- Амплитудные характеристики ОУ

4.1.1 Инвертирующий усилитель

В схеме на рисунке 4.3 входной сигнал подается на инвертирующий вход ОУ, а его неинвертирующий вход заземлен

Усилитель называется **инвертирующим**, так как выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ инвертировано по отношению к входному напряжению $U_{\text{вх}}$. Отрицательная обратная связь создается с помощью резисторов R2, R1 (параллельная ООС по напряжению).

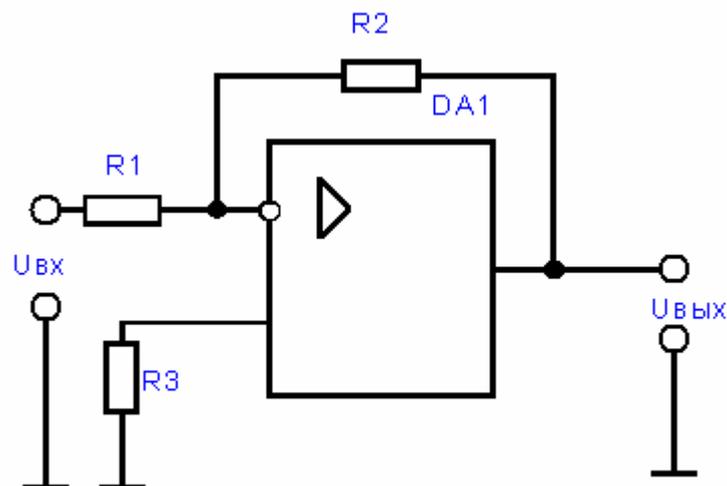


Рисунок 4.3 – Схема инвертирующего усилителя

Коэффициент усиления напряжения $K_{уос}$ схемой инвертирующего ОУ определяется по формуле (4.3)

$$K_{уос} = -R2/R1. \quad (4.3)$$

Если $R2 = R1$, то $K_{уос} = -1$ и ОУ становится инвертирующим повторителем напряжения, у которого $U_{вых} = -U_{вх}$.

Входное сопротивление $R_{вх}$ инвертирующего ОУ определяется по формуле (4.4)

$$R_{вх} = R1, \quad (4.4)$$

Выходное сопротивление $R_{вых}$ определяется по формуле (4.5)

$$R_{вых} = R_{вых\ оу} / (1 + K_{оу} / K_{уос}) \quad (4.5)$$

Для компенсации различия входных токов в схему введен резистор $R3$, который рассчитывается по формуле (4.6)

$$R3 = R1 * R2 / (R1 + R2) \quad (4.6)$$

4.2. Подготовка к работе

4.2.1 Изучить принцип работы, параметры, характеристики, схемы включения и возможности применения ОУ.

4.2.2 Определить входное, выходное сопротивления и коэффициент усиления инвертирующего усилителей для заданных преподавателем значений параметров исследуемых схем.

4.2.3 Нарисовать схему исследуемого усилителя.

4.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

4.3 План работы

4.3.1 Собрать схемы двух источников питания и генератора синусоидальных колебаний согласно рисункам 4.4 и 4.5.

4.3.2 Собрать схему инвертирующего усилителя, представленную на рисунке 4.6

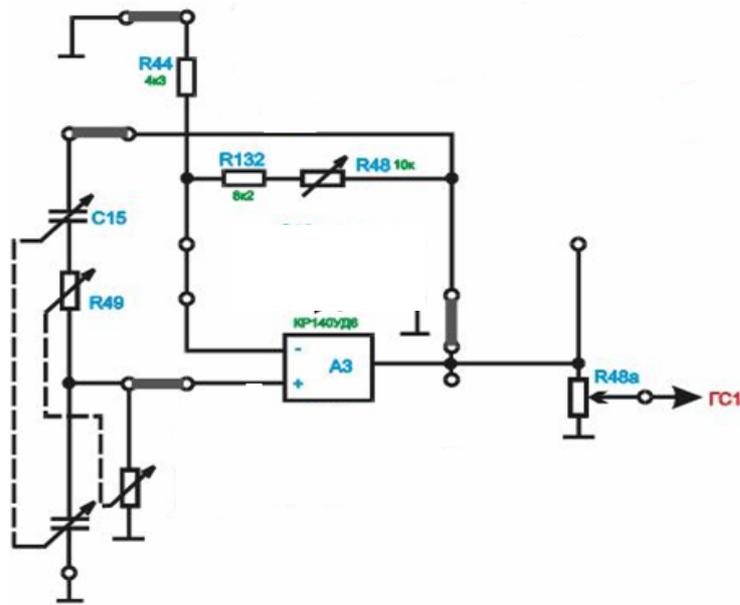


Рисунок 4.4 – Схема генератора синусоидальных колебаний

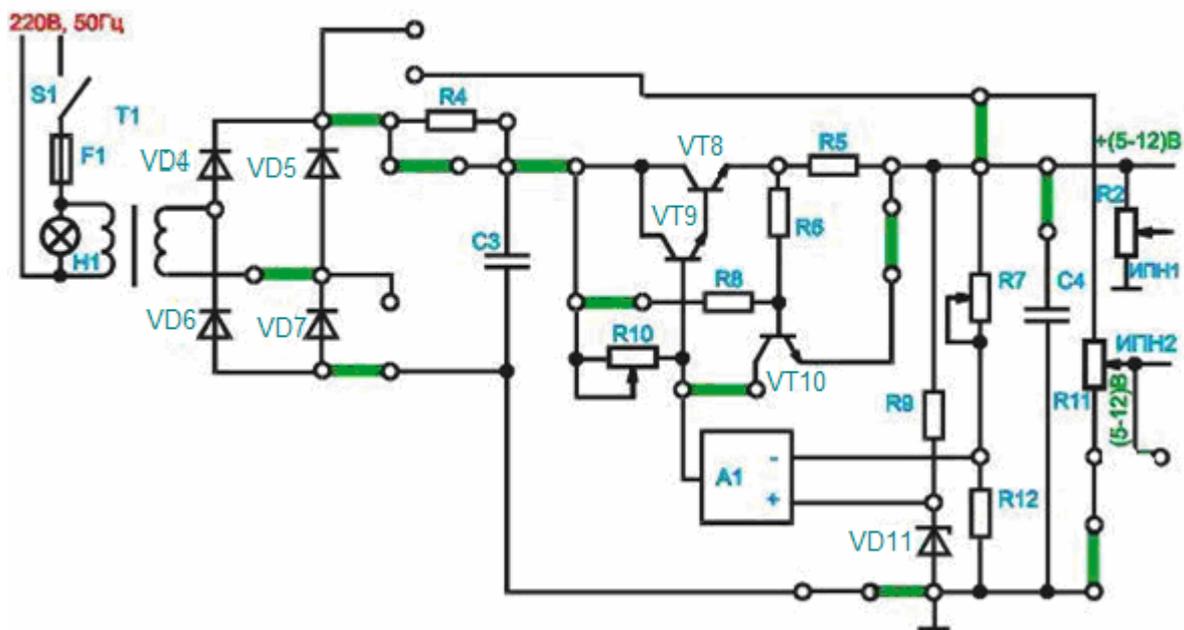


Рисунок 4.5 – Схема источников питания

4.3.3. Подать на вход усилителя постоянное напряжение не более 1В от источника ИПН1 (выходное напряжение ИПН1 регулируется резистором R2). Замерить с помощью цифрового вольтметра выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления схемы $K'_{уос}$ по формуле (4.7).

$$K'_{уос} = - R_{35}/R_{37} \quad (4.7)$$

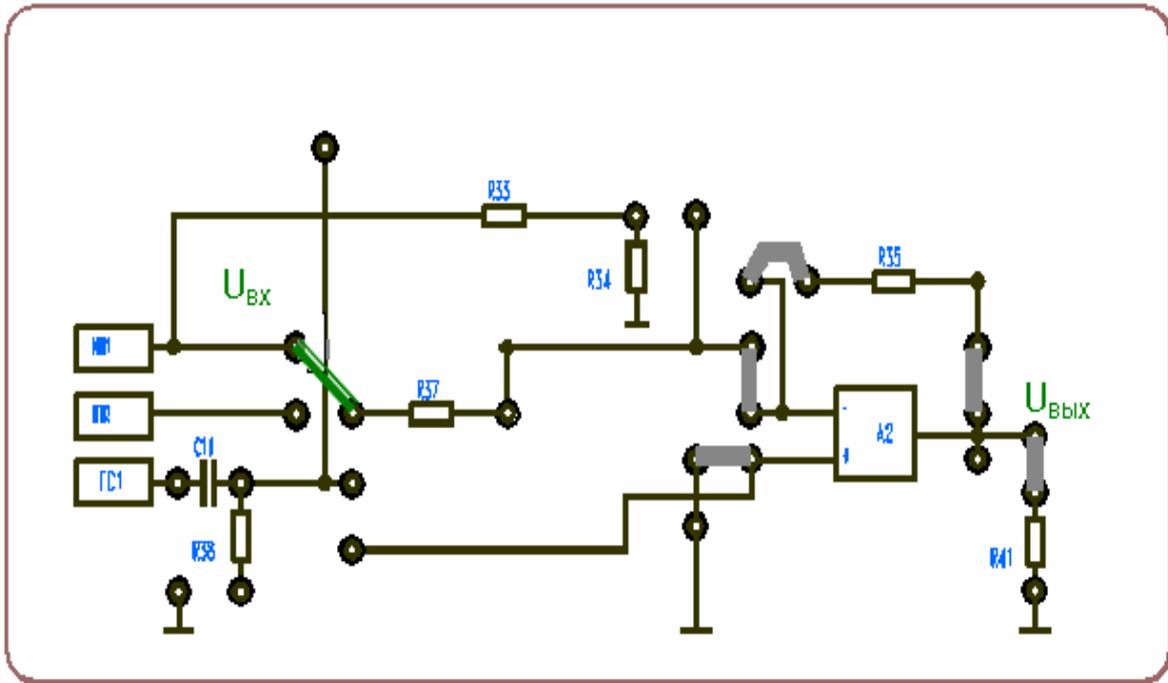


Рисунок 4.6 – Инвертирующее включение ОУ

4.3.4. Снять и построить амплитудную характеристику усилителя, изменяя напряжение от источника ИПН1 от 0 до $U_{ВХ \max}$ при котором усилитель входит в насыщение. Определить значение $U_{ВЫХ \text{ нас.}}$ исследуемого ОУ. Входное и выходное напряжения измеряются цифровым вольтметром.

Результаты записать в таблицу 4.1

Таблица 4.1 Амплитудная характеристика усилителя

$U_{ВХ}$ (В)	0	0,5	1	1,5	2	5	3
$U_{ВЫХ}$ (В)							
$K_{u \text{ ос}}$							

4.3.5. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой $f = 1\text{кГц}$ и амплитудой не более 1В от генератора ГС1. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений.

4.3.6. Подать на вход усилителя сигнал с амплитудой более $U_{ВХ \max}$ и зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Пояснить полученный результат.

4.3.7 Снять и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя при $U_{ВХ} = 1\text{В}$, изменяя частоту входного сигнала от 10 Гц до 2 МГц. Результаты оформить в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Амплитудно-частотная характеристика усилителя

F(Гц)	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	5*10 ⁵	10 ⁶	2*10 ⁶
U _{вх} (В)								
U _{вых} (В)								
K _{u.ос}								

4.3.8 Сравнить результаты практического исследования схем на ОУ с теоретическими (сравнить $K'_{u.ос}$ и $K_{u.ос}$) и сделать выводы.

4.4 Контрольные вопросы

4.4.1 Охарактеризуйте назначение, параметры, характеристики и особенности применения ОУ.

4.4.2 Сравните схемы усилителей на ОУ по основным параметрам.

4.4.3 Охарактеризуйте инвертирующий повторитель напряжения и приведите его схему.

4.4.4 Нарисуйте амплитудно-частотную характеристику ОУ и поясните ее.

4.4.5 Как осуществляется и для чего предназначена коррекция частотных характеристик ОУ?

4.4.6. Чем определяется максимальное выходное напряжение U_{вых} ОУ?

5 Лабораторная работа №10

Тема: Исследование неинвертирующей схемы включения операционного усилителя

Цель работы:

Изучение принципа работы, основных параметров и характеристик операционного усилителя (ОУ), исследование неинвертирующей схемы его включения.

5.1 Теоретические сведения

Исследуемый усилитель называется операционным потому, что он может использоваться для выполнения различных математических операций над сигналами: алгебраического сложения, вычитания, умножения на постоянный коэффициент, интегрирования, дифференцирования, логарифмирования и т.д.

Современный ОУ выполняется на базе интегральной микросхемы операционного усилителя, к выводам которой присоединяются источники

питания, входных сигналов, сопротивление нагрузки, цепи обратной связи (ОС), коррекции частотных характеристик ОУ и другие цепи.

ОУ - это усилитель постоянного тока, имеющий большой коэффициент усиления по напряжению. Для получения возможности усиливать разнополярные сигналы ОУ запитывают, обычно симметричным, двухполярным источником питания.

На рисунке 5.1 показано условное обозначение ОУ с одним выходом и двумя входами: прямым и инверсным. Инверсный вход обозначают знаком инверсии (кружком) или помечают знаком "-". Прямой вход не имеет знака инверсии или его помечают знаком "+".

В общем случае на входные выводы ОУ подаются либо синфазный сигнал согласно формуле (5.1), либо дифференциальный сигнал по формуле (5.2), .

$$U_{\text{сф}} = (U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}})/2, \quad (5.1)$$

где $U_{\text{сф}}$ – напряжение синфазного сигнала, В;
 $U_{\text{вх1}}$ – напряжение на прямом входе, В;
 $U_{\text{вх2}}$ – напряжение на инверсном входе, В.

$$U_{\text{диф}} = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}} \quad (5.2)$$

где $U_{\text{диф}}$. – напряжение дифференциального сигнала, В.

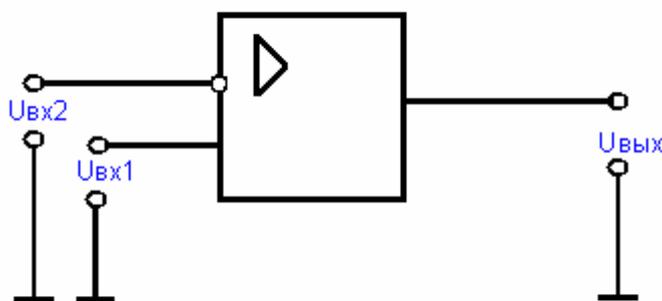


Рисунок 5.1 - Условное обозначение ОУ

ОУ предназначен для усиления небольшого разностного (дифференциального) сигнала. Синфазный сигнал схемой ОУ должен быть максимально ослаблен. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ находится в фазе (синфазно) с напряжением на входе "+" $U_{\text{вх1}}$ и противофазно напряжению на входе "-" $U_{\text{вх2}}$.

На рисунке 5.2 приведены амплитудные характеристики ОУ.

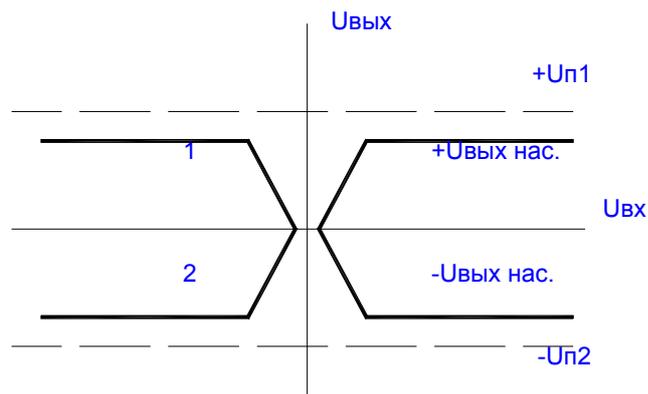


Рисунок 5.2 - Амплитудные характеристики ОУ

5.1.1 Неинвертирующий усилитель

В схеме неинвертирующего усилителя, показанного на рисунке 5.3, входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ, а на его инвертирующий вход с помощью делителя выходного напряжения, выполненного на резисторах R1, R2, подается напряжение отрицательной обратной связи ООС, которое можно определить по формуле (5.3).

$$U_{оос} = U_{вых} * R2 / (R1 + R2) \quad (5.3)$$

где $U_{вых}$ - выходное напряжение, В;

$R1, R2$ – сопротивление нагрузки, Ом.

В схеме действует последовательная ООС по напряжению.

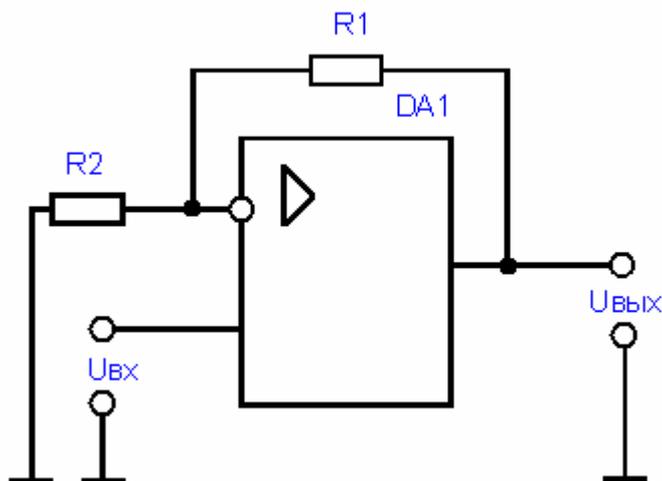


Рисунок 5.3 - Схема неинвертирующего усилителя

Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя $K_{уос}$ определяется по формуле (5.4).

$$K_{уос} = 1 + R1/R2 \quad (5.4)$$

Входное сопротивление неинвертирующего усилителя $R_{вх}$ определяется по формуле (5.5).

$$R_{вх} = R_{вх.оу} * (1 + K_{оу}/K_{уос}) \quad (5.5)$$

где $R_{вх.оу}$ – входное сопротивление ОУ, Ом;
 $K_{оу}$ – коэффициент усиления ОУ.

Выходное сопротивление неинвертирующего усилителя $R_{вых}$ определяется по формуле (5.6).

$$R_{вых} = R_{вых.оу}/(1 + K_{оу}/K_{уос}) \quad (5.6)$$

где $R_{вых.оу}$ – выходное сопротивление ОУ, Ом

При выполнении условия $R1 = 0$ или $R2 = \infty$ ОУ будет выполнять функцию практически идеального повторителя напряжения, у которого коэффициент усиления неинвертирующего усилителя $K_{уос}=1$, а $U_{вых}=U_{вх}$.

5.2 Подготовка к работе

5.2.1 Изучить принцип работы, параметры, характеристики, схемы включения и возможности применения ОУ.

5.2.2 Определить входное, выходное сопротивление и коэффициент усиления, не инвертирующего усилителей для заданных преподавателем значений параметров исследуемых схем.

5.2.3 Нарисовать схему исследуемого усилителя.

5.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

5.3 План работы

5.3.1. Собрать схему генератора синусоидальных колебаний и источника постоянного тока, представленных на рисунках 5.4 и 5.5.

5.3.2. Собрать схему неинвертирующего усилителя, представленную на рисунке 5.6.

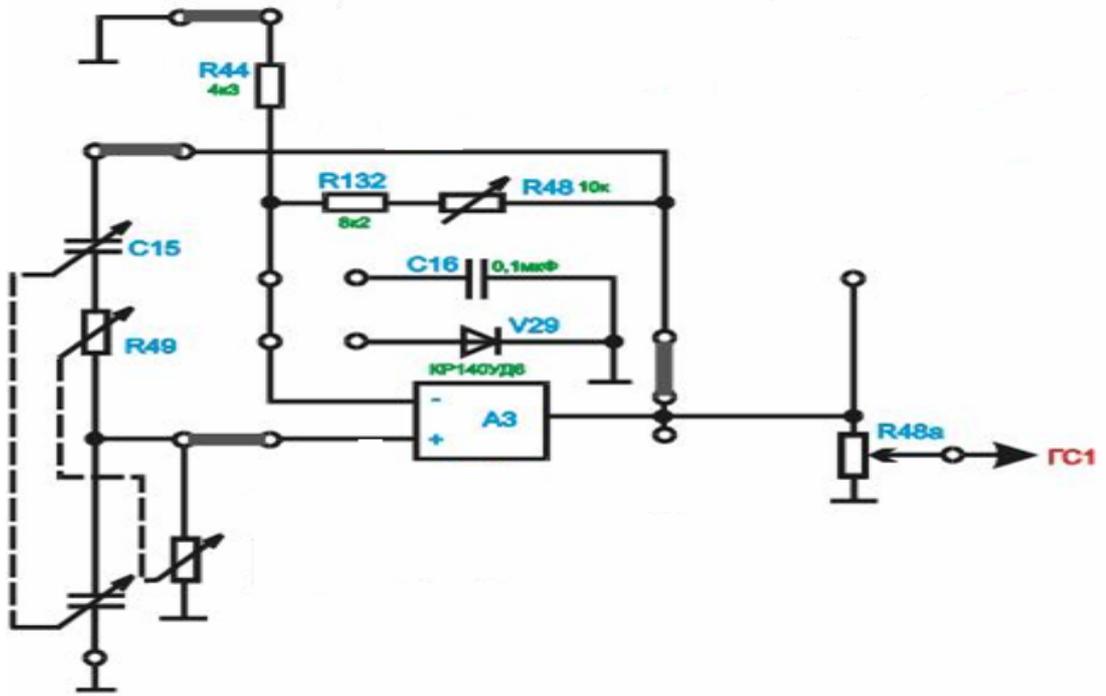


Рисунок 5.4 – Генератор синусоидальных колебаний

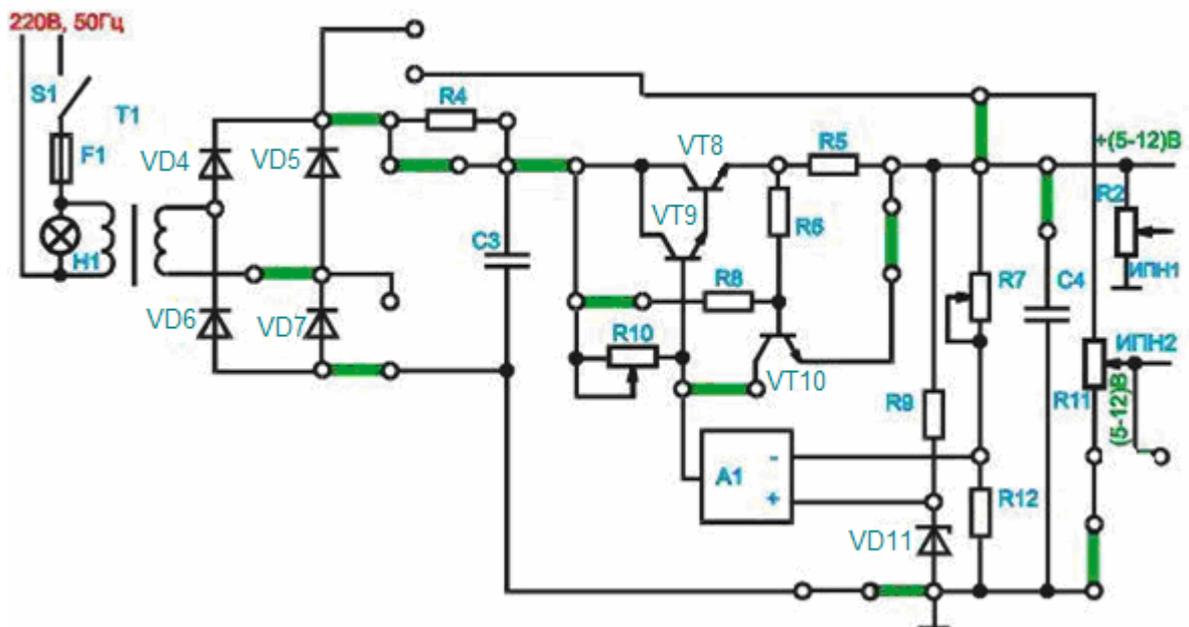


Рисунок 5.5 – Схема источников питания

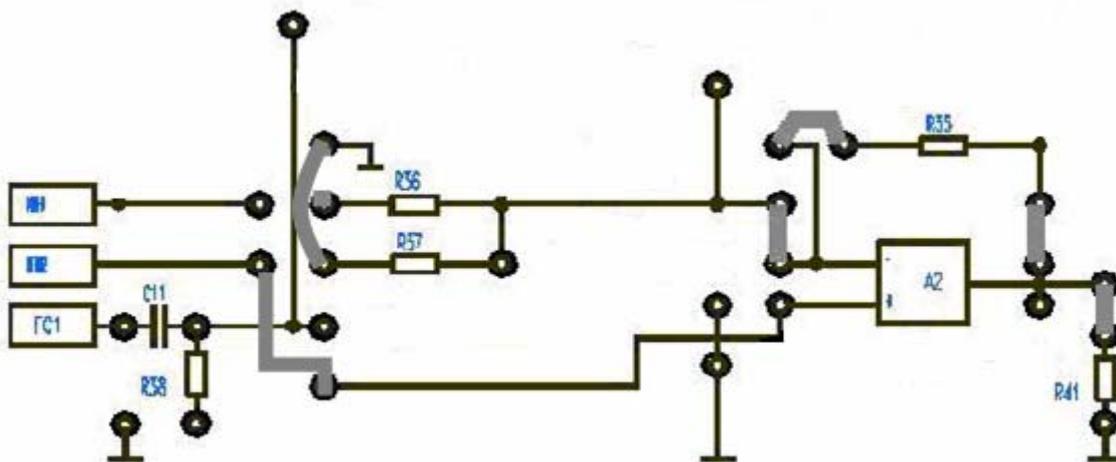


Рисунок 5.6 - Неинвертирующий усилитель на ОУ

5.3.3 Подать на вход усилителя постоянное напряжение не более 1В от источника ИПН1 (выходное напряжение ИПН1 регулируется резистором R2). Замерить с помощью цифрового вольтметра выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления схемы по формуле (5.7).

$$K'_{\text{уос}} = 1 + R_{35}/R_{37} \quad (5.7)$$

5.3.4 Снять и построить амплитудную характеристику усилителя, изменяя напряжение от источника ИПН1 от 0 до $U_{\text{вх-мах}}$ при котором усилитель входит в насыщение. Определить значение напряжение насыщения $U_{\text{вых.нас.}}$ исследуемого ОУ. Входное и выходное напряжения замеряются цифровым вольтметром. Результаты записать в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Амплитудная характеристика усилителя

$U_{\text{вх}}$ (В)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
$U_{\text{вых}}$ (В)							
$K_{\text{уос}}$							

5.3.5 Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой $f = 1\text{кГц}$ и амплитудой не более 1В от генератора ГС1. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений.

5.3.6. Подать на вход усилителя сигнал с амплитудой более $U_{\text{вх max}}$ и зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Пояснить полученный результат.

5.3.7 Снять и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя при $U_{\text{вх}} = 1\text{В}$, изменяя частоту входного сигнала от 10 Гц до 2 МГц. Результаты занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - Амплитудно-частотная характеристика усилителя

F(Гц)	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	5*10 ⁵	10 ⁶	2*10 ⁶
U _{вх} (В)								
U _{вых} (В)								
K _{и ос}								

5.3.8 Сравнить результаты практического исследования схем на ОУ с теоретическими (сравнить $K'_{иос}$ и $K_{иос}$) и сделать выводы.

5.4 Контрольные вопросы

5.4.1 Охарактеризуйте назначение, параметры, характеристики и особенности применения ОУ.

5.4.2 Сравните схемы усилителей на ОУ по основным параметрам.

5.4.3 Охарактеризуйте не инвертирующий и инвертирующий повторители напряжения и приведите их схемную реализацию.

5.4.4 Нарисуйте амплитудно-частотную характеристику ОУ и поясните ее.

5.4.5 Как осуществляется и для чего предназначена коррекция частотных характеристик ОУ?

5.4.6 Чем определяется максимальное U_{вых} ОУ?

6 Лабораторная работа №11

Тема: Линейные вычислительные схемы на основе операционного усилителя

Цель работы:

Изучение принципа действия, разработка и исследование схем суммирования и вычитания.

6.1 Теоретические сведения

Для суммирования нескольких напряжений можно применить операционный усилитель (ОУ) в инвертирующем включении. Входное напряжение через добавочные резисторы подаются на инвертирующий вход усилителя как показано на рисунке 6.1.

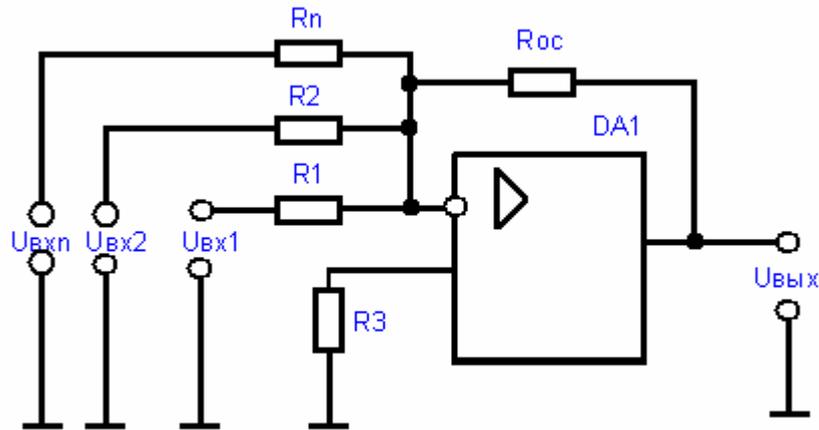


Рисунок 6.1 – Схема суммирования

Поскольку точка А является виртуальным нулем, то на основании правила узлов сумма токов для данного узла равна нулю и определяется по формуле (6.1)

$$U_{\text{вх1}}/R_1 + U_{\text{вх2}}/R_2 + \dots + U_{\text{вхn}}/R_n + U_{\text{вых}}/R_{\text{oc}} = 0, \quad (6.1)$$

где: n - порядковый номер входа;

$U_{\text{вх1}}, U_{\text{вх2}}, U_{\text{вх n}}$ – напряжение на входе, В;

$U_{\text{вых}}$ – напряжение на выходе, В;

R_1, R_2, R_n – сопротивление на входе, Ом;

R_{oc} – сопротивление на выходе, Ом.

Получим следующее соотношение для выходного напряжения схемы согласно формулам: (6.2) или (6.3).

$$U_{\text{вых}} = - R_{\text{oc}} * (U_{\text{вх1}}/R_1 + U_{\text{вх2}}/R_2 + \dots + U_{\text{вхn}}/R_n), \quad (6.2)$$

$$U_{\text{вых}} = - (U_{\text{вх1}} * R_{\text{oc}} / R_1 + U_{\text{вх2}} * R_{\text{oc}} / R_2 + \dots + U_{\text{вхn}} * R_{\text{oc}} / R_n), \quad (6.3)$$

Весовой коэффициент входа n показывает какая часть входного напряжения $U_{\text{вх}}$ входит в состав выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. и определяется по формуле (6.4)

$$K_{\text{вес n}} = R_{\text{oc}} / R_n \quad (6.4)$$

где $K_{\text{вес n}}$ - весовой коэффициент входа n.

Знак минус в формуле (6.3) указывает на инвертирование напряжения в схеме.

6.1.2 Схема вычитания

Вычитание сигналов можно свести к сложению с инвертированными вычитаемыми сигналами. Однако более часто используется схема, построенная на одном ОУ согласно рисунку 6.2.

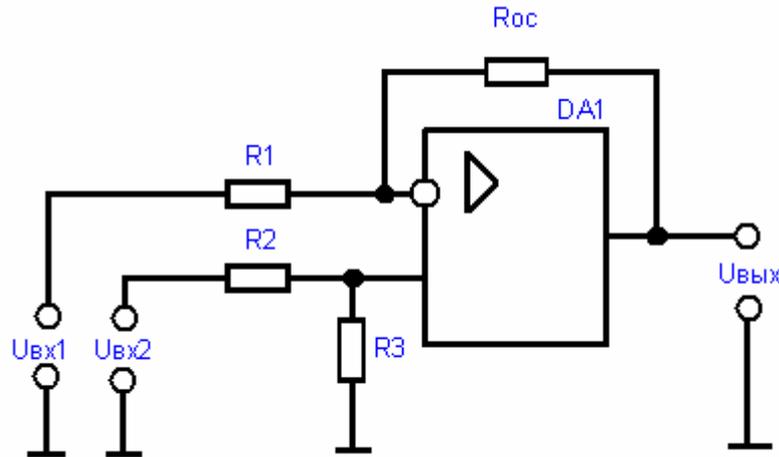


Рисунок 6.2 – Схема вычитания

Для данной схемы справедливо следующее уравнение (6.5):

$$U_{\text{ВЫХ}} = K_{u1} * U_{\text{ВХ1}} + K_{u2} * U_{\text{ВХ2}} \quad (6.5)$$

где K_{u1} , K_{u2} – весовые коэффициенты для первого и второго входов.

При $U_{\text{ВХ2}} = 0$ схема работает как инвертирующий усилитель сигнала $U_{\text{ВХ1}}$, при $K_{u1} = -R_{oc}/R1$, выходное напряжение которого $U_{\text{ВЫХ}}^1$, определяется по формуле (6.6)

$$U_{\text{ВЫХ}}^1 = K_{u1} * U_{\text{ВХ1}} = - (R_{oc}/R1) * U_{\text{ВХ1}} \quad (6.6)$$

При $U_{\text{ВХ1}} = 0$. схема представляет собой электрометрический усилитель с делителем напряжения.

Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}^2$ определяется по формуле (6.7):

$$U_{\text{ВЫХ}}^2 = (U_{\text{ВХ2}} * R3 / (R2 + R3)) * (1 + R_{oc}/R1) \quad (6.7)$$

Если сопротивления на обоих входах одинаковы, т.е. $R2 = R3$, $R1 = R_{oc}$, то по формулам (6.6) и (6.7) получим равенства: $U_{\text{ВЫХ}}^1 = -U_{\text{ВХ1}}$; $U_{\text{ВЫХ}}^2 = U_{\text{ВХ2}}$.

Выходное напряжение с учетом формул (6.5), (6.6), (6.7) будет равно согласно формуле (6.8), т.е. схема вычитает входные напряжения.

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ2}} - U_{\text{ВХ1}}, \quad (6.8)$$

6.2 Подготовка к работе

6.2.1 Изучить принцип работы, параметры, характеристики вычислительных схем на основе ОУ.

6.2.2 Изучить порядок расчета элементов схем и их качественных характеристик.

6.2.3 Нарисовать исследуемые вычислительные схемы.

6.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

6.3 План работы

6.3.1 Собрать схемы двух источников питания согласно рисунку 6.3

6.3.2 Соберите схему суммирующего усилителя согласно рисунку 6.4.

6.3.3 Задайте комбинацию входных сигналов в соответствии с таблицей 6.1 и рассчитайте выходное напряжение по формуле (6.9).

$$U'_{\text{ВЫХ}} = - R_{\text{ОС}}(U_{\text{ВХ1}}/R_{36} + U_{\text{ВХ2}}/R_{37}) \quad (6.9)$$

Проверьте расчеты, экспериментально измерив выходное напряжение цифровым вольтметром и оцените погрешности.

Результаты внесите в таблицу 6.1.

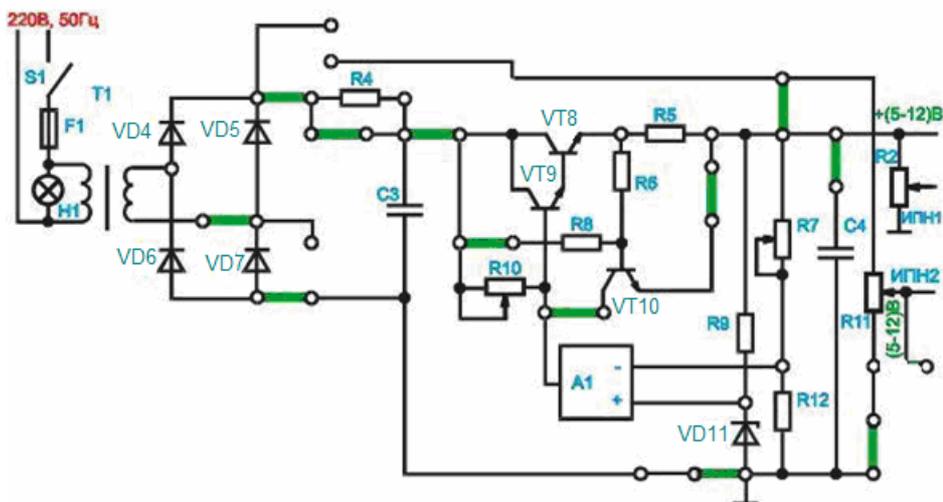


Рисунок 6.3 - Источник регулируемого стабилизированного напряжения

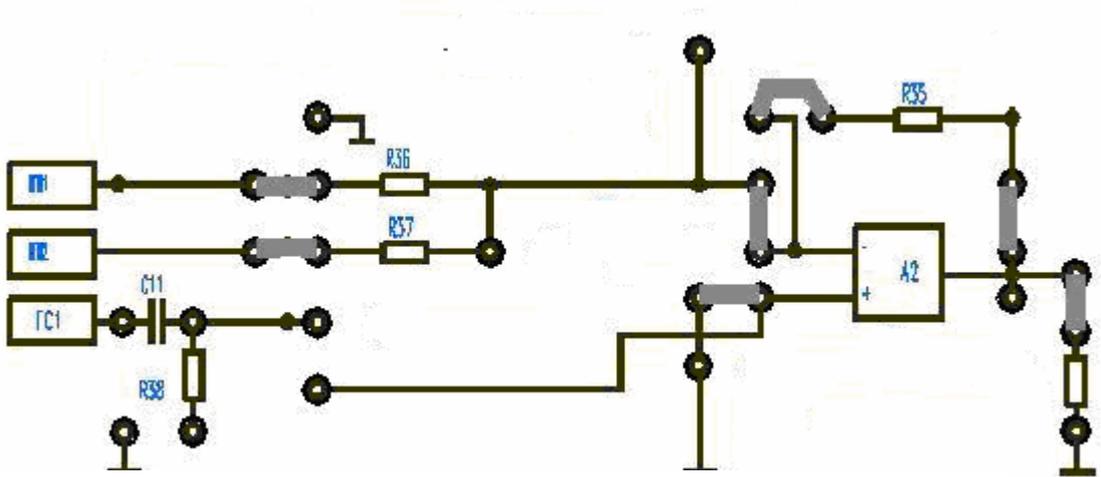


Рисунок 6.4 – Суммирующий усилитель на ОУ

Таблица 6.1 - Результаты вычислений и измерений для сумматора

Измерения			Вычисления
$U_{ВХ1}$	$U_{ВХ2}$	$U_{ВЫХ}$	$U'_{ВЫХ}$
В	В	В	В
0,5	1		

6.3.4 Соберите схему вычитающего усилителя согласно рисунку 6.5.

6.3.5 Вычислите по формуле (6.10) напряжение на выходе $U'_{ВЫХ}$

$$U'_{ВЫХ} = U_{ВХ1} * (1 + R_{OC} / R_{36}) - U_{ВХ2} * (R_{OC} / R_{36}) \quad (6.10)$$

Проверьте расчеты, экспериментально измерив, выходное напряжение цифровым вольтметром и оцените погрешности.

Результаты внесите в таблицу 6.2.

Таблица 6.2- Результаты вычислений и измерений для вычитающего усилителя

Измерения			Вычисления
$U_{ВХ1}$	$U_{ВХ2}$	$U_{ВЫХ}$	$U'_{ВЫХ}$
В	В	В	В
0,5	1		

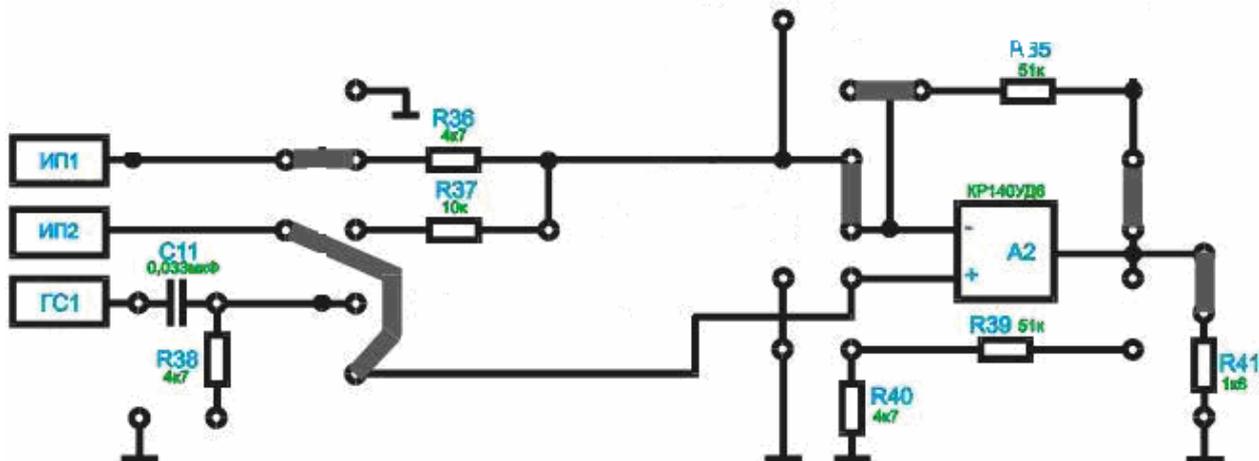


Рисунок 6.5 – Вычитающий усилитель на ОУ

6.4. Контрольные вопросы

6.4.1 Изобразите схему неинвертирующего сумматора.

6.4.2 Предложите схему вычитающего устройства на основе сумматора и инвертирующего усилителя и оцените ее погрешность.

7 Лабораторная работа №12

Тема: Исследование аналогового компаратора

Цель работы:

Изучение схем, основных параметров и характеристик аналоговых компараторов на операционных усилителях.

7.1 Теоретические сведения

7.1.1 Аналоговые компараторы

Компаратор предназначен для сравнения аналоговых напряжений, одно из которых является входным (измеряемым) $U_{вх}$, а второе - опорным (задающим) $U_{оп}$. В момент равенства мгновенных значений входных сигналов напряжение на выходе компаратора резко изменяется. Кроме функций сравнения, компаратор осуществляет формирование

выходных сигналов в виде двух дискретных уровней, один из которых соответствует логической единице, а другой - логическому нулю.

Схема простейшего компаратора для сравнения однополярных сигналов приведена на рисунке 7.1.

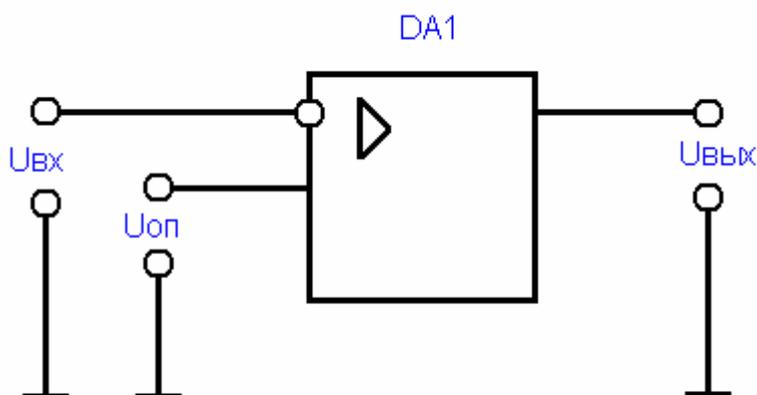


Рисунок 7.1 - Схема простейшего компаратора

В нее входит ОУ с цепями питания и коррекции. Схема не содержит обратных связей. Выходное напряжение компаратора $U_{\text{вых}}$ определяется по формуле (7.1)

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{уоу}} * (U_{\text{оп}} - U_{\text{вх}}) \quad (7.1)$$

Так как $K_{\text{уоу}}$ велик, а ООС отсутствует, то оно принимает одно из двух дискретных значений ($+U_{\text{нас}}$) или ($-U_{\text{нас}}$). При $U_{\text{оп}} > U_{\text{вх}}$, а $U_{\text{оп}}$ поступает на неинвертирующий вход ОУ, то достаточно даже незначительной разности входных сигналов ($U_{\text{оп}} - U_{\text{вх}}$), чтобы $U_{\text{вых}}$ приняло значение ($+U_{\text{нас}}$). При $U_{\text{оп}} < U_{\text{вх}}$ выходное напряжение принимает значение ($-U_{\text{нас}}$)

На рисунке 7.2. изображены характеристики $U_{\text{вых}} = f(t)$ идеального компаратора.

Рассмотренная схема обладает низкой помехоустойчивостью, так как компаратор может ложно переключиться под действием помехи с малым напряжением, наложенной на полезный сигнал. Это явление получило название "дребезга компаратора". Особенно это явление проявляется при малой скорости изменения входного сигнала. Для повышения помехоустойчивости работы в схему компаратора вводят положительную обратную связь.

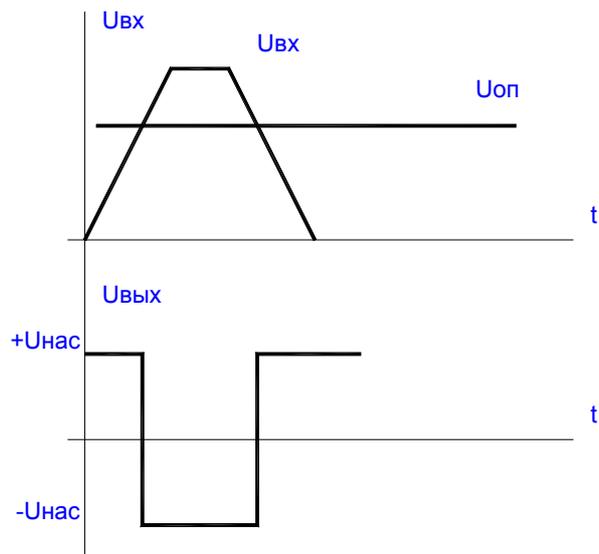


Рисунок 7.2 - Характеристики идеального компаратора

Компараторы на ОУ позволяют сравнивать сигналы с порогом чувствительности, равным десяткам микровольт, при времени переключения порядка единиц микросекунд. Специализированные интегральные компараторы имеют несколько худший порог чувствительности (порядка сотен микровольт) при меньшем времени переключения (порядка сотен наносекунд).

7.2 Подготовка к работе

7.2.1 Изучить принцип работы, параметры, характеристики схем компараторов на основе ОУ.

7.2.2 Изучить порядок расчета элементов схем и их качественных характеристик.

7.2.3 Нарисовать исследуемые схемы компараторов.

7.2.4 Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

7.3 План работы

7.3.1 Соберите схему компаратора для сравнения однополярных сигналов согласно рисунку 7.3.

7.3.2. Соберите схему источника регулируемого стабилизированного источника напряжения по рисунку 7.2

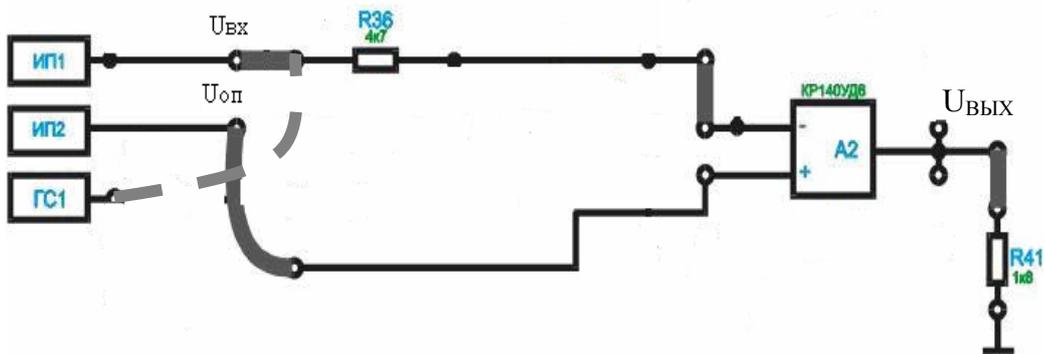


Рисунок 7.3 – Схема компаратора на ОУ

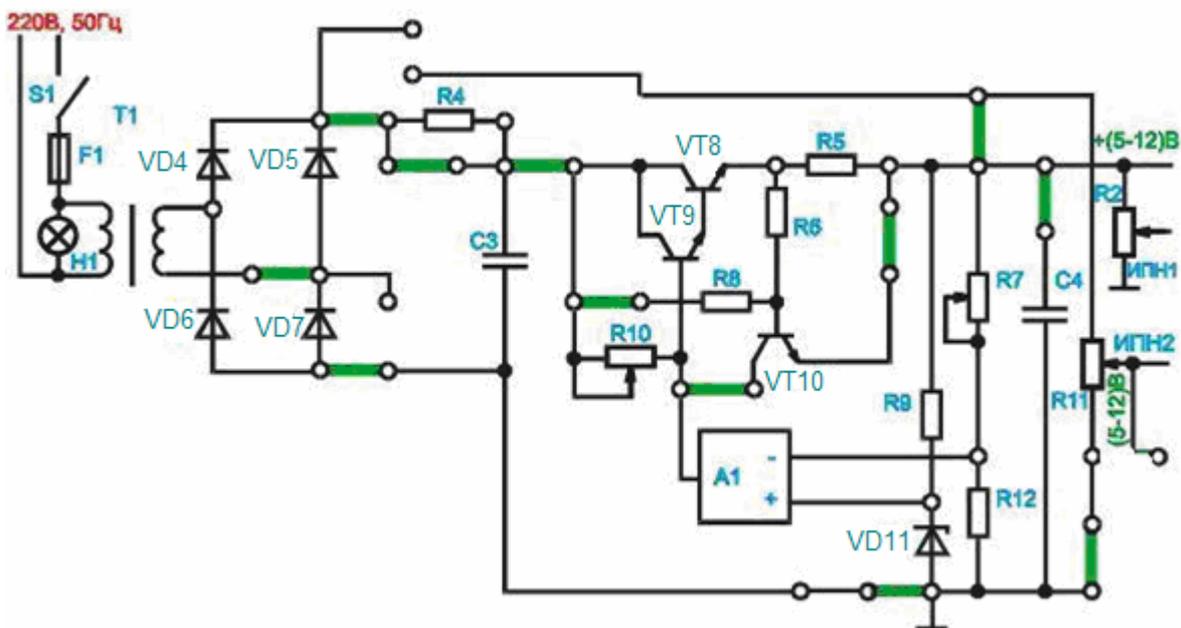


Рисунок 7.2 – Источник регулируемого стабилизированного напряжения

7.3.2 Исследовать работу устройства, изменяя уровень входного сигнала от источника питания вручную при $U_{оп} = \text{const} = 1\text{В}$. Определить порог чувствительности компаратора, используя для этого осциллограф. По осциллографу определяют момент срабатывания компаратора и определяют разность $\Delta U_{вх.min} = U_{оп} - U_{вх.сраб}$, которая и будет характеризовать порог чувствительности. $U_{вх.сраб}$ и $U_{оп}$ замеряют с помощью цифрового вольтметра.

7.3.3 Подать на вход компаратора синусоидальный сигнал соответствующей амплитуды ($U_{вх.m} > U_{оп}$) и частотой $f = 1\text{кГц}$ от генератора. Убедиться в правильности функционирования схемы по осциллографу.

7.3.4 Зарисуйте осциллограммы входных и выходных сигналов компаратора при:

- а) $U_{оп} = 0$;
- б) $U_{оп} = 1\text{В}$.

7.3.5 Сравните результаты практического исследования с теоретическими расчетами и сделайте выводы.

7.4 Контрольные вопросы

7.4.1 Назовите основные особенности построения компараторов на ОУ.

7.4.2 Почему в таких схемах, как правило, не используются ООС?

7.4.3 Как можно повысить помехоустойчивость компаратора?

7.4.4 Как определить синфазное напряжение на входах компаратора для сравнения однополярных сигналов?

7.4.5 Как осуществляется в компараторах формирование нужных значений логических уровней цифровых микросхем $U_{\text{вых}}^1$ и $U_{\text{вых}}^0$.

7.4.6 В чем отличие значений основных параметров компараторов на ОУ и в виде специализированной интегральной микросхемы ?

Список использованных источников

1. **Лачин В.И., Савёлов Н. С.** Электроника [Текст]: учебное пособие/ Лачин В.И., Савёлов Н. С.- 3-е изд., перераб. и доп. Ростов-на-Дону: «Феникс», 2002.- 567 с.
2. **Игумнов Д.В., Королев Г.В., Громов И.С.** Основы микроэлектроники [Текст]/ Игумнов Д.В., Королев Г.В., Громов И.С. - М.: ВИСШАЯ ШКОЛА, 1991. - 254с.
3. **Гальперин М.В.** Электронная техника [Текст]: учебник/ Гальперин М.В. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2003. - 304 с.