

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические указания

по организации практической работы обучающихся по дисциплине
"Информационно-измерительная техника и электроника" для студентов
направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность/профиль Электроснабжение

Ставрополь
2026

Рецензенты: к-т техн. наук Гринь А.И.,
к-т техн. наук Шепеть И.П.

Данилов М.И., Романенко И.Г. **Информационно-измерительная техника и электроника:** учебно-методическое пособие к практическим занятиям. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2026. – 102 с.

В настоящем учебно-методическом пособии приведены теоретические сведения и разработки для выполнения практических задач по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника». Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и программой дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника» и предназначено для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника профилей «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение». Учебно-методическое пособие дает возможность студентам приобрести навыки в решении практических задач.

Содержание

Практическое занятие 1	8
Тема: Определение показаний магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического амперметров в линейных цепях несинусоидального тока.....	8
Практическое занятие 2	14
Тема: Расчет однополупериодного выпрямителя	14
Практическое занятие 3	19
Тема: Расчет двухполупериодного выпрямителя	19
Практическое занятие 4	24
Тема: Определение показаний цифровых амперметров и амперметров с выпрямительной схемой на входе в цепях несинусоидального тока	24
Практическое занятие 5	28
Тема: Расчет делителей напряжения и их использование при измерениях	28
Практическое занятие 6	35
Тема: Определение измерительных шунтов и добавочных сопротивлений для расширения диапазона измерений.....	35
Практическое занятие 7	42
Тема: Определение показаний вольтметров с преобразователями, реагирующими на различные параметры входного напряжения в цепях несинусоидального тока	42
Практическое занятие 8	49
Тема: Определение показаний магнитоэлектрических, электромагнитных и электродинамических вольтметров в цепях несинусоидального тока	49
Практическое занятие 9	51
Тема: Определение показаний электродинамических ваттметров в цепях несинусоидального тока	51
Практическое занятие 10	55
Тема: Измерение сопротивления, емкости и индуктивности	55

Практическое занятие 11	60
Тема: Измерения осциллографом и определение параметров сигнала на их основе.....	60
Практическое занятие 12	65
Тема: Расчет положения рабочей точки усилителя переменного напряжения	65
Практическое занятие 13	71
Тема: Расчет преобразователей на базе операционных усилителей.....	71
Практическое занятие 14	74
Тема: Основы алгебры логики и примеры ее использования при расчетах в энергосистемах	74
Практическое занятие 15	79
Тема: Позиционные системы исчисления	79
Практическое занятие 16	82
Тема: Режимы работы триггеров	82
Практическое занятие 17	88
Тема: Цифровые устройства: дешифраторы, регистры, счетчики.....	88
Практическое занятие 18	92
Тема: АЦП, ЦАП, микропроцессоры и микро ЭВМ	92
Список рекомендуемой литературы	101

Предисловие

Дисциплина относится к профессиональному циклу ООП ВО и предполагает знание студентами следующих дисциплин: «Математика», «Физика», «Информатика», «Теоретические основы электротехники». В результате изучения дисциплины у студента формируются указанные выше компетенции, приобретаются знания основ аналоговой и цифровой электроники, базовых принципов построения электронных схем, устройства и назначения информационно-измерительных приборов и систем, а также навыки использования информационно-измерительной техники в системах электроснабжения и методов расчета простых аналоговых и цифровых электронных схем.

Практическое занятие 1

Тема: Определение показаний магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического амперметров в линейных цепях несинусоидального тока

1. Теоретическая часть

По типу отсчетного механизма все измерительные приборы (ИП) подразделяют на две группы: аналоговые (АИП) и цифровые (ЦИП). В АИП показания являются непрерывной функцией изменения входной измеряемой величины. Электромеханические ИП основаны на преобразовании электрической энергии входного сигнала в механическую энергию, чаще всего, угловое перемещение подвижного отсчетного устройства. Эти приборы для своей работы забирают некоторую энергию от измеряемой цепи. Включение таких приборов в исследуемую электрическую цепь изменяет режим ее работы и, как результат, обуславливает появление погрешности взаимодействия прибора в измеряемой цепи, т. е. появляется методическая погрешность измерения.

В ЦИП измеряемая или пропорциональная ей величина преобразуется в числовой эквивалент, который выводится на цифровой индикатор (дисплей).

Основные понятия об электромеханических измерительных приборах (ЭМИП)

ЭМИП относятся к аналоговым ИП. Функционирование ЭМИП основано на использовании измерительных механизмов (ИМ), в которых реализуются различные физические принципы. ИМ обеспечивает преобразование значения измеряемой величины в пропорциональное изменение показания отсчетного устройства, например, стрелки прибора. В этих ИМ вызывающему поворот стрелки моменту вращения, функционально связанному с измеряемой

величиной (чаще всего с током в измерительной катушке), противодействует момент сопротивления закручивающейся пружины. Необходимо иметь в виду, что имеются ИМ типа логометров. В логометрах эта пружина отсутствует, а стрелка поворачивается под воздействием двух токов, каждый из которых протекает по своей рамке, причем одна рамка создает момент вращения в направлении отсчета измеряемой величины, а другая рамка создает противодействующий момент. Стрелка останавливается в определенном месте шкалы прибора, когда эти два момента становятся равными. У логометров с противодействующей пружиной имеется корректор, позволяющий устанавливать стрелку на обесточенном приборе в нулевое положение.

В зависимости от используемого в приборе ИМ различают следующие ЭМИП:

- а) магнитоэлектрические;
- б) выпрямительные;
- в) термоэлектрические;
- г) электромагнитные;
- д) электродинамические;
- е) электростатические;
- ж) индукционные.

В зависимости от принципа исполнения ИМ, схемы его использования в ИП реализуются приборы для измерения тока, напряжения, мощности, электрической энергии и т. д.

Особенности работы электроизмерительных приборов в цепях постоянного, синусоидального и несинусоидального напряжений (токов)

1. Общие сведения по измерению параметров электрических сигналов

В электрических цепях форма измеряемых электрических величин может существенно отличаться от классических форм функций времени: а) от формы неизменного во времени (постоянного) тока (напряжения); в) от формы синусоидального тока (напряжения). С несинусоидальными электрическими сигналами часто имеют дело при производстве измерений в

преобразовательной и электронной технике, при переходных процессах, в электрических цепях переменного тока, в которых имеется хотя бы один элемент с нелинейной вольтамперной характеристикой. Поэтому имеет принципиальное значение выбор необходимой измерительной аппаратуры, четкое представление их принципа работы и с какими параметрами измеряемых величин следует интерпретировать их показания. При измерениях в цепях с несинусоидальными электрическими величинами измерение одной и той же величины приборами разных систем может дать несовпадающие результаты. Поэтому в некоторых случаях, когда указываются режимы работы электрической цепи, то указываются типы приборов, с помощью которых эти измерения выполнены.

2. Особенности измерения в цепях постоянного тока

Напряжение постоянного тока от долей милливольт до сотен вольт можно измерять аналоговыми стрелочными вольтметрами с магнитоэлектрическим измерительным механизмом ИМ_(мэ). Они имеют достаточно высокую точность (класс точности до 0,05). Входное сопротивление магнитоэлектрического вольтметра, которое определяется значением добавочного сопротивления, включаемого последовательно с измерительной рамкой прибора, не превышает десятков килоом. Это ограничивает их применение при измерениях в высокоомных цепях, например, в электронных, так как приводит к появлению методической погрешности.

Для измерения напряжения постоянного тока в высокоомных цепях целесообразно использовать электронные аналоговые приборы, в которых в качестве отсчетного устройства используется ИМ_(мэ), однако широкое распространение получило использование, например, цифровых мультиметров, переведенных в режим измерений постоянного напряжения (режим DCV).

Для измерения больших постоянных токов может также использоваться ИМ_(мэ), однако его подключают параллельно либо встроенному в прибор малоомному токовому шунту, либо внешнему шунту. В последнем случае шунт

имеет метрологические характеристики (класс точности), а падение напряжения на нем при протекании номинального тока составляет 75 мV.

3. Особенности измерения в цепях синусоидального и несинусоидального (тока) напряжения

Измерение синусоидальных напряжений (токов) может выполняться аналоговыми приборами, в которых используются измерительные механизмы следующих систем: ИМ_(МЭ) с выпрямителем, например, типа тестер; ИМ_(ТЭ); ИМ_(ЭМ); аналоговыми электронными вольтметрами со стрелочным указателем на основе ИМ_(МЭ).

В большинстве случаев, если нет специальных указаний, вывод информации о величине тока (напряжения) в приборах осуществляется в действующих значениях синусоидально изменяющихся величин.

При этом необходимо иметь в виду следующее (далее формулы приведены применительно к измерению тока):

1) ИМ_(ЭМ) с выпрямителем реагирует:

– либо при однополупериодном выпрямлении на среднее значение переменного тока за полпериода

$$I_{\text{CP}} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i(t) dt. \quad (1.1)$$

– либо после двухполупериодного выпрямления на среднее значение переменного тока по модулю

$$I_{\text{CP}} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt. \quad (1.2)$$

При этом необходимо учесть, что для несинусоидального тока его среднее значение (1.2) зависит от фазового сдвига гармонических составляющих разложения функции $i(t)$.

Для синусоидального тока его действующее и среднее значения связаны коэффициентом формы

$$K_{\text{Ф}} = I / I_{\text{CP}}. \quad (1.3)$$

2) ИМ_(ЭМ) и ИМ_(ЭД) реагирует на действующее (среднеквадратичное) значение переменного, при этом необходимо иметь в виду:

– при измерении синусоидального тока $i(t)$ показание прибора определяется действующим значением синусоидального тока, определяемого выражением

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}, \quad (1.4)$$

которое связано с амплитудой I_m синусоидального тока $i(t)$ выражением

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.71 \cdot I_m. \quad (1.5)$$

– при измерении несинусоидального тока $i(t)$ показание прибора определяется действующим значением I несинусоидального тока согласно выражению

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}, \quad (1.6)$$

где постоянная составляющая I_0 разложения несинусоидального тока определяется выражением

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt, \quad (1.7)$$

где $I_1, I_2, \dots$ – действующие значения первой, второй и т.д. гармоник несинусоидального тока $i(t)$.

При измерении тока магнитоэлектрическим амперметром следует учитывать, что приборы этой измерительной системы позволяют определять только постоянную составляющую несинусоидального тока $i(t)$ (1.7).

Это справедливо, если не указано, что на входе этого прибора имеется выпрямительная схема. Определение показаний приборов с выпрямительной схемой на входе будет рассмотрен в практическом занятии 4.

2. Задачи

1. Определить показания магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического амперметров, включенных последовательно в

электрическую цепь, если ток в цепи изменяется по закону $i(t) = 3 + 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

2. Определить показания электродинамического и электромагнитного амперметров, включенных в последовательную RC-цепь, если напряжение на входе цепи изменяется по закону $u(t) = (100 + 200 \cdot \sin(\omega \cdot t))$ В. Параметры цепи: $R = 10$ Ом, $X_C = 10$ Ом.

3. Определить показания электродинамического и электромагнитного амперметров, включенных в последовательную RL-цепь, если напряжение на входе цепи изменяется по закону $u(t) = (25 + 50 \cdot \sin(\omega \cdot t))$ В. Параметры цепи: $R = 10$ Ом, $X_L = 10$ Ом.

4. Определить показания магнитоэлектрического амперметра ($R_A = 0$) (рисунок 1.1), если напряжение на входе цепи изменяется по закону $u(t) = (100 + 21 \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + 30^\circ))$ В. Параметры цепи: $R = 1000$ Ом. Объяснить назначение конденсатора, включённого параллельно амперметру. (0.1 А)

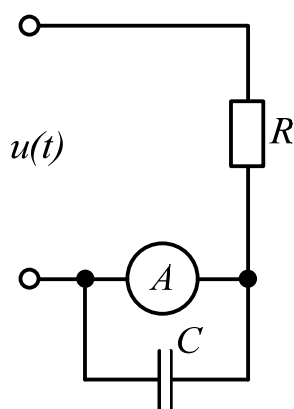


Рисунок 1.1

Вопросы к практическому занятию

1. Какое значение определяет магнитоэлектрический амперметр в цепи несинусоидального тока?
2. Какое значение определяет электромагнитный амперметр в цепи несинусоидального тока?
3. Какое значение определяет электродинамический амперметр в цепи несинусоидального тока?

4. Можно ли использовать магнитоэлектрические, электромагнитные и электродинамические амперметры в цепях постоянного тока?
5. Какими амперметрами можно проводить измерения в цепях синусоидального тока?
6. Почему при использовании магнитоэлектрических приборов необходимо соблюдать правильную полярность их подключения?
7. Почему нельзя подключать амперметр непосредственно к источнику напряжения

Практическое занятие 2

Тема: Расчет однополупериодного выпрямителя

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4.

1. Теоретическая часть

Однополупериодный выпрямитель. Однополупериодный выпрямитель (рисунок 2.1 а) состоит из трансформатора, ко вторичной обмотке которого последовательно присоединены диод VD и нагрузочный резистор R_H .

Для упрощения анализа работы выпрямителей трансформатор и диод считают идеальными, т.е. принимают следующие допущения: у трансформатора активное сопротивление обмоток, а у диода прямое сопротивление равны нулю; обратное сопротивление диода равно бесконечности; в трансформаторе отсутствуют потоки рассеяния. При таких допущениях с подключением первичной обмотки трансформатора к сети переменного синусоидального напряжения во вторичной обмотке будет наводиться синусоидальная ЭДС (рисунок 2.1 б).

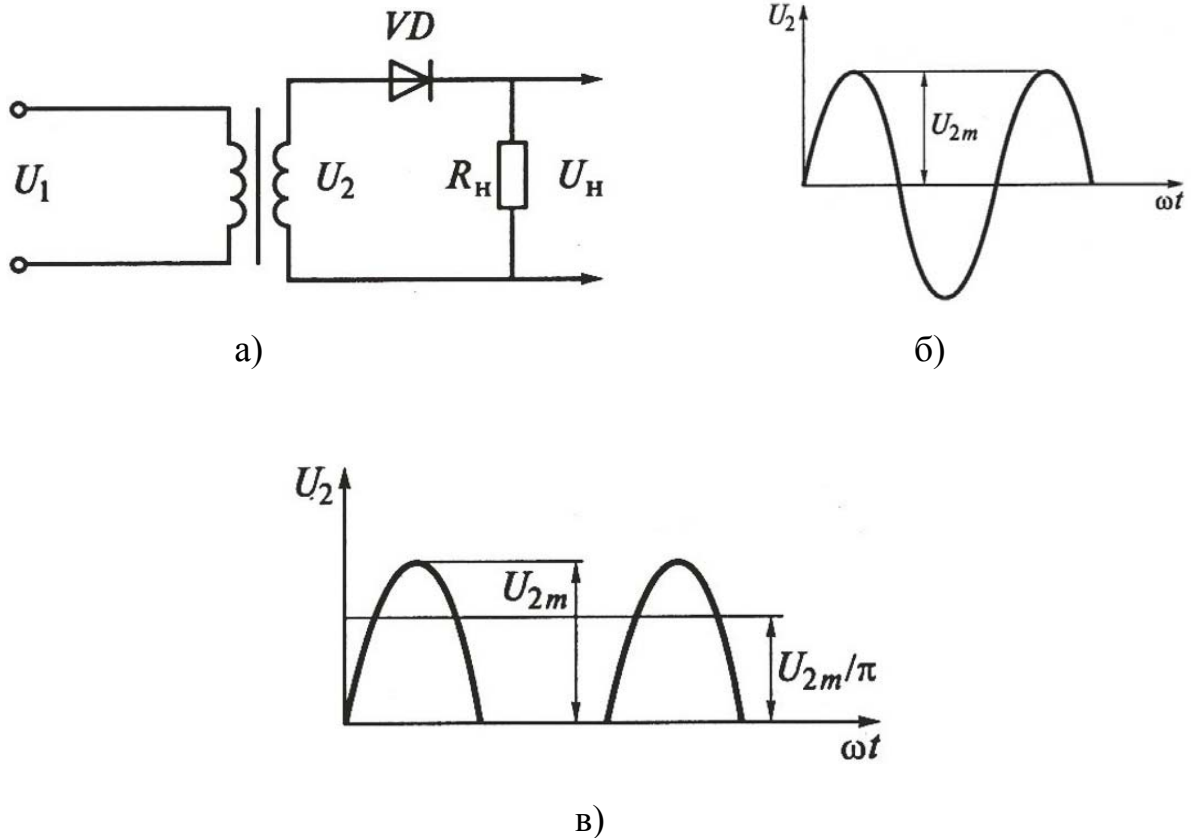


Рисунок 2.1

Работу выпрямителя рассматривают с помощью временных диаграмм (рисунок 2.1 б, в). В первый полупериод, т.е. в интервале времени $0 - T/2$, диод открыт и в нем появляется ток i_{VD} , а в нагрузочном резисторе – ток i_H , причем $i_{VD} = i_H$. Падение напряжения на диоде $u_{VD} = 0$. В интервале времени $T/2 - T$ диод закрыт, ток $i_{VD} = i_H = 0$, а к запертому диоду прикладывается обратное напряжение U_{2m} т.е. $u_{VD} = U_{2m}$, тогда $U_{обр.макс} = U_{2m} = U_2 \cdot \sqrt{2}$, где U_2 – действующее значение напряжения во вторичной обмотке.

Основными электрическими параметрами однополупериодного выпрямителя являются:

- средние значения выпрямленного тока и напряжения I_{Hcp} и U_{Hcp} ;
- мощность нагрузочного устройства $P_{Hcp} = U_{Hcp} \cdot I_{Hcp}$;
- амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения $U_{оснт}$;

– коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения $p = \frac{U_{\text{осн } m}}{U_{\text{H ср}}}$;

– коэффициент полезного действия $\eta = \frac{P_{\text{H ср}}}{P_{\text{H ср}} + P_{VD} + P_{\text{тр}}}$,

где $P_{\text{тр}}$ – мощность потерь в трансформаторе, а P_{VD} – мощность потерь в диодах.

В однополупериодном выпрямителе (рис. 2.1):

$$U_{\text{H ср}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin(\omega \cdot t) d\omega t = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0.45 \cdot U_2, \quad (2.1)$$

$$I_{\text{H ср}} = \frac{U_{\text{H ср}}}{R_{\text{H}}}.$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{H}}} = \frac{\pi \cdot U_{\text{H ср}}}{\sqrt{2} \cdot R_{\text{H}}} \approx 2.22 \cdot I_{\text{H ср}}. \quad (2.3)$$

Коэффициент пульсаций можно получить из разложения в ряд Фурье выходного напряжения однополупериодного выпрямителя:

$$u_{\text{H}} = \frac{U_{\text{H м}}}{\pi} \cdot \left(1 + \frac{\pi}{2} \cdot \cos(\omega \cdot t) + \frac{2}{3} \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) - \frac{2}{15} \cdot \cos(4 \cdot \omega \cdot t) + \dots \right),$$

$$p = \frac{U_{\text{осн } m}}{U_{\text{H ср}}} = \frac{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_{\text{H м}}}{\pi}}{\frac{U_{\text{H м}}}{\pi}} = \frac{\pi}{2} \approx 1.57.$$

Основным преимуществом однополупериодного выпрямителя является его простота. Недостатками этого выпрямителя являются: большой коэффициент пульсаций, малые значения выпрямленного тока и напряжения. Вместе с тем, следует обратить внимание еще на один недостаток однополупериодного выпрямителя. Ток имеет постоянную составляющую, которая вызывает подмагничивание сердечника трансформатора, из-за чего уменьшается магнитная проницаемость сердечника, что в свою очередь снижает

индуктивность обмоток трансформатора. Это приводит к росту тока холостого хода трансформатора, а следовательно, к снижению КПД всего выпрямителя.

Диод в выпрямителе является основным элементом, поэтому диоды должны соответствовать основным электрическим параметрам выпрямителей.

При выборе типа диодов необходимо знать:

– среднее значение прямого тока $I_{\text{пр ср}} = I_{\text{Н ср}}$;

– максимальное обратное напряжение на диоде $U_{\text{обр.макс}}$. Для надежной работы диодов в выпрямителях требуется, чтобы каталожные параметры превышали рассчитанные значения примерно на 30%. Отметим, что при выпрямлении напряжения, амплитудное значение которого превышает $U_{\text{обр.макс}}$ для одного диода, можно включать последовательно два или несколько однотипных диодов. Однако эти диоды должны быть зашунтированы сопротивлением, примерно равным $R_{\text{ш}} \approx (0.1..0.2) \cdot R_{\text{обр.}}$.

Промышленность выпускает полупроводниковые диодные столбы (например, КЦ 106, КЦ 201). Выпрямительный столб – это группа последовательно соединенных диодов, помещенных в общий корпус. Такие столбы выдерживают напряжения $U_{\text{обр.макс}}$ свыше 15 кВ.

2. Задачи

1. В однополупериодном выпрямителе напряжение на вторичной обмотке трансформатора $U_2 = 20$ В, частота сети $f = 50$ Гц. Сопротивление диода в прямом направлении $R_{\text{пр}} = 0$. Для нагрузочного резистора $R_{\text{Н}}$ сопротивлением 200 Ом определить средние значения выпрямленного напряжения $U_{\text{Н ср}}$ и тока $I_{\text{Н ср}}$ на нагрузочном резисторе, среднее значение тока в диоде $I_{\text{пр ср}}$, максимальное обратное напряжение диода $U_{\text{обр.макс}}$. Выбрать параметры необходимого диода.

2. В схеме однополупериодного выпрямителя задан диод КД208А с параметрами $I_{\text{пр ср макс}} = 1,5$ А и $U_{\text{обр.макс}} = 100$ В. Определить максимальное

напряжение U_{2m} вторичной обмотки трансформатора и мощность, выделяемую в нагрузку $R_H = 200 \text{ Ом}$.

3. Определить среднее и максимальное значение прямого тока, а также максимальное обратное напряжение полупроводникового диода в однополупериодном выпрямителе (рисунок 2.1 а) и коэффициент трансформации трансформатора, если на нагрузочном резисторе сопротивлением $R_H = 3 \text{ кОм}$ среднее значение выпрямленного напряжения $U_{Hcp} = 180 \text{ В}$. Напряжение сети $U_1 = 220 \text{ В}$. Сопротивление диода в прямом направлении и обратный ток считать равными нулю.

4. Определить амплитуду тока в нагрузочном резисторе сопротивлением $R_H = 2,5 \text{ кОм}$ однополупериодного выпрямителя (рисунок 2.1 а), если напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_1 = 20 \text{ В}$, коэффициент трансформации $n = 0,4$. Сопротивление диода в прямом направлении считать равными нулю.

5. Для питания постоянным током потребителя мощностью 250 Вт при напряжении $U_d = 100 \text{ В}$ необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, подобрав диоды из справочника. Указать допустимые параметры для выбранного диода.

Вопросы к практическому занятию

1. Из чего состоит однополупериодный выпрямитель?
2. Приведите соотношения между входным напряжением выпрямителя и его средним значением.
3. Пояснить связь между действующим значением тока выпрямителя и его постоянной составляющей.
4. Что называется коэффициентом пульсаций выпрямленного напряжения?
5. Чему равен коэффициент пульсаций для однополупериодного выпрямителя?

6. Какое условие используется при выборе диодов после расчета однополупериодного выпрямителя?
7. Каковы различия между входным и выходным сигналами однополупериодного выпрямителя?
8. Поясните принцип действия однополупериодного выпрямителя.

Практическое занятие 3

Тема: Расчет двухполупериодного выпрямителя

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

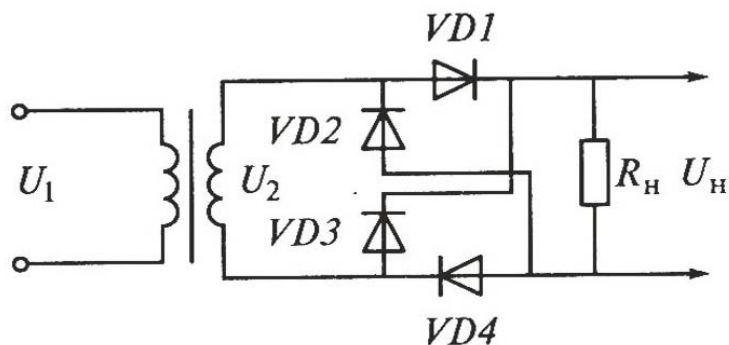
1. Теоретическая часть

Двухполупериодный выпрямитель. Двухполупериодные выпрямители бывают двух типов: мостовыми и с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора. Эти выпрямители являются более мощными, чем однополупериодные, так как с их помощью нагрузочные устройства используют для своего питания оба полупериода напряжения сети. Они свободны от недостатков, свойственных однополупериодным выпрямителям. Однако это достигается за счет усложнения схем двухполупериодных выпрямителей.

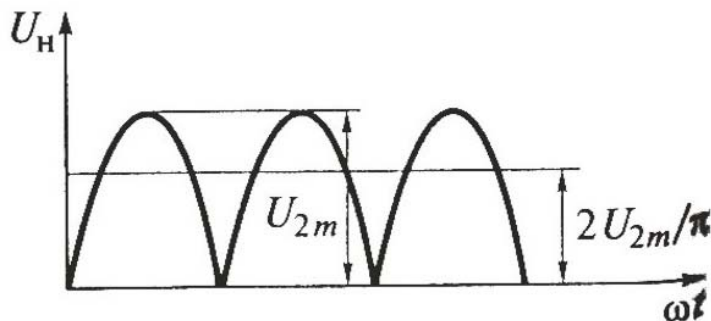
Наибольшее распространение получил *двухполупериодный мостовой выпрямитель* (рисунок 3.1а). Он состоит из трансформатора и четырех диодов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора по мостовой схеме. К одной из диагоналей моста подсоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой – нагрузочный резистор R_H . Каждая пара диодов $VD1, VD4$ и $VD2, VD3$ работает поочередно.

Диоды $VD1$, $VD4$ открыты в первый полупериод напряжения вторичной обмотки трансформатора u_2 (интервал времени $0 - T/2$). При этом в нагрузочном резисторе R_H появляется ток i_H . В этом интервале диоды $VD2$, $VD3$ закрыты.

В следующий полупериод напряжения вторичной обмотки (интервал времени $T/2 - T$) диоды $VD2$, $VD3$ открыты, а диоды $VD1$, $VD4$ закрыты. В оба полупериода через нагрузочный резистор R_H протекает ток, имеющий одно и то же направление.



а)



б)

Рисунок 3.1

Анализ временных диаграмм позволяет получить выражения для средних значений выпрямленных напряжений и токов:

$$U_{Hcp} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin(\omega \cdot t) d\omega t = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0,9 \cdot U_2, \quad (3.1)$$

$$I_{Hcp} = \frac{U_{Hcp}}{R_H}.$$

Средний ток каждого диода:

$$I_{VD\text{ ср}} = \frac{I_{H\text{ ср}}}{2}.$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_H} = \frac{\pi \cdot U_{H\text{ ср}}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R_H} \approx 1,11 \cdot I_{H\text{ ср}}. \quad (3.2)$$

Максимальное обратное напряжение на диодах

$$U_{\text{обр. макс}} = U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \frac{\pi \cdot U_{H\text{ ср}}}{2} \approx 1,57 \cdot U_{H\text{ ср}}.$$

Максимальный прямой ток диода

$$I_{VD\text{ макс}} = \frac{U_{2m}}{R_H} = \frac{\pi \cdot U_{H\text{ ср}}}{2 \cdot R_H} \approx \frac{1,57 \cdot U_{H\text{ ср}}}{R_H}.$$

Коэффициент пульсаций можно получить из разложения в ряд Фурье выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя:

$$u_H = \frac{2 \cdot U_{Hm}}{\pi} \cdot \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) - \frac{2}{15} \cdot \cos(4 \cdot \omega \cdot t) + \dots \right),$$

$$p = \frac{U_{\text{осн } m}}{U_{H\text{ ср}}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot U_{Hm}}{\pi}}{\frac{2 \cdot U_{Hm}}{\pi}} = \frac{2}{3} \approx 0,67.$$

Частота основной гармоники $2 \cdot \omega$.

Анализ приведенных соотношений показывает, что при одинаковых значениях параметров трансформаторов и сопротивления R_H мостовой выпрямитель по сравнению с однополупериодным имеет следующие преимущества: средние значения выпрямленного тока $I_{H\text{ ср}}$ и напряжения $U_{H\text{ ср}}$, в 2 раза больше, а пульсации значительно меньше.

В то же время максимальное обратное напряжение на каждом из закрытых диодов, которые по отношению к зажимам вторичной обмотки включены параллельно, имеет такое же значение, что и в однополупериодном выпрямителе, т.е. $U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2$. Все эти преимущества достигнуты за счет

увеличения числа диодов в 4 раза, что является основным недостатком мостового выпрямителя.

Промышленность выпускает полупроводниковые выпрямительные блоки, в которых диоды соединены по мостовой схеме.

2. Задачи

1. Какое напряжение покажет вольтметр магнитоэлектрической системы (рисунок 3.2), если $U_{2m} = 282$ В.

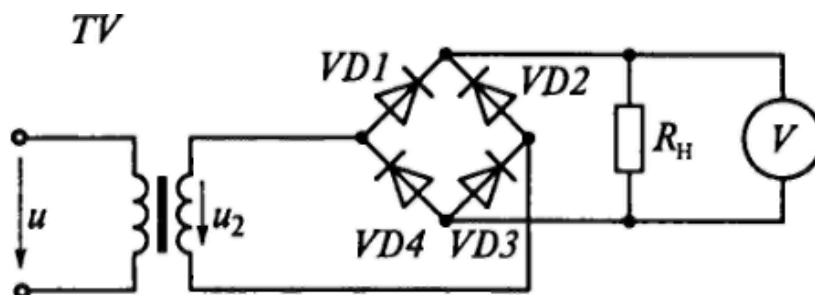


Рисунок 3.2

2. В двухполупериодном выпрямителе напряжение на вторичной обмотке трансформатора $U_2 = 100$ В, сопротивление нагрузки $R_H = 130$ Ом. Определить I_{Hcp} и U_{Hcp} , а также параметры необходимых диодов.

3. Определить ток I_{Hcp} нагрузочного резистора $R_H = 120$ Ом мостового выпрямителя, если напряжение вторичной обмотки $U_2 = 50$ В, а прямое сопротивление каждого полупроводникового диода $R_{пр} = 10$ Ом.

4. Для схемы двухполупериодного выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром определить коэффициент сглаживания, если известно, что амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{2m} = 300$ В, выпрямленный ток, проходящий через нагрузку равен 200 мА, частота сети $f = 50$ Гц, индуктивность дросселя $L_\Phi = 10$ Гн.

5. Для мостовой схемы выпрямителя (диоды считать идеальными) известно сопротивление нагрузки $R_H = 600$ Ом и ток через этот резистор

$I_H = 300$ мА. Напряжение $U_1 = 220$ В. Требуется выбрать диоды и рассчитать коэффициент трансформации.

6. Для питания постоянным током потребителя мощностью 800 Вт при напряжении $U_d = 100$ В необходимо собрать схему двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора, подобрав диоды из справочника. Указать допустимые параметры выбранных диодов.

Вопросы к практическому занятию

1. Из чего состоит двухполупериодный выпрямитель?
2. Приведите соотношения между входным напряжением выпрямителя и средним его значением.
3. Поясните связь между действующим значением тока выпрямителя и его постоянной составляющей.
4. Чему равен коэффициент пульсаций для двухполупериодного выпрямителя?
5. Как определяется частота пульсаций для двухполупериодного выпрямителя?
6. Перечислите достоинства двухполупериодного выпрямителя в сравнении с однополупериодным?
7. Как отразится на работе мостового выпрямителя обрыв одного из диодов?
8. Каковы различия между входным и выходным сигналами однополупериодного выпрямителя?
9. Поясните принцип действия однополупериодного выпрямителя.

Практическое занятие 4

Тема: Определение показаний цифровых амперметров и амперметров с выпрямительной схемой на входе в цепях несинусоидального тока

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

В цифровых измерительных приборах (ЦИП) измеряемая или пропорциональная ей величина преобразуется в числовой эквивалент, который выводится на цифровой индикатор (дисплей). Современные ЦИП построены с использованием или микроконтроллера, или микропроцессора, что существенно повышает производительность и точность ЦИП. Эти приборы могут иметь дополнительные функции для обработки результатов измерения, автоматического выбора пределов измерения, распознавания полярности постоянного напряжения и т.д., а некоторые из них могут быть задействованными в автоматизированных измерительных установках и системах.

В практике электрических измерений все шире используются цифровые методы и средства преобразования, хранения, обработки, передачи и представления информации. Цифровые приборы вытесняют аналоговые средства при измерении самых различных физических величин. Среди цифровых средств измерений можно выделить две большие группы: измерительные приборы и измерительные преобразователи. К первой группе обычно относят автономные ИП, предназначенные в основном для статических однократных измерений, обычно выполняемых вручную оператором (пользователем). Ко второй группе относят цифровые преобразователи, используемые в составе информационно-измерительных систем, измерительно-вычислительных систем и т. д. Преобразователи обладают высоким быстродействием.

Для измерения напряжения *постоянного тока* можно использовать цифровые мультиметры, переведенные в режим измерений постоянного напряжения (режим DCV).

Для измерения в цепях *синусоидального и несинусоидального (тока)* напряжения широко используются цифровые мультиметры, в которых предусмотрен режим измерения переменного напряжения (ACV).

Показания ЦМ в режиме измерения синусоидального напряжения (ACV) соответствуют действующему значению этого напряжения.

Цифровые амперметры измеряют постоянную составляющую несинусоидального тока $i(t)$ (DCV), аналогично магнитоэлектрическим амперметрам:

$$I_A = I_0 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i(t) dt. \quad (4.1)$$

При измерении несинусоидального напряжения ЦМ обычно показывает действующее значение несинусоидального напряжения, структура выражения которого соответствует выражению (1.6), но при этом не учитывается постоянное составляющая U_0 .

Действующее значение несинусоидального тока (если не указано иное) определяют:

$$I_A = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots}, \quad (4.1)$$

где $I_1^2, I_2^2, \dots$ – действующие значения первой, второй и т.д. гармоник несинусоидального тока $i(t)$.

2. Задачи

1. Определить показания цифрового амперметра, включенного в последовательную RL -цепь, если напряжение на входе цепи изменяется по закону $u(t) = (12 + 50 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t))$ В. Параметры цепи: $R = 3$ Ом, $X_L = 4$ Ом.

2. Во сколько раз действующее значение I измеряемого синусоидального тока $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$ больше среднего значения тока $I_A = I_0$, на который

реагирует выпрямительный миллиамперметр: 1) однополупериодной схемы выпрямления; 2) двухполупериодной схемы выпрямления?

3. Определить показания миллиамперметра с однополупериодной схемой выпрямления (рисунке 4.1 а), включенного в цепь переменного тока, имеющего формы: 1) синусоиды; 2) изображенную на рисунке 4.1 б. Амплитуда тока $I_m = 14,1$ мА; шкала миллиамперметра проградуирована в действующих значениях синусоидального тока.

4. Определить показания миллиамперметров магнитоэлектрического и выпрямительного с однополупериодной схемой выпрямления со шкалой, проградуированной в действующих значениях синусоидального тока. Миллиамперметры включены в цепь переменного тока, имеющего треугольную форму импульсов (рисунок 4.1 в) с амплитудой $I_m = 28$ мА частотой $f = 50$ Гц. Решить задачу при токе указанном на рисунке 4.2 а.

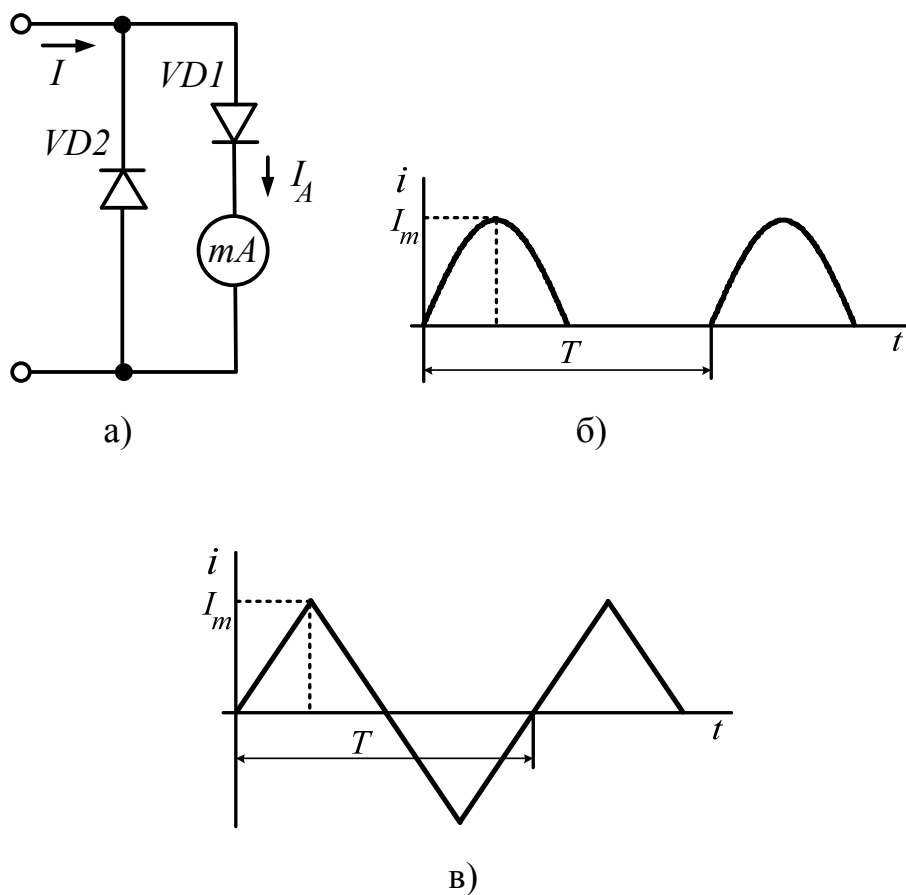


Рисунок 4.1

5. Определить показания миллиамперметров магнитоэлектрического, выпрямительного с одно- и двухполупериодными схемами выпрямления, включенных в цепь тока, имеющего форму однополярных прямоугольных импульсов (рисунок 4.2 б) с амплитудой $I_m = 100$ мА длительностью $t_u = 10$ мкс и периодом повторения $T = 1$ мс.

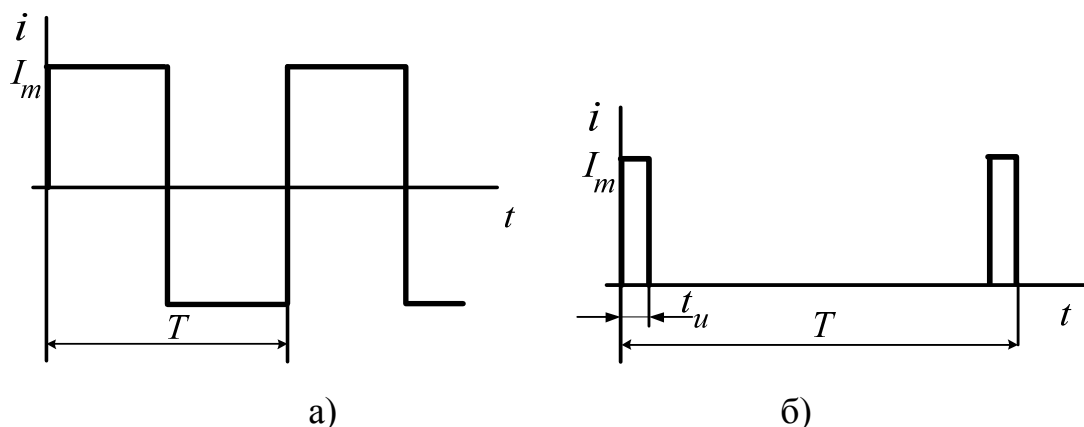


Рисунок 4.2

Вопросы к практическому занятию

1. Как определяется и чему равна постоянная составляющая тока, измеряемая цифровыми амперметрами?
2. Чему равно действующее значение тока, измеряемое цифровыми амперметрами в цепях несинусоидального тока?
3. Зачем используется выпрямительная схема при измерении тока в цепи несинусоидального тока?
4. Почему нельзя складывать действующие значения токов различных частот?
5. С помощью какого прибора можно узнать, что в электрической цепи протекают несинусоидальные токи?
6. Следует ли соблюдать полярность подключения цифрового вольтметра к цепи, в которой протекает постоянный ток?
7. Каковы принципиальные особенности использования цифровых амперметров и вольтметров?

Практическое занятие 5

Тема: Расчет делителей напряжения и их использование при измерениях

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

На рисунке 5.1. представлена простая схема делителя напряжения. Предположим здесь и далее, что нагрузки на выходе нет, тогда ток определяется следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5.1)$$

Обратите внимание, что выходное напряжение всегда меньше входного (или равно ему); поэтому мы говорим о делителе напряжения.

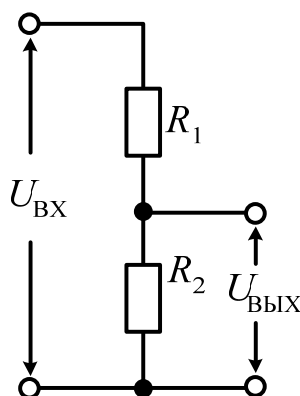


Рисунок 5.1

Делители напряжения часто используют в схемах для того, чтобы получить заданное напряжение из большего постоянного (или переменного) напряжения. Например, если в качестве R_2 взять резистор с регулируемым сопротивлением, то мы получим не что иное, как схему с управляемым выходом.

Составим эквивалентную схему делителя:

1. Напряжение при разомкнутой цепи:
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

2. Ток замкнутой накоротко цепи: $U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1}$.

Тогда эквивалентная схема представляет собой источник напряжения

$$U_{\text{ЭКВ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad \text{к которому последовательно подключен резистор с}$$

сопротивлением $R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ (рисунок 5.2).

Приведенный пример показывает, что делитель напряжения не может служить хорошей батареей, так как его выходное напряжение существенно уменьшается при подключении нагрузки.

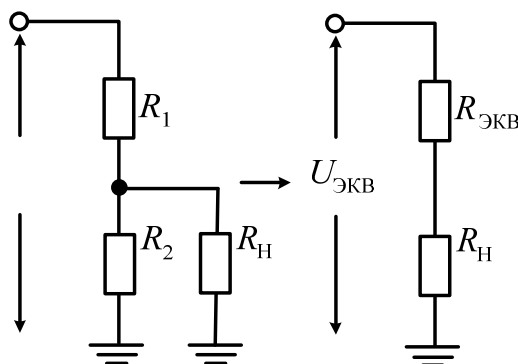


Рисунок 5.2

Эквивалентное сопротивление источника и нагрузка схемы. Делитель напряжения, на который подается некоторое постоянное напряжение, эквивалентен некоторому источнику напряжения с последовательно подключенным к нему резистором. Подключение резистора в качестве нагрузки вызывает падение напряжения на выходе делителя, обусловленное наличием некоторого *сопротивления источника* (вспомним эквивалентное сопротивление для делителя напряжения, если его выход выступает в качестве источника напряжения). Очень часто это явление нежелательно. Один подход к решению проблемы создания «устойчивого» источника напряжения (называемого «устойчивым» в том смысле, что он не поддается действию нагрузки) состоит в использовании в делителе напряжения резисторов с малыми сопротивлениями. Иногда этот прямой подход оказывается полезным. Однако лучше всего для

создания источника напряжения, или как его часто называют, источника питания, использовать активные компоненты, такие, как транзисторы или операционные усилители. Этот подход позволяет создать источник напряжения, внутреннее сопротивление которого (или эквивалентное сопротивление) составит миллиомы (тысячные доли ома), при этом не требуются большие токи и не рассеивается значительная мощность, что характерно для низкоомного делителя напряжения с такими же рабочими характеристиками. Кроме того, в активном источнике питания не представляет труда регулировка выходного напряжения.

Понятие эквивалентного внутреннего сопротивления применимо ко всем типам источников, а не только к батареям и делителям напряжения. Все источники сигналов (например, генераторы синусоидальных сигналов, усилители и измерительные приборы) обладают эквивалентным внутренним сопротивлением. Подключение нагрузки, сопротивление которой меньше или даже сравнимо с внутренним сопротивлением, вызывает значительное уменьшение выходного параметра. Нежелательное уменьшение напряжения (или сигнала) разомкнутой цепи за счет подключения нагрузки называется «перегрузкой цепи». В связи с этим следует стремиться к тому, чтобы выполнялось условие $R_n \gg R_{н\text{ внутр}}$, так как высокоомная нагрузка оказывает небольшое ослабляющее влияние на источник. Условие высокоомности является обязательным для таких измерительных приборов, как вольтметры и осциллографы.

При расширении пределов измерений электростатических вольтметров, используются емкостные делители напряжения. Для их расчета необходимы следующие формулы:

$$\begin{cases} U_1 \cdot C_1 = U_2 \cdot C_2, \\ U = U_1 + U_2. \end{cases}$$

Измерения больших переменных напряжений и токов обычными аналоговыми электромеханическими приборами становится возможным при включении их в цепь через измерительные трансформаторы переменного тока

(рисунок 5.3 а) и напряжения (рисунок 5.3 б). Использование делителей напряжения и шунтов для этих целей нецелесообразно и даже опасно для обслуживающего персонала.

Принцип действия ИТ совпадает с принципом действия обычных трансформаторов. Во вторичную цепь трансформаторов тока включаются амперметры, последовательные обмотки счетчиков, ваттметров, цепи релейной защиты и управления; ко вторичной обмотке трансформаторов напряжения подключаются вольтметры, параллельные цепи ваттметров, счетчиков и других приборов.

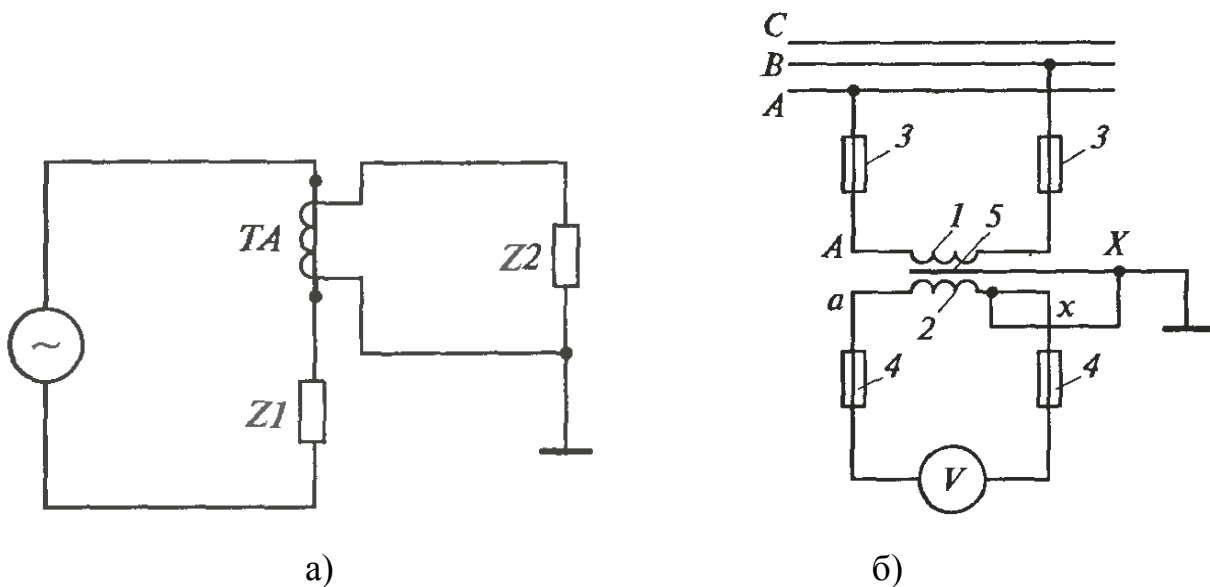


Рисунок 5.3

Стационарные измерительные трансформаторы переменного тока имеют следующие эксплуатационные характеристики: частота 50 Гц; номинальное напряжение $U_{1ном}$ трансформаторов напряжения – от 0.38 до 750 кВ, вторичное напряжение $U_{2ном}$ – 150; 100; $100 \cdot \sqrt{3}$ В; классы точности трансформаторов напряжения – 0,05; 0,01; 0,2; 0, 5; 1,0; 3,0; номинальный первичный ток $I_{1ном}$ трансформаторов тока – 1 А...40 кА, номинальный вторичный ток $I_{2ном}$ – 1; 2; 2,5; 5 А; номинальная нагрузка вторичной цепи – 2,5; 5; 10; 25; 30; 40; 60; 75; 100 Вт; классы точности трансформаторов тока – 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0.

Измерительные трансформаторы переменного тока. Для удобства и безопасности измерения тока установок высокого напряжения ток вторичной цепи с помощью трансформатора тока изменяется до стандартного значения 5 А или 1 А.

Измерительные приборы и реле выполняются на эти токи и включаются в цепь вторичной обмотки трансформатора тока, один вывод которой обязательно заземляется (рисунок 5.3 а).

В случае повреждения изоляции трансформатора приборы и реле остаются под потенциалом земли. Отличительной особенностью режима работы трансформатора тока является то, что первичный ток не зависит от режима работы его вторичной цепи и остается неизменным при замыкании накоротко или размыкании вторичной цепи. Это связано с тем, что ток в первичной обмотке определяется сопротивлением нагрузки Z_1 , которое на несколько порядков выше, чем входное сопротивление трансформатора со стороны первичной обмотки при любом значении сопротивления Z_2 . Поэтому предохранитель во вторичной цепи не ставится, так как разрыв этой цепи является аварийным режимом для трансформатора тока.

Измерительные трансформаторы напряжения служат для преобразования высокого напряжения в низкое напряжение стандартной величины, удобное для измерения. Обычно за номинальное вторичное напряжение принято 100 В или $100 \cdot \sqrt{3}$ В. Это позволяет для измерения любого напряжения применять одни и те же стандартные измерительные приборы. Реле защиты, реагирующие на напряжение, также изготавливаются на стандартное напряжение независимо от напряжения установки.

Первичная обмотка трансформатора изолируется от вторичной соответственно классу напряжения установки. Для безопасности обслуживания один вывод вторичной обмотки обязательно заземляется. Таким образом, трансформатор напряжения изолирует измерительные приборы и реле от цепи высокого напряжения и делает безопасным их обслуживание.

Схема включения однофазного трансформатора напряжения дана на рисунке 5.3 б. Первичная обмотка 1 присоединена к цепи высокого напряжения через предохранители 3. Вторичная обмотка 2 питает нагрузку в виде обмоток измерительных приборов или реле защиты через предохранители 4. В трансформаторах напряжения нормальной конструкции заземляются и вторичная обмотка 2 и сердечник 5.

Предохранители 4 служат для защиты трансформатора напряжения от коротких замыканий в цепи вторичной нагрузки. Предохранители 3, установленные на высоковольтной стороне, служат для защиты сети от короткого замыкания в трансформаторе. Для облегчения отключения желательна установка токоограничивающих предохранителей типа ПКТ или стреляющих с ограничивающим сопротивлением.

Вследствие высокого сопротивления самого трансформатора при возникновении короткого замыкания во вторичной цепи ток в первичной цепи мал (порядка нескольких ампер) и его величина недостаточна для срабатывания предохранителей 3.

2. Задачи

1. Что покажет вольтметр на 20000 Ом/В при шкале диапазона 1 В, если его подключить к источнику напряжения 1 В с внутренним сопротивлением 10 кОм? Что покажет этот прибор, если его подключить к делителю напряжения с плечами 10 кОм – 10 кОм, питающемуся от источника постоянного напряжения (с нулевым сопротивлением) с напряжением 1 В?

2. Измерительный прибор с максимальным отклонением указателя, соответствующим току 50 мкА, имеет внутреннее сопротивление, равное 5 кОм. Какое шунтирующее сопротивление нужно подключить, чтобы прибор измерял ток в пределах 0 – 1 А? Какое сопротивление нужно подключить последовательно для того, чтобы прибор мог измерить напряжение в пределах 0 – 10 В?

3. Для схемы, показанной на рисунке 5.2, $U_{\text{вх}} = 30 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$. Требуется определить: а) выходное напряжение в отсутствие нагрузки (напряжение разомкнутой цепи); б) выходное напряжение при условии, что подключена нагрузка 10 кОм (представьте схему в виде делителя напряжения, R_2 и $R_{\text{н}}$ объедините в один резистор); в) эквивалентную схему; г) выходное напряжение при том же условии, что и в п.«б», но для эквивалентной схемы здесь придется иметь дело с делителем напряжения; ответ должен быть таким же, как в п.«б»; д) мощность, рассеиваемую каждым резистором.

4. Рассчитать значения емкости C_2 в емкостном делителе (рисунок 5.4), если требуется расширить предел измерения электростатического вольтметра от 300 В до 6 кВ . Входная емкость вольтметра $C_V = 6 \text{ пФ}$, емкость параллельно включенного конденсатора $C_1 = 374 \text{ пФ}$.

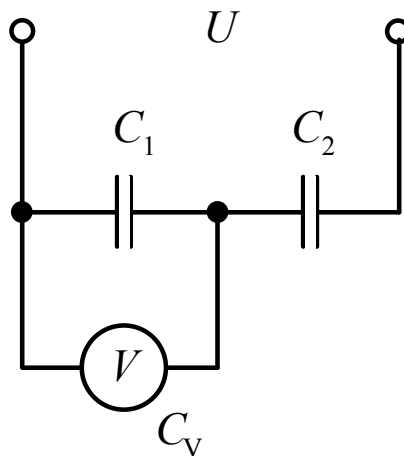


Рисунок 5.4

5. Определить входную емкость электростатического вольтметра с емкостным делителем, используемого для измерения высокого напряжения, если $C_V = 4 \text{ пФ}$, $C_1 = 40 \text{ пФ}$, $C_2 = 20 \text{ пФ}$ (рисунок 5.4).

Вопросы к практическому занятию

1. Поясните, что собой представляет делитель напряжения.
2. Для каких целей используются емкостные делители напряжения?
3. Приведите необходимые формулы для расчета делителей напряжения.

4. Для чего используются трансформаторы тока?
5. Чем опасен разрыв вторичной обмотки трансформатора тока?
6. Каковы значения номинальных вторичных токов трансформаторов тока и из каких соображений они установлены?
7. Для чего используются трансформаторы напряжения?
8. Чему равны номинальные вторичные напряжения трансформаторов и из каких соображений они установлены?

Практическое занятие 6

Тема: Определение измерительных шунтов и добавочных сопротивлений для расширения диапазона измерений

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Расширение пределов измерения приборов – это важная технико-экономическая задача, целью которой является уменьшение объема приборного парка предприятия без ущерба для метрологического обеспечения испытаний изделий и управления технологическими процессами. При наличии средств расширения пределов измерения оказывается возможным применять один и тот же обычно дорогостоящий прибор для измерения величин различного размера. В конкретных ситуациях может потребоваться изменить предел измерения в сторону увеличения верхнего предела измерений, то есть уменьшить чувствительность прибора, а в других случаях наоборот, – повысить чувствительность, то есть изменить предел измерения в сторону уменьшения верхнего предела измерения. Возможны два варианта решения этой задачи.

В первом варианте средства расширения пределов измерения встраиваются в измерительный прибор, который снабжается ручным переключателем

пределов. Такой прибор является многопредельным, и метрологические характеристики этого прибора на разных пределах могут различаться. Тогда они нормируются для каждого предела измерения по отдельности. Об этом потребителю сообщается надписями на шкале или в сопроводительной документации.

Во втором варианте используются внешние средства расширения пределов измерений. Этот вариант используется там, где измерения на одном выбранном пределе выполняются в течение длительного времени, например, в системах управления технологическим процессом.

Такое внешнее средство расширения пределов измерения есть не что иное, как масштабирующий линейный измерительный преобразователь, который изменяет не вид измеряемой величины, а лишь ее масштаб. Эти преобразователи выпускаются промышленностью, как автономные средства измерений. Каждая группа таких преобразователей имеет унифицированные свойства, присоединительные размеры и метрологические характеристики. Поэтому при их соединении с однопредельным измерительным прибором фактически получается новый прибор, метрологические характеристики которого должны быть рассчитаны по метрологическим характеристикам соединенных компонентов.

В качестве внешних средств расширения пределов измерения используются:

- шунты – для расширения пределов измерения силы тока в сторону увеличения максимального значения измеряемой величины, то есть для уменьшения чувствительности,

- делители напряжения и добавочные сопротивления – для расширения пределов измерения напряжения в сторону увеличения максимального значения измеряемой величины, то есть для уменьшения чувствительности,

- усилители тока и напряжения – для расширения пределов измерения тока или напряжения в сторону уменьшения максимального значения измеряемой величины, то есть для увеличения чувствительности,

– измерительные трансформаторы тока и напряжения – могут применяться для расширения пределов измерения тока или напряжения в обе стороны, но чаще всего применяются для расширения пределов измерения в сторону увеличения максимального значения измеряемой величины, то есть для уменьшения чувствительности.

С помощью токового *шунта* на основе калиброванного высокоточного резистора $R_{\text{ш}}$ решается вопрос расширения пределов измерения амперметра μA (рисунок 6.1 а). Выпускаемые промышленностью шунты имеют такое сопротивление $R_{\text{ш}}$, чтобы падение напряжения на нем от номинального тока шунта $I_1 = I_{\text{н}}$ равнялось 75 mV , т. е. было равно $U_{\text{ш}} = I_{\text{н}} \cdot R_{\text{ш}} = 75 \text{ mV}$.

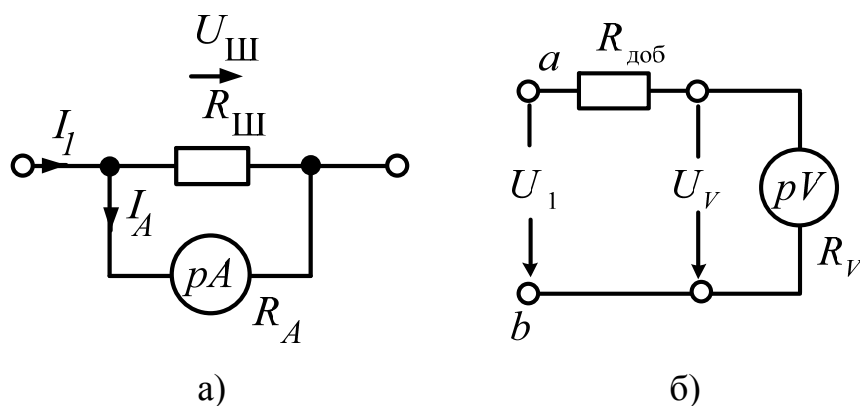


Рисунок 6.1

Общая функция преобразования измерительного прибора – амперметра с шунтом определяется выражением:

$$I_1 = k_{\text{ш}} I_A; \quad k_{\text{ш}} = 1 + \frac{R_A}{R_{\text{ш}}}. \quad (6.1)$$

Желательно, чтобы $R_A \gg R_{\text{ш}}$.

С помощью *добавочных* сопротивлений решается вопрос расширения пределов измерения вольтметра μV и повышения входного сопротивления измерительного прибора относительно зажимов a и b (рисунок 6.1 б). Для этих целей используется высокоточный *добавочный* резистор $R_{\text{доб}}$.

Функция преобразования измерительного прибора – вольтметра определяется выражением

$$U_1 = k_{\text{доб}} \cdot U_V, \quad k_{\text{доб}} = \frac{R_{\text{доб}}}{R_V} + 1, \quad (6.2)$$

где U_V – показание прибора рV. Входное сопротивление относительно зажимов a и b равно $R_{\text{вх}ab} = R_{\text{доб}} + R_V$. Прибор рV может быть проградуирован в значениях напряжения U_1 . Использование нескольких последовательно включенных добавочных сопротивлений позволяет выполнить многопредельный вольтметр.

Измерительные трансформаторы тока применяются для расширения пределов измерения характеристик переменного тока. Измерительные трансформаторы тока имеют существенное преимущество перед шунтами, которое заключается в том, что при их применении отсутствует гальваническая связь между первичной обмоткой, включенной в мощную электрическую цепь объекта, и вторичной обмоткой. Разрыв этой гальванической связи способствует обеспечению безопасности персонала, снижению действия помех и облегчает выполнение необходимых соединений во вторичной цепи. Кроме того, в ограниченном частотном диапазоне коэффициент преобразования (масштабирования) определяется только отношением числа витков обмоток трансформатора и мало зависит от внешних влияющих факторов. Схема включения измерительного трансформатора тока в линию с измеряемым током и присоединения амперметра ко вторичной обмотке представлена на рисунке 6.2.

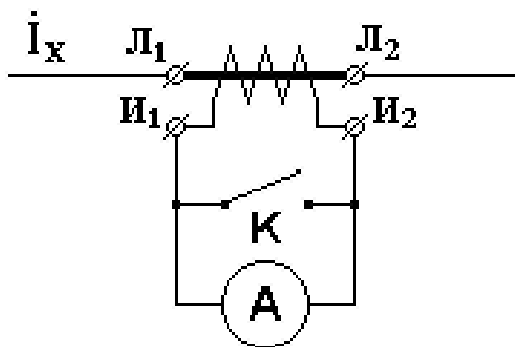


Рисунок 6.2

Опасным режимом для трансформатора тока является режим холостого хода, при котором на вторичной обмотке развивается высокое напряжение, и возможен пробой изоляции. Напротив, благоприятным режимом для трансформатора тока является режим короткого замыкания вторичной обмотки. В связи с этим чрезвычайно важно выполнять следующие правила включения трансформатора тока с амперметром в линию. Перед включением первичной обмотки в линию вторичная обмотка обязательно должна быть замкнутой на амперметр или ключом К.

Измерительные трансформаторы напряжения применяются для расширения пределов измерения характеристик переменного напряжения. Применение измерительных трансформаторов напряжения дает те же преимущества перед применением добавочных сопротивлений, что и применение трансформаторов тока. В ограниченном частотном диапазоне коэффициент преобразования (масштабирования) определяется только отношением числа витков обмоток трансформатора и практически не зависит от действия внешних влияющих факторов. С увеличением частоты сверх этого диапазона начинают расти погрешности передачи амплитуды и фазы измеряемого напряжения. Схемы соединений трансформатора напряжения с участком электрической цепи и с вольтметром во вторичной обмотке особенностей не имеют.

2. Задачи

1. Предложить формулу расчета сопротивления шунта $R_{ш}$ (рисунок 6.2) для расширения пределов измерения магнитоэлектрического микроамперметра с током полного отклонения I_A и внутренним сопротивлением R_A до значения тока I .

3. Рассчитать значения сопротивлений $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$ шунтов: (рисунок 6.2) для расширения пределов измерения магнитоэлектрического миллиамперметра

с током полного отклонения $I_A = 5 \text{ мА}$: внутренним сопротивлением $R_A = 15 \text{ Ом}$ до значений $I_1 = 100 \text{ мА}$, $I_2 = 5 \text{ А}$.

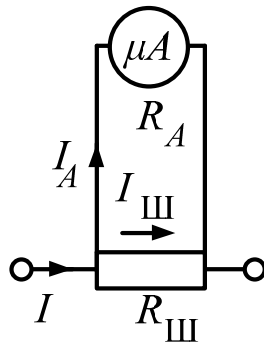


Рисунок 6.2

4. Предложить формулы расчетов сопротивлений резисторов R_1 и R_2 (рисунок 6.3) двухпредельного шунта для расширения пределов измерения магнитоэлектрического микроамперметра с током полного отклонения I_A и внутренним сопротивлением R_A . Новые пределы измерения токов I_1 и I_2 ($I_1 < I_2$).

5. Определить предел измерения тока I_1 в схеме двухпредельного миллиамперметра (рисунок 6.3) с током полного отклонения рамки измерительного механизма $I_A = 50 \text{ мкА}$, внутренним сопротивлением $R_A = 1.0 \text{ кОм}$. Значения сопротивлений резисторов ступенчатого шунта $R_1 = 0.9 \text{ Ом}$, $R_2 = 0.1 \text{ Ом}$.

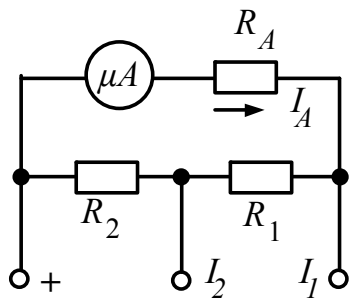


Рисунок 6.3

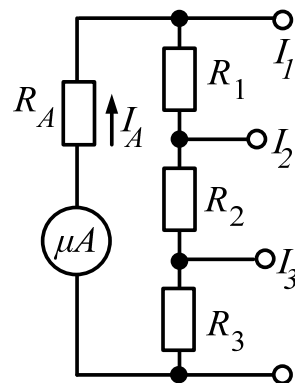


Рисунок 6.4

6. Рассчитать значения сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 резисторов многопредельного шунта к щитовому микроамперметру типа М24 (рисунок 6.4) на пределы измерения тока $I_1 = 100$ мкА, $I_2 = 10$ мА, $I_3 = 10$ А, если ток полного отклонения микроамперметра $I_A = 50$ мкА, а его внутреннее сопротивление $R_A = 3000$ Ом.

7. Можно ли измерить ток в 1500 мА магнитоэлектрическим милливольтметром с пределом измерения $U_V = 75$ мВ и внутренним сопротивлением $R_V = 5$ Ом (шкала имеет 150 делений)? Чему равна цена деления C_I по току?

8. Определить значение сопротивления добавочного резистора R_d , включенного последовательно в цепь магнитоэлектрического вольтметра с пределом измерения 30 В, внутренним сопротивлением $R_V = 1000$ Ом и шкалой на 150 делений для расширения предела измерения напряжения до 300 В. Чему равна цена деления?

9. Определить значение входного сопротивления прибора при измерении напряжения постоянного тока на пределах: 75 мВ; 3; 30; 60; 300; 600 В, если комбинированный аналоговый прибор Ц4314 имеет магнитоэлектрический механизм, ток полного отклонения рамки измерительного механизма $I_V = 12$ мкА; $R_V = 6250$ Ом.

Вопросы к практическому занятию

1. Для чего при измерениях используются шунты?
2. Для чего при измерениях используются добавочные сопротивления?
3. Приведите формулу преобразования амперметра с шунтом?
4. Приведите формулу преобразования вольтметра с добавочным сопротивлением?
5. Для чего используется несколько добавочных сопротивлений?

6. Как определяется входное сопротивление амперметра?

7. Как определяется входное сопротивление вольтметра?

Практическое занятие 7

Тема: Определение показаний вольтметров с преобразователями, реагирующими на различные параметры входного напряжения в цепях несинусоидального тока

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Определение показаний вольтметров в цепи несинусоидального тока зависит от того, на какую величину входного напряжения реагирует преобразователь и в каких значениях проградуирована их шкала. Рассмотрим несколько характерных примеров:

Пример 1. На вход цепи (рисунок 7.1) однополупериодного выпрямления ($R_{пр} = 0$, $R_{обр} = \infty$) от генератора (типа ГЗ-33) подано синусоидальное напряжение, изменяющееся по закону $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$. Действующее значение напряжения $U = 10$ В.

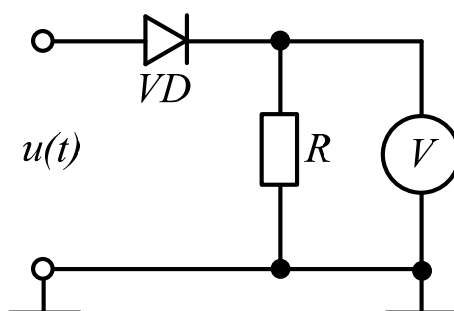


Рисунок 7.1

а) С помощью аналогового электронного вольтметра (типа ВК7-9), который имеет преобразователь максимального значения с закрытым входом, и

шкалу, проградуированную в действующих значениях синусоидального напряжения, определить показания на входе цепи и на резисторе R в режиме измерения напряжений постоянного и переменного токов (сопротивление R резистора много меньше входного сопротивления $R_{ВХ}$ вольтметра на всех диапазонах).

б) Соответствуют ли показания вольтметра (типа ВК7-9) в режиме измерения напряжения переменного тока среднеквадратичному значению напряжения на резисторе R .

Решение. а) На входе цепи показания вольтметра в режиме измерения напряжений постоянного тока $U_0 = 0$, переменного тока $U = 10$ В.

Измеряемое напряжение $u_R(t)$ представим в виде суммы двух составляющих напряжения: постоянной U_{R_0} и переменной $u_{R\sim}(t) = u_R(t) - U_{R_0}$ (рисунок 7.2),

где

$$U_{R_0} = \frac{U_m}{\pi} = \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 4,5 \text{ В.}$$

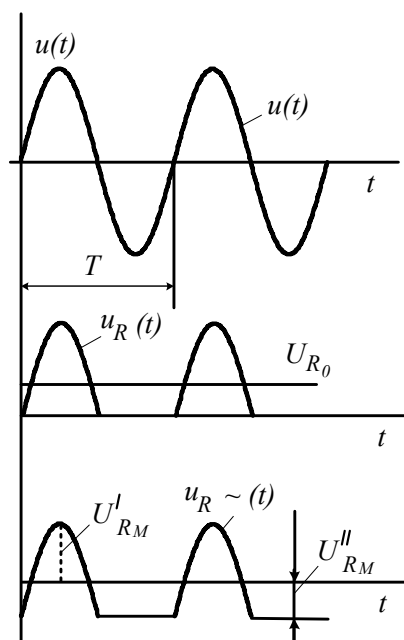


Рисунок 7.2

Таким образом, в режиме измерения напряжения переменного тока, показания вольтметра будут определяться следующим образом:

$$\alpha'_V = \frac{U'_{R_m}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{R_m} - U_{R_0}}{\sqrt{2}} = \frac{10 \cdot \sqrt{2} - 10 \cdot \sqrt{2}/3,14}{\sqrt{2}} = 6,8 \text{ В.}$$

В формуле учтено, что преобразователь реагирует только на максимальное значение U'_{R_m} переменной составляющей, а так как шкала вольтметра проградуирована в действующих значениях синусоидального напряжения, то его показания будут в $\sqrt{2}$ раз меньше.

б) Показания вольтметра не соответствуют среднеквадратическому значению напряжения на резисторе, так как

$$\begin{aligned} U_R &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{T/2} u_R^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{T/2} (U_{R_m} \cdot \sin(t))^2 dt} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (U_{R_m})^2 \cdot \left(\left(\frac{t}{2} - \frac{\sin(2 \cdot t)}{4} \right) \right) \bigg|_0^{T/2}} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (U_{R_m})^2 \cdot \left(\frac{T/2}{2} - \frac{\sin(2 \cdot T/2)}{4} - \left(\frac{0}{2} - \frac{\sin(2 \cdot 0)}{4} \right) \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (U_{R_m})^2 \cdot \left(\frac{T}{4} \right)} = \frac{U_{R_m}}{2} \\ U_{R_m} &= U_m = 10 \cdot \sqrt{2}, \text{ тогда } U_R = \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{2} = 7,07 \text{ В.} \end{aligned}$$

Пример 2. Определить максимальное U_m , среднеквадратичное U значения напряжения импульса по показанию $\alpha'_V = 20 \text{ В}$ вольтметра (типа ВК7-9), работающего в режиме измерения напряжения переменного тока (см. задачу 1), если на его вход подана периодическая последовательность прямоугольных импульсов длительностью $t_{\text{и}} = 1 \text{ мкс}$ и периодом следования $T = 100 \text{ мкс}$ (рисунок 7.3).

Решение. Представим измеряемое напряжение $u(t)$ (рисунок 7.3) в виде суммы двух составляющих напряжения: постоянной U_0 и переменной $u_{\sim}(t) = u(t) - U_0$.

Показания вольтметра будут

$$\alpha'_V = \frac{U'_m}{\sqrt{2}},$$

где $U'_m = U_m - U_0 = U_m - U_m \cdot \frac{t_{\text{н}}}{T} = \alpha'_V \cdot \sqrt{2} = 20 \cdot \sqrt{2} \approx 28,2 \text{ В}$ – максимальное значение переменной составляющей.

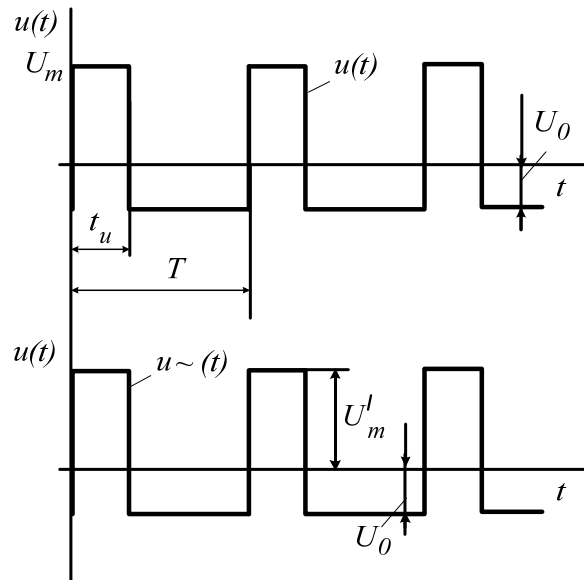


Рисунок 7.3

Максимальное значение измеряемых импульсов

$$U_m = U'_m \cdot \left(\frac{T}{T - t_{\text{н}}} \right) = 28,2 \cdot \frac{100}{100 - 1} = 28,5 \text{ В.}$$

Среднее значение импульса (постоянная составляющая)

$$U_0 = U_m \cdot \frac{t_{\text{н}}}{T} = 0,285 \text{ В.}$$

Среднеквадратичное значение импульса

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_{\text{н}}} u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_{\text{н}}} (U_m)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (U_m)^2 \cdot \left((t) \Big|_0^{t_{\text{н}}} \right)} = U_m \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{н}}}{T}}.$$

Коэффициент амплитуды импульса $K'_a = \sqrt{\frac{t_{\text{н}}}{T}}$.

По показаниям вольтметра среднеквадратичное значение импульса

$$U = \alpha'_V \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{T}{T - t_{\text{н}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{н}}}{T}} = 20 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{100}{100 - 1} \right) \cdot \sqrt{\frac{1}{100}} = 2,857 \text{ В.}$$

Пример 3. Определить показания α_V вольтметра типа (ВЗ-42), если на его вход подана периодическая последовательность прямоугольных импульсов (рисунок 7.3) с максимальным значением $U_m=141$ В, частотой следования $f=10$ кГц, длительностью $t_{\text{и}} = 1$ мкс. Найти среднеквадратичное U значение последовательности импульсов, используя показания вольтметра. Вольтметр имеет квадратичный преобразователь, вход закрытый, шкалу, проградуированную в действующих значениях синусоидального напряжения.

Решение. Вольтметр показывает среднеквадратичное значение переменной составляющей (см. решение задачи 2):

$$U' = \sqrt{U^2 - U_0^2} = U_m \cdot \sqrt{\frac{T - t_{\text{и}}}{T}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{и}}}{T}};$$

$$\alpha_V = U' = 141 \cdot \sqrt{\frac{100 - 1}{100}} \cdot \sqrt{\frac{1}{100}} = 14,029 \text{ В};$$

$$U_0 = U_m \cdot \frac{t_{\text{и}}}{T} = 1,41 \text{ В}.$$

Среднеквадратичное значение последовательности импульсов

$$U = U_m \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{и}}}{T}} = 14,1 \text{ В}.$$

Пример 4. Определить показания вольтметра типа ВЗ-44, если на его вход подана периодическая последовательность прямоугольных импульсов (см. рисунок 7.3), максимальное значение которых $U_m = 141$ В, частота следования $f = 100$ кГц, длительность $t_{\text{и}} = 1$ мкс. Вольтметр типа ВЗ-44 имеет двухполупериодный преобразователь средневывпрямленного значения, вход открытый, шкалу, проградуированную в действующих значениях синусоидального напряжения.

Решение. Преобразователь реагирует на среднее значение напряжения

$$U_{\text{ср}} = U_0 = U_m \cdot \frac{t_{\text{и}}}{T} = 1,41 \text{ В}$$

Показания вольтметра α_V в 1,11 раза больше $U_{\text{ср}}$:

$$\alpha_V = U_{\text{ср}} \cdot K_{\Phi} = 1,41 \cdot 1,11 = 1,57 \text{ В}.$$

2. Задачи

1. Определить показания α_V вольтметра типа ВЗ-44, если на его вход подано напряжение формы «меандр» (см. рисунок 7.4) с Максимальным значением $U_m = 100$ В. Чему равно среднеквадратичное U значение напряжения?

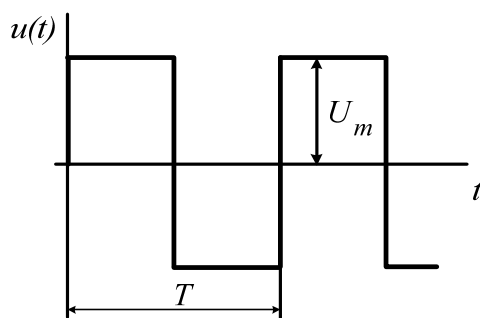


Рисунок 7.4

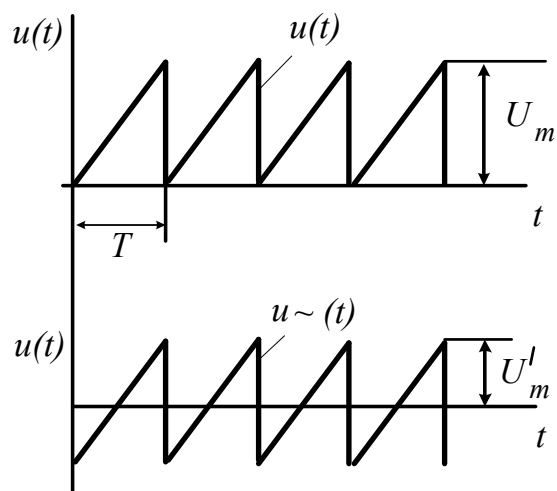


Рисунок 7.5

2. Определить показания вольтметров типов В4-8 и В4-12, если на их входы поочередно подано пилообразное напряжение (Рисунок 7.5), максимальное значение которого $U_m = 100$ В. Вольтметры имеют преобразователь максимального значения и шкалу, проградуированную в максимальных значениях (у вольтметра типа В4-8 вход открытый, а у вольтметра типа В4-12 вход закрытый).

3. Определить показания вольтметров типов В4-8 и В4-12, если на их входы подана периодическая последовательность импульсов (см. рисунок 7.3). При решении использовать данные задачи 3 и 6.

4. Определить показания α_V цифрового вольтметра типа ВК7-10А, работающего в режиме измерения переменного напряжения, если на его вход подано напряжение прямоугольной формы (см. рисунок 7.3), максимальное значение которого $U_m = 141$ В, частота сигнала $f = 50$ Гц. Вольтметр имеет преобразователь средневывпрямленного значения с двухполупериодной схемой

выпрямления, открытый вход; показания проградуированы в действующих значениях синусоидального напряжения.

5. Определить показания α_V цифрового вольтметра типа ВК7-10А, если на его вход подано пилообразное напряжение, максимальное значение которого $U_m = 141$ В, частота сигнала $f = 50$ Гц. Чему равно среднеквадратичное U значение напряжения?

6. Определить показания α_V цифрового вольтметра типа ВК7-10А, если на его вход подано пилообразное напряжение, максимальное значение которого $U_m = 141$ В, частота сигнала $f = 50$ Гц. Чему равно среднеквадратичное U значение напряжения?

7. Определить показания α_V аналогового вольтметра с преобразователем максимального значения с закрытым входом, если на его вход подано напряжение формы, показанной на рисунке 7.6. Максимальное значение напряжения $U_m = 100$ В. Шкала вольтметра проградуирована в действующих значениях синусоидального напряжения.

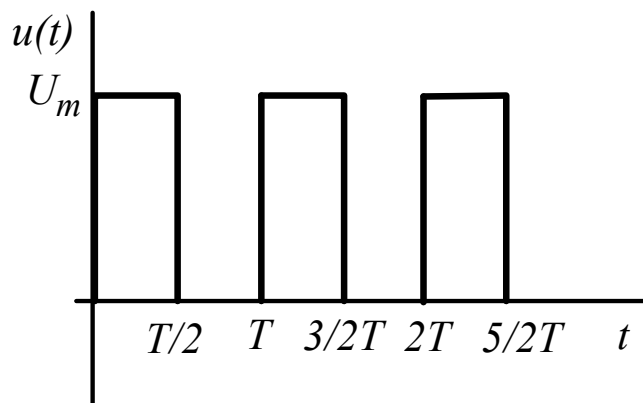


Рисунок 7.6

Вопросы к практическому занятию

1. Что означает закрытый или открытый вход вольтметра?
2. Каким способом представляется несинусоидальные напряжения при определении показаний вольтметров?
3. Как определить максимальное и действующее значение переменной составляющей при несинусоидальном напряжении?

4. Как определить среднее значение импульса?
5. Как определить среднеквадратичное значение импульса?
6. Что такое коэффициент амплитуды импульса и как его рассчитать?

Практическое занятие 8

Тема: Определение показаний магнитоэлектрических, электромагнитных и электродинамических вольтметров в цепях несинусоидального тока

1. Теоретическая часть

Теория, необходимая для выполнения заданий, приведена в практических занятиях 1-3, 5-7.

2. Задачи

1. Определить показания α_V магнитоэлектрического и электромагнитного вольтметра, если на его вход подано напряжение прямоугольной формы (см. рисунок 7.4), максимальное значение которого $U_m = 141$ В, частота сигнала $f = 50$ Гц.

2. Определить показания электродинамического вольтметра, если на его вход подано напряжение пилообразной формы (см. рисунок 7.5), максимальное значение которого $U_m = 141$ В, частота сигнала $f = 50$ Гц.

3. Определить показания магнитоэлектрического, электромагнитного и электродинамического вольтметров, если измеряемое ими напряжение имеет форму кривой, изображенной на рисунке 8.1.

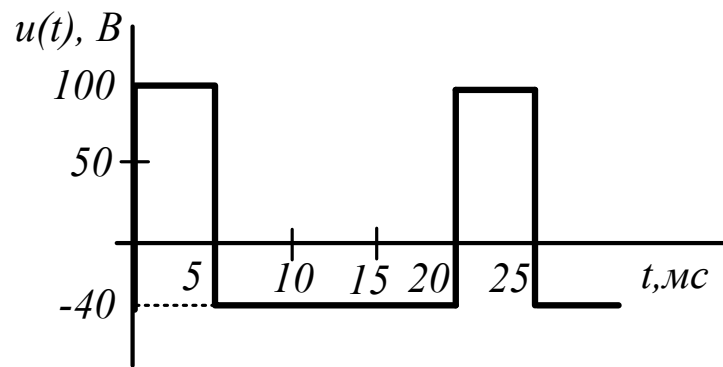


Рисунок 8.1

4. Определить показания вольтметра с электродинамическим измерительным механизмом при измерении напряжения с параметрами, приведенными на рисунке 8.2.

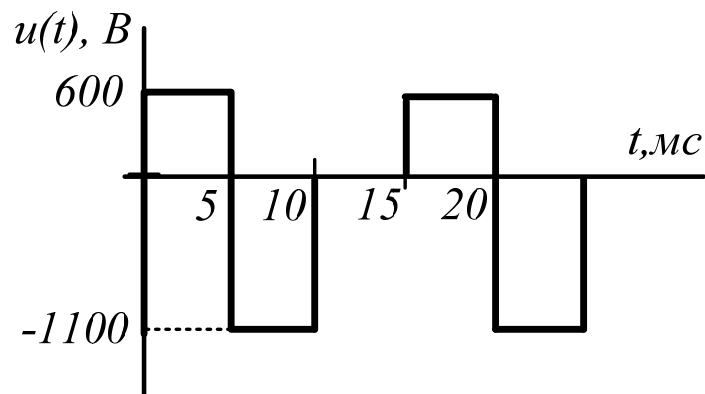


Рисунок 8.2

4. Определить показания вольтметра с электростатическим измерительным механизмом при измерении напряжения с параметрами, приведенными на рисунке 8.3.

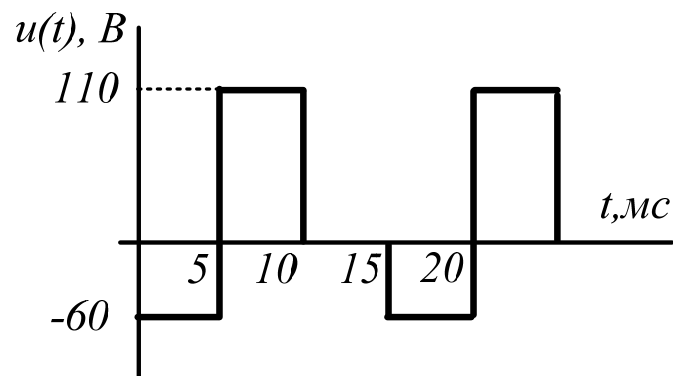


Рисунок 8.3

Вопросы к практическому занятию

1. Поясните устройство и принцип работы магнитоэлектрического измерительного механизма.
2. Поясните устройство и принцип работы электромагнитного измерительного механизма.
3. Поясните устройство и принцип работы электродинамического измерительного механизма.
4. Поясните устройство и принцип работы электростатического измерительного механизма.
5. Как определяются показания магнитоэлектрических вольтметров в цепях несинусоидального тока?
6. Как определяются показания электромагнитных вольтметров в цепях несинусоидального тока?
7. Как определяются показания электродинамических вольтметров в цепях несинусоидального тока?
8. Что покажет магнитоэлектрический вольтметр в цепи постоянного и синусоидального тока?

Практическое занятие 9

Тема: Определение показаний электродинамических ваттметров в цепях несинусоидального тока

Цель: Формирование у студента компетенции ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного однофазного тока чаще всего производится электродинамическими или

ферродинамическими ваттметрами, работа которых основана на использовании ИМ_(эд).

Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных лабораторных многопредельных приборов. Их класс точности 0,1 – 0,5.

Ферродинамические ваттметры обычно используются в качестве щитовых приборов с классом точности 1,5 или 2,5.

Ваттметры имеют две обмотки: токовую и напряжения. Направление отклонения стрелки прибора зависит от подключения обмоток ваттметра, поэтому их зажимы имеют специальную маркировку, обеспечивающую правильное подключение прибора. Зажимы, обозначенные знаком * (звездочка), соединяются с проводами, идущими от источника питания. Зажимы, не имеющие этого обозначения, подключаются к нагрузке.

Частотный диапазон этих приборов ограничен, обычно он указывается на шкале прибора. Как правило, они используются при измерении мощности в цепях промышленной частоты.

При подведении к обмоткам ваттметра напряжения на нагрузки и протекающего тока через нагрузки показания прибора определяются выражениями:

– в цепях постоянного тока $P = U \cdot I$;

– в цепях синусоидального тока $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$, где φ – угол сдвига фаз между векторами напряжения и тока,

– в цепях несинусоидального тока

$$P = U_0 \cdot I_0 + U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + \dots,$$

где φ_k – угол сдвига фаз между напряжением и током k -ой гармоники.

Если к ваттметру будет подведено напряжение одной выделенной гармоники из спектра гармоник напряжения на нагрузке, то при условии, что в токе будет присутствовать ток этой гармоники, прибор покажет потребляемую нагрузкой мощность только этой гармоники.

Отметим, что на основе ИМ_(эд) может быть реализован варметр для измерения реактивной мощности.

В практике электрических измерений все большее применение находят электронные и цифровые приборы для измерения мощности.

2. Задачи

1. Определить показания ваттметра, если на вход цепи (рисунок 9.1) однополупериодного выпрямления ($R_{пр} = 0$, $R_{обр} = \infty$) подано синусоидальное напряжение, изменяющееся по закону $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$. Действующее значение напряжения $U = 10$ В и $R_H = 10$ Ом.

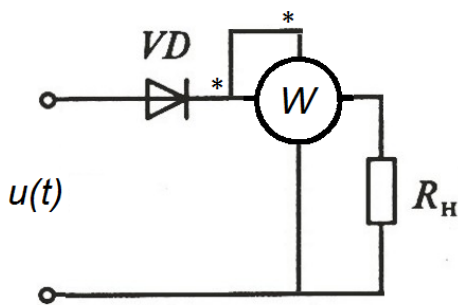


Рисунок 9.1

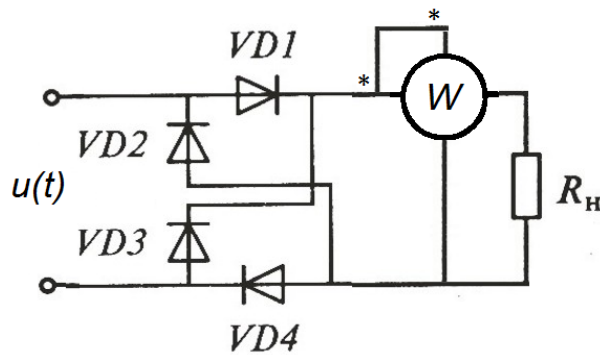


Рисунок 9.2

2. Определить показания ваттметра, если на вход цепи (рисунок 9.2) двухполупериодного выпрямления ($R_{пр} = 0$, $R_{обр} = \infty$) подано синусоидальное напряжение, изменяющееся по закону $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$. Действующее значение напряжения $U = 100$ В и $R_H = 20$ Ом.

3. Решить задачу 1 и 2 если на входе действует напряжение, форма которого представлена на рисунке 9.3.

4. К ваттметру электродинамической системы подводятся ток и напряжение, формы которых приведены на рисунке 9.3. Определить показания ваттметра. Возможные частотные погрешности не учитывать.

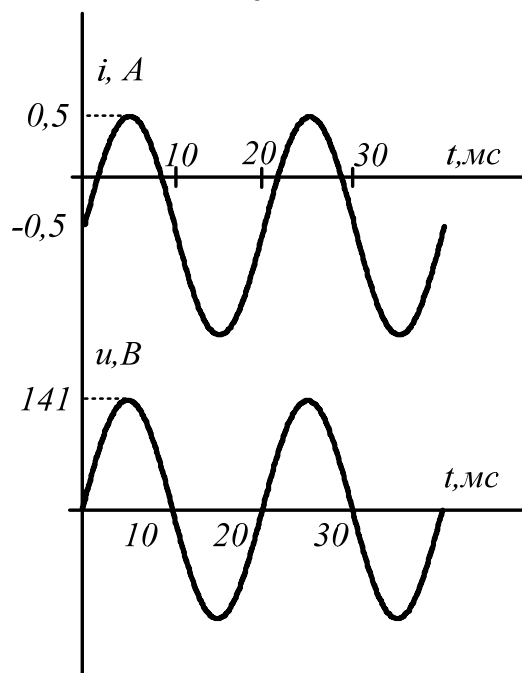


Рисунок 9.3

Вопросы к практическому занятию

1. Какую мощность измеряют ваттметры?
2. Как определяется показания ваттметра в цепи постоянного тока?
3. Как определяется показания ваттметра в цепи синусоидального тока?
4. Как определяется показания ваттметра в цепи несинусоидального тока?
5. При каком условии в цепи несинусоидального тока может мощность выделяться, а ваттметр показывать ноль?
6. Поясните принцип действия ваттметра.

Тема: Измерение сопротивления, емкости и индуктивности

Цель: Формирование у студента компетенции ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть.

Мостовые схемы. Широкое применение мостовых схем объясняется высокой точностью измерений, большой чувствительностью и возможностью измерения различных параметров электрических цепей (R , L , C), величин функционально с ними связанных (частота, фазовый угол) и ряда неэлектрических величин (температура, давление, перемещения, усилия и т.д.).

Наиболее точные измерения сопротивлений R постоянному току выполняются с помощью мостов постоянного тока. Эти мосты подразделяются на две группы: одинарные (четырёхплечие) и двойные (шестиплечие).

Одинарный мост (рисунок 10.1 а), называемый *мостом Уитстона*, применяют для измерения сопротивлений от 1 Ом до 100 МОм. Для измерения малых величин сопротивлений от 1 Ом и менее применяют двойной мост рисунок 10.1 б, называемый *мостом Томсона*, в котором влияние величин, вызывающих погрешность измерения, сведены к минимуму.

Одинарный мост (рисунок 10.1 а) состоит из четырех плеч: ab , be , cd и da .

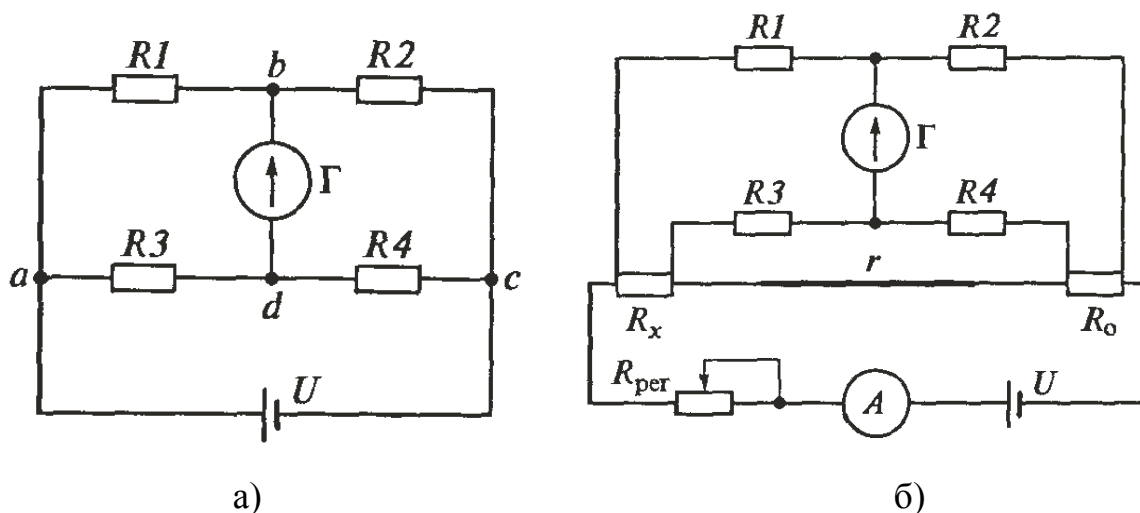


Рисунок 10.1

Три известных регулируемых сопротивления R_2 , R_3 , R_4 вместе с измеряемым сопротивлением $R_1 = R_x$ образуют замкнутый четырехполюсник $abcd$.

В измерительную диагональ моста bd включен указатель равновесия Γ , в качестве которого используется магнитоэлектрический гальванометр. В диагональ питания моста ac включается источник постоянного тока – аккумуляторная батарея или сухой элемент. Подбором значений сопротивлений R_2 , R_3 , R_4 добиваются отсутствия тока через гальванометр (потенциалы точек b и d равны) и, следовательно, $I_x \cdot R_x = I_3 \cdot R_3$; $I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4$.

Поскольку в момент равновесия моста ток через гальванометр не протекает $I_\Gamma = 0$, то $I_x = I_3$ и $I_2 = I_4$. Тогда правомерно записать $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$, откуда сопротивление

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}. \quad (10.1)$$

Сопротивления R_2 и R_4 – известные фиксированные сопротивления в диапазоне 1...1000 Ом. При этом отношение $\frac{R_2}{R_4}$ составляет от 10^{-3} до 10^3 .

Регулировкой сопротивления R_3 уравнивают мост. Погрешности измерения с помощью мостов постоянного тока зависят от диапазона измеряемых сопротивлений, наименьшие погрешности получают в диапазоне 100 Ом ... 100 кОм. По мере увеличения измеряемого сопротивления уменьшается чувствительность мостов, а при измерении больших сопротивлений сказывается влияние сопротивления изоляции.

Нижний предел измеряемых сопротивлений ограничен тем, что при измерении малых по величине сопротивлений сказывается влияние сопротивления монтажных проводов и переходных контактов. Эти погрешности исключаются в двойном мосте, представленном на рисунке 10.2, в котором использованы резисторы R_3 и R_4 , чтобы исключить влияние

сопротивления соединительного проводника r . Мост называется двойным, так как он содержит два комплекта плеч отношения.

При равновесии моста сопротивление R_x определяется выражением

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2} + \frac{r \cdot R_3}{r + R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_4}{R_3} \right). \quad (10.2)$$

На практике значения R_1 , R_2 , R_3 и R_4 выбирают такими, чтобы выполнялось соотношение

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}. \quad (10.3)$$

При этих условиях вторым членом в выражении (10.2) можно пренебречь. Чтобы проверить выполнение условия (10.3), мост уравнивается, а затем проводник r убирается, что не должно влиять на равновесие моста. Следовательно, двойной мост компенсирует малое сопротивление r .

В качестве нуль-индикаторов в мостах постоянного тока применяют высокочувствительные гальванометры или электронные устройства.

Двойной мост обеспечивает погрешность менее 0,05 % для сопротивлений в диапазоне $10^{-6} \dots 1$ Ом.

Мосты переменного тока. Измерение сопротивления, индуктивности и емкости выполняется одинарными мостами на переменном токе (рисунок 10.2).

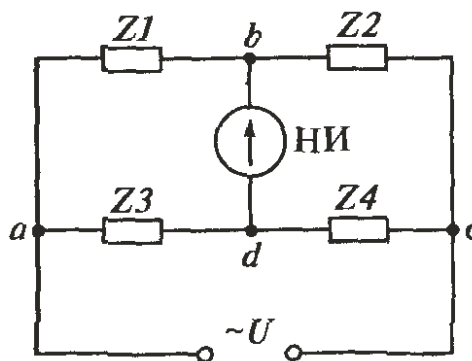


Рисунок 10.2

Четыре плеча ab , bc , cd и da моста переменного тока образуются четырьмя комплексными сопротивлениями $Z_1 = Z_x$, Z_2 , Z_3 и Z_4 . В одну диагональ моста

включается источник питания переменного тока, в другую – нуль-индикатор НИ.

При равновесии моста ток в измерительной диагонали равен нулю и, следовательно, можно записать

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3. \quad (10.4)$$

Записав выражение (10.4) в показательной форме, получим

$$z_1 \cdot z_4 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = z_2 \cdot z_3 \cdot e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)}, \quad (10.5)$$

где z_i – модуль i -го сопротивления; φ_i – фазовый угол i -го сопротивления, $\varphi_i = \arctg(X_i/R_i)$.

Равенство (10.5) равносильно двум равенствам

$$z_1 \cdot z_4 = z_2 \cdot z_3, \quad (10.6)$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3.$$

Из выражения (10.6) следует, что для уравнивания моста с комплексными сопротивлениями необходима регулировка активной и реактивной составляющих. Равенство фаз выражения (10.6) указывает, какими по характеру должны быть сопротивления плеч моста, чтобы обеспечить равновесие мостовой схемы.

Вместе с мостовыми схемами для определения R , L , C используются резонансный метод, основанный на резонансе напряжений $X_L = X_C$ и расчетный метод по результатам измерений: тока I , напряжения U и мощности P .

2. Задачи

1. Определить значения эквивалентного сопротивления $Z_{\Sigma} = R_{\Sigma} + j \cdot X_{\Sigma}$ цепи (рисунок 10.3) и сопротивления Z каждой ветви, если показания амперметра $I = 5$ А, вольтметра $U = 100$ В, ваттметра $P = 250$ Вт.

2. Определить, какому значению R_x соответствует состояние баланса моста (рисунок 10.4), если сопротивления плеч моста $R_2 = 5$ кОм, $R_3 = 1$ кОм, $R_4 = 5$ кОм, внутреннее сопротивление гальванометра $R_{\Gamma} = 0,6$ кОм. ЭДС

идеального источника напряжения $E = 2 \text{ В}$. Какой минимальной чувствительностью по току S_I должен обладать гальванометр, чтобы можно было измерить сопротивление R_x с относительной погрешностью $\gamma_{\text{отн}} = 2\%$.

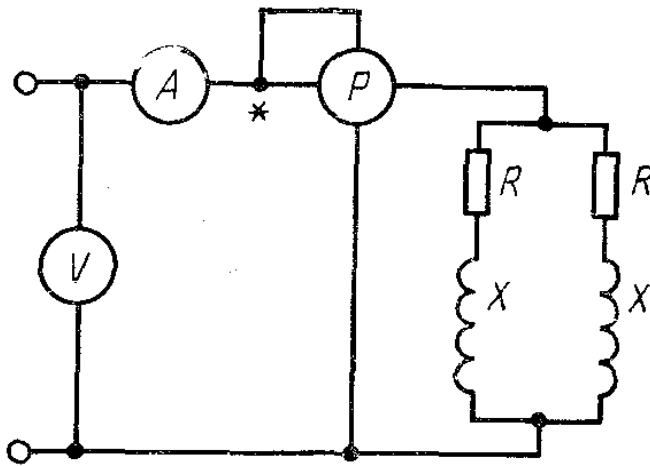


Рисунок 10.3

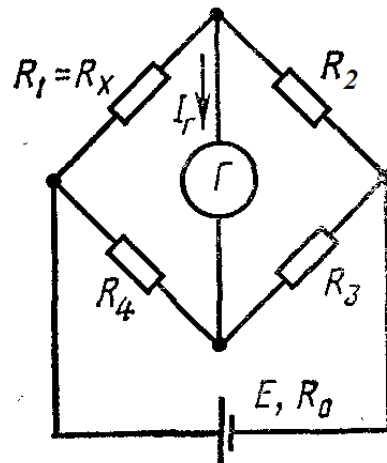


Рисунок 10.4

3. Определить значения индуктивности и сопротивления неизвестной катушки, если при равновесии моста типа Е7-4 (рисунок 10.5) получены следующие данные: плечо множителя $R_2 = 100 \text{ Ом}$; плечо сравнения $R_3 = 30 \text{ Ом}$; $C_3 = 1 \text{ мкФ}$; плечо отсчета $R_4 = 850 \text{ Ом}$.

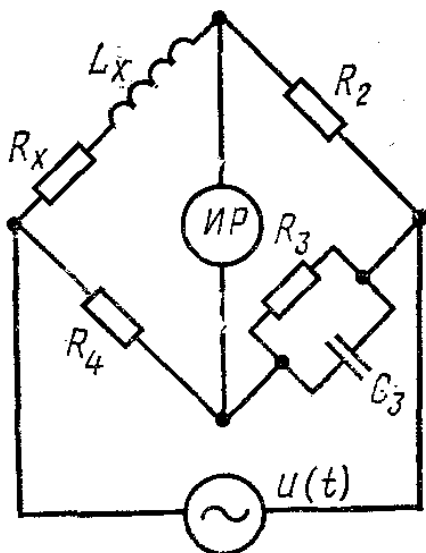


Рисунок 10.5

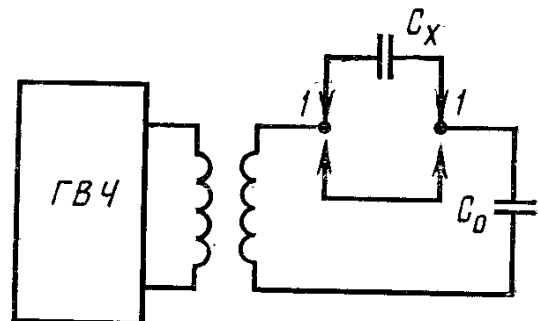


Рисунок 10.6

4. Определить емкость C_x конденсатора, измеряемую по схеме рисунок 10.6. Измерение осуществляется настройкой контура в резонанс: а) при закороченных зажимах $I-I$ ($C_{o1} = 480$ пФ); б) при подключении к зажимам $I-I$ конденсатора C_x ($C_{o2} = 1200$ пФ). Частота высокочастотного генератора ГВЧ остается при измерении постоянной.

Вопросы к практическому занятию

1. Какие вам известны методы измерения сопротивления, емкости и индуктивности?
2. Для каких целей используются мосты постоянного тока?
3. Для каких целей используются мосты переменного тока?
4. Зачем применяют двойные мосты постоянного тока?
5. Приведите уравнение баланса моста постоянного тока?
6. Какие условия необходимо выполнять при измерениях с помощью моста переменного тока? Поясните, почему.
7. Как узнать, какими по характеру должны быть сопротивления плеч моста, чтобы обеспечить равновесие мостовой схемы переменного тока?

Практическое занятие 11

Тема: Измерения осциллографом и определение параметров сигнала на их основе

1. Теоретическая часть

Осциллограф относится к классу приборов, способных обеспечить получение изображения в двух измерениях изменения мгновенного значения измеряемого параметра. С их помощью можно анализировать внутренние

процессы в электрической цепи в реальном времени. Осциллограф обеспечивает наблюдение, регистрацию и измерение параметров исследуемого электрического сигнала. Он является прибором для измерения напряжения, но это не исключает возможностей его применения для измерения других электрических параметров, таких, как ток и др. Обычным способом измерения значения тока является измерение напряжения на резисторе с известным номиналом при прохождении через него тока. Отображаемая осциллографом форма напряжения в точности соответствует форме тока. Однако при больших токах более предпочтительным является применение токового щупа, например, для снятия параметров синусоидальных токов может использоваться калиброванные трансформаторные токовые клещи. Однако такой щуп имеет ограниченные возможности из-за относительно ограниченного частотного диапазона. От этого недостатка свободны активные токовые щупы, работающие на эффекте Холла и позволяющие измерять осциллографом как периодические электрические величины со сложной формой, так и постоянный ток.

Наиболее используемыми являются *универсальные* осциллографы, которые имеют маркировку С1. Они могут быть однолучевыми и двухлучевыми.

С помощью осциллографа возможно проводить следующие измерения:

- а) измерение амплитудных параметров электрического сигнала;
- б) измерение временных параметров сигнала;
- в) измерение частот синусоидальных напряжений методом фигур Лиссажу;
- г) измерение фазового сдвига между двумя синусоидальными напряжениями методом эллипса и др.

На практике чаще всего осциллографы используются для измерений амплитудных и временных параметров сигнала. Рассмотрим несколько характерных примеров:

Пример 1. Как с помощью осциллографа, имеющего открытый и закрытый входы, измерить постоянную U_0 и переменную U'_m составляющие сигнала, изображенного на рисунке 11.1 ($U_m = 10$ В, $T = 10$ мс).

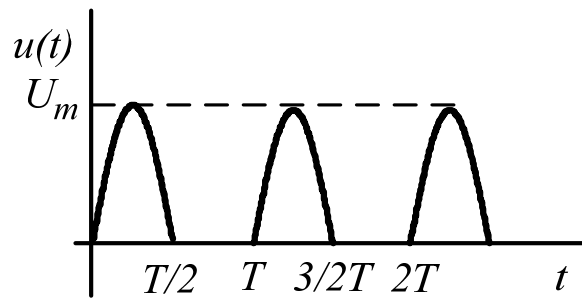


Рисунок 11.1

Решение. Сигнал подается на открытый вход осциллографа, и на экране устанавливается изображение, затем измеряется U_m . Далее сигнал подается на закрытый вход и определяется количество делений n , на которое опустится изображение по вертикали.

Постоянная составляющая

$$U_0 = n \cdot C_Y = 3,2,$$

где C_Y – цифровой индекс коэффициента отклонения. Амплитуда переменной составляющей

$$U'_m = U_m - U_0 = 6,8 \text{ В.}$$

Пример 2. Определить значение угла сдвига фаз ψ между двумя исследуемыми напряжениями $u_1 = U_{m1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi)$ и $u_2 = U_{m2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$, образующими на экране ЭЛТ эллипс (рисунок 11.2). Коэффициенты отклонения луча по осям X и Y составляют C_X и C_Y .

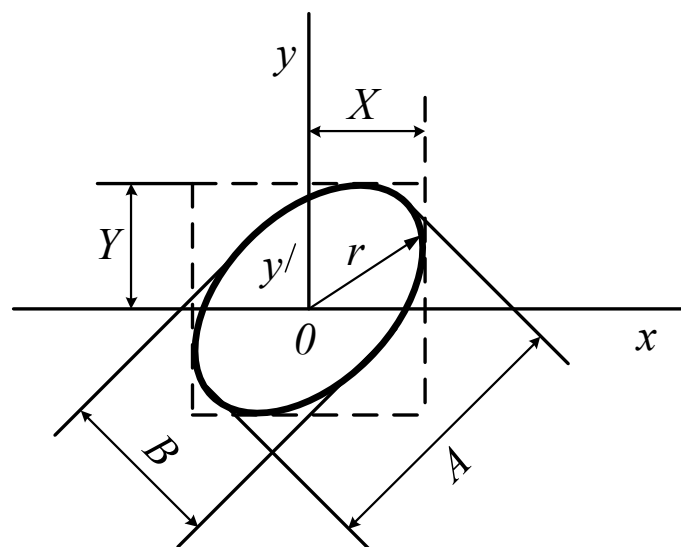


Рисунок 11.2

Решение. Исследуемые напряжения u_1 и u_2 подаются соответственно на Y - и X -входы осциллографа. Мгновенные отклонения луча на экране по осям x и y будут: $x = l_x \cdot u_2 = X \cdot \sin(\omega \cdot t)$; $y = l_y \cdot u_1 = Y \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi)$, где $X = l_x \cdot U_{m2}$; $Y = l_y \cdot U_{m1}$ – амплитуды отклонений луча. Электронный луч вычертит эллипс. Значение радиус-вектора, определяющего положение светящегося пятна в каждый момент времени,

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{X^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t) + Y^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \psi)}.$$

Считая $X = Y$, получим

$$r = X \cdot \sqrt{\sin^2(\omega \cdot t) + \sin^2(\omega \cdot t + \psi)}.$$

Оси эллипса определим из условия максимального и минимального значений $r(\omega \cdot t)$:

$$\frac{dr}{d(\omega \cdot t)} r = \frac{\sin(2 \cdot \omega \cdot t) + \sin 2 \cdot (\omega \cdot t + \psi)}{2 \cdot r} = 0; \quad (\omega \cdot t_1) = -\frac{\psi}{2}; \quad (\omega \cdot t_2) = \frac{\pi - \psi}{2}.$$

Длины большой и малой осей:

$$A = 2 \cdot r(\omega \cdot t_2) = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot X \cdot \cos\left(\frac{\psi}{2}\right); \quad B = 2 \cdot r(\omega \cdot t_1) = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot X \cdot \sin\left(\frac{\psi}{2}\right).$$

Угол сдвига фаз ψ определим из условия $\operatorname{tg}\left(\frac{\psi}{2}\right) = \frac{A}{B}$ или $\psi = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left(\frac{A}{B}\right)$.

2. Задачи

1. Определить амплитудное, среднеквадратичное и средневывпрямленное значения идеального прямоугольного импульса, изображенного на экране осциллографа (рисунок 11.3). Масштаб изображения 1:1; 1 дел = 5 мм. Коэффициент отклонения $C_Y = 0,1$ В/дел, длительность калиброванной развертки $D_p = 1$ мкс/дел.

2. Определить значение угла сдвига фаз ψ между двумя синусоидальными сигналами $u_1 = U_{m1} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ и $u_2 = U_{m2} \cdot \sin(\omega \cdot t - \psi)$ – по осциллограммам напряжений на экране осциллографа (рисунок 11.4).

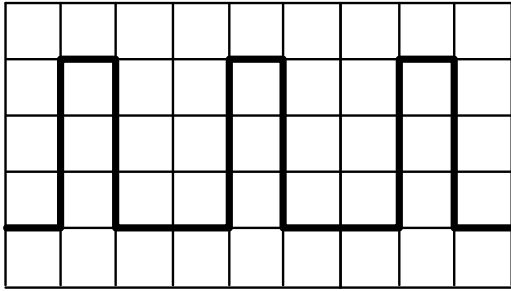


Рисунок 11.3

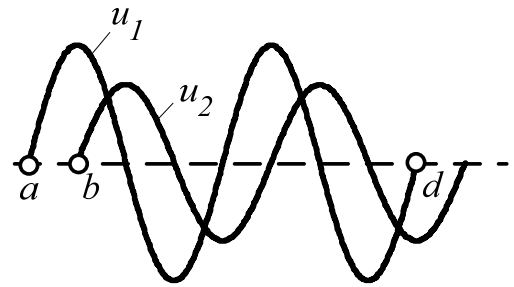


Рисунок 11.4

3. Для сигнала $u(t) = 10 + 2 \cdot \sin(628 \cdot t)$ В, требуется определить показание вольтметра среднеквадратических значений для случаев открытого и закрытого входов.

4. При измерении фазового сдвига четырехполюсника с помощью осциллографа методом линейной развертки получена осциллограмма, представленная на рисунке 11.5. Требуется найти интервал времени, соответствующий фазовому сдвигу, если измерение выполнено на частоте 10 кГц.

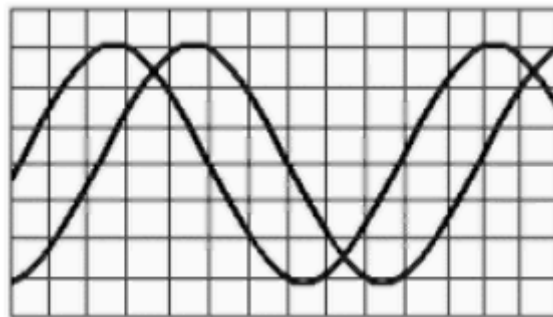


Рисунок 11.5

5. На экране электронного осциллографа (вход открытый) наблюдают сложный сигнал, состоящий из постоянной составляющей $U_0 = 5$ В и переменной (синусоидальной) составляющей с амплитудным значением 3 В. Необходимо определить среднеквадратическое значение этого сигнала.

6. Имеется 2 функции $u_1(t) = 3 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t + \pi / 4)$ и $u_2(t) = 3 \cdot \cos(\omega_2 \cdot t + \pi / 6)$, частота первого сигнала $f_1 = 100$ Гц, второго – $f_2 = 150$ Гц. Требуется отобразить осциллограмму этих сигналов.

Вопросы к практическому занятию

1. Поясните назначение осциллографа.
2. Что собой представляет осциллограф?
3. Какие измерения можно проводить осциллографом?
4. Как с помощью осциллографа определить постоянную составляющую и амплитудное значение переменной составляющей при несинусоидальном напряжении?
5. Что такое открытый вход осциллографа?
6. Что такое закрытый вход осциллографа?
7. Как по осциллограмме определить период исследуемой функции?
8. Как по осциллограмме определить амплитуду функции?

Практическое занятие 12

Тема: Расчет положения рабочей точки усилителя переменного напряжения

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Общие положения. Усилитель – устройство, в котором осуществляется увеличение мощности управляющего (входного) сигнала за счет энергии вспомогательного источника питания, причем функциональная связь между выходным и входным сигналами непрерывная и однозначная.

В усилителях, широко применяемых в промышленной электронике, в качестве активных компонентов используют транзисторы (биполярные и полевые) и усилительные интегральные микросхемы. Отметим, что усилители на микросхемах отличаются высокой надежностью, экономичностью, большим быстродействием, имеют малые размеры и массу, высокую чувствительность. Они позволяют усиливать очень слабые электрические сигналы (напряжение порядка 10^{-13} В, токи до 10^{-17} А, мощность порядка 10^{-24} Вт).

По диапазону частот электрических колебаний усилители можно разделить на:

- низкочастотные (УНЧ), работающие в пределах от 20 Гц до 20 кГц;
- высокочастотные (УВЧ), работающие в диапазоне сотен килогерц и выше;
- широкополосные, работающие в очень широкой полосе частот, используемые в устройствах импульсной связи, телевидения и радиолокации;
- избирательные (селективные), или полосовые, работающие в узкой полосе частот;
- усилители постоянного тока (УПТ), используемые в автоматике и телемеханике, измерительной технике и в счетно-решающих устройствах.

В зависимости от характера нагрузки усилители делятся на усилители *напряжения, тока и мощности*. Эти усилители в основном одинаковы по схемотехническим решениям, но отличаются типами применяемых приборов и режимом работы. Отметим, что такое разделение *условно*, так как, в конечном счете, имеет место всегда *усиление мощности*.

На основе нескольких последовательно соединенных усилителей создаются многокаскадные усилители.

Основные параметры усилителей электрических сигналов

Коэффициент усиления по напряжению (k_u) – это отношение напряжения выходного полезного сигнала ко входному полезному сигналу

$$k_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}.$$

Коэффициент усиления по току

$$k_i = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}.$$

Коэффициент усиления по мощности

$$k_p = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}.$$

Коэффициенты усиления по напряжению и току как правило являются комплексными величинами.

Коэффициент полезного действия представляет собой отношение выходной мощности, отдаваемой усилителем в нагрузку, к общей мощности, потребляемой от источника питания:

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_0}.$$

Входное и выходное сопротивления. Усилитель можно представить в виде активного четырехполюсника. В общем случае входное и выходное сопротивления усилителя являются комплексными величинами. Однако в области средних частот полосы пропускания их можно практически считать активными.

Входное сопротивление можно определить по выражению $R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}}.$

Выходное сопротивление $R_{\text{ВЫХ}}$ можно определить на основе двух измерений, а именно, из опыта холостого хода $R_{\text{Н}} = 0$, когда можно определить $U_{\text{ВЫХ XX}}$, и после включения на выход усилителя известного сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$:

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ XX}} - U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot R_{\text{Н}}.$$

О расчетах усилителей. Расчет усилителя, во-первых, предназначен для определения режимов работы активных элементов усилителя (в основном транзистора) по постоянному току, что позволяет определить такую рабочую точку, которая располагалась бы в активно (линейной) области его выходных

характеристик и позволяла бы усиливать полезный сигнал без искажений во всем диапазоне изменения его амплитуды. Второй расчет связан непосредственно с преобразованием (усилением) полезного входного сигнала и получением качественных показателей усилителя. Для обоих расчетов используются свои схемы замещения, так, в частности, во втором случае может использоваться схема замещения транзистора для малосигнальных параметров, когда транзистор рассматривается как линейный управляемый элемент схемы. Расчеты могут выполняться как путем графических построений, что, естественно, не дает высокой точности расчетов, но отличается наглядностью и трудоемкостью, и аналитически, что, в конечном итоге, позволяет использовать машинные методы расчетов. Отметим, что имеются современные программы схемотехнического моделирования электронных схем, когда на экране дисплея создается схема с указанием параметров ее элементов и после запуска программы на вычисление, она выдает результаты в виде числовых значений, графиков и т. д.

Наибольшее распространение получили усилители, в которых транзистор включается по схеме общего эмиттера (ОЭ).

2. Задачи

1. Для каскада, схема которого приведена на рисунке 12.1, определить рабочую точку транзистора, т.е. определить соответствующие значения I_K и $U_{КЭ}$. Известны параметры $R_1 = 39 \text{ кОм}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, $R_H = 10 \text{ кОм}$, $R_Э = 3,9 \text{ кОм}$, $\beta = 100$, $U_{БЭ} = 0,6 \text{ В}$, $I_{КБ0} = 0$ и $U = 12 \text{ В}$.

Указание. Сначала следует определять I_K затем $U_{КЭ}$ с применением закона Кирхгофа: поскольку задано, что $I_{КБ0} = 0$, то можно считать, что $I_K = \beta \cdot I_B$. Если в процессе расчетов встретится сочетание вида $\beta + 1$, то можно принять, что $\beta + 1 \approx \beta$.

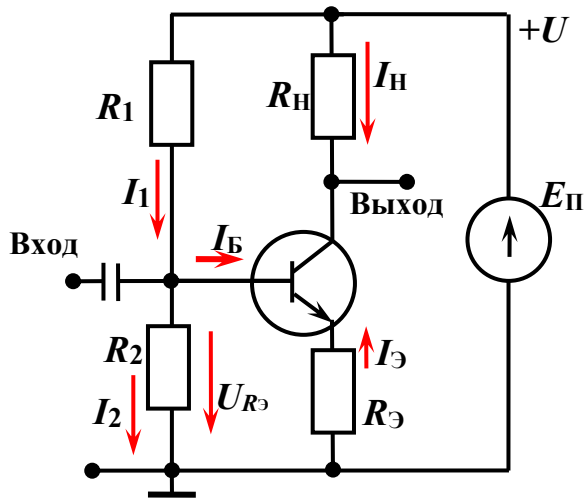


Рисунок 12.1

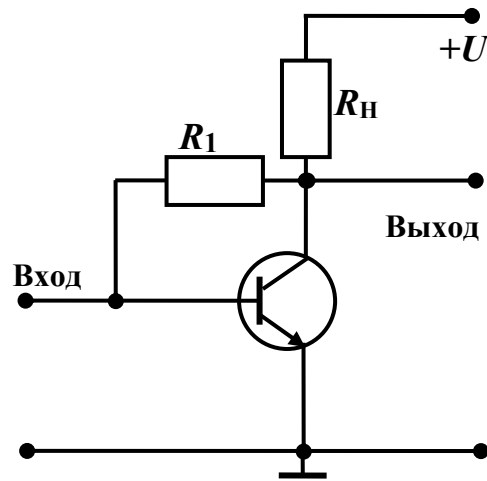


Рисунок 12.2

2. Для схемы на рисунке 12.2 определить ток коллектора I_K и напряжение $U_{KЭ}$, если $R_K = 6,8 \text{ кОм}$, $R_1 = 390 \text{ кОм}$, $U = 12 \text{ В}$, $\beta = 80$, $U_{БЭ} = 0,6 \text{ В}$. Принять $I_{КБ0} = 0$. Указание. Необходимо сначала рассчитать ток I_K . Принять $\beta + 1 \approx \beta$.

3. На рисунке 12.3 приведена схема усилительного каскада с общим эмиттером на транзисторе ГТ322А. Рассчитать сопротивление резистора R_B , при котором рабочая точка в режиме покоя усилителя будет находиться на середине линейных участков входной и переходной характеристик, если $E_K = 10 \text{ В}$ и $R_K = 1 \text{ кОм}$. Определить коэффициенты усиления по напряжению k_U , по току k_I , по мощности k_P , а также входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления усилительного каскада. Входная и выходные характеристики транзистора ГТ322А приведены на рисунке 12.4. Значения его h -параметров: $h_{11} = 330 \text{ Ом}$, $h_{21} = 56$, $h_{22} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ См}$.

Вопросы к практическому занятию

1. Что собой представляет усилитель электрических сигналов?
2. Приведите основные параметры усилителей электрических сигналов?
3. В чем заключается расчет усилителя на транзисторе по постоянному току?

Тема: Расчет преобразователей на базе операционных усилителей

1. Теоретическая часть

Операционные усилители (ОУ) – это усилители, название которых связано с использованием этих усилителей для моделирования операций.

На рисунке 13.1 а представлена схема инвертирующего усилителя. В исходном состоянии напряжение на входе и выходе усилителя равны нулю. Внешние резисторы $R1$, $R2$ образуют цепь ООС, резистор $R3$ используют для компенсации влияния входных токов ОУ, являющихся одной из причин дрейфа выходного напряжения.

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя:

$$K = -\frac{R2}{R1}$$

На рисунке 13.1 б представлена схема неинвертирующего усилителя. Здесь входной сигнал подают на неинвертирующий вход ОУ, сигнал на выходе имеет тот же знак.

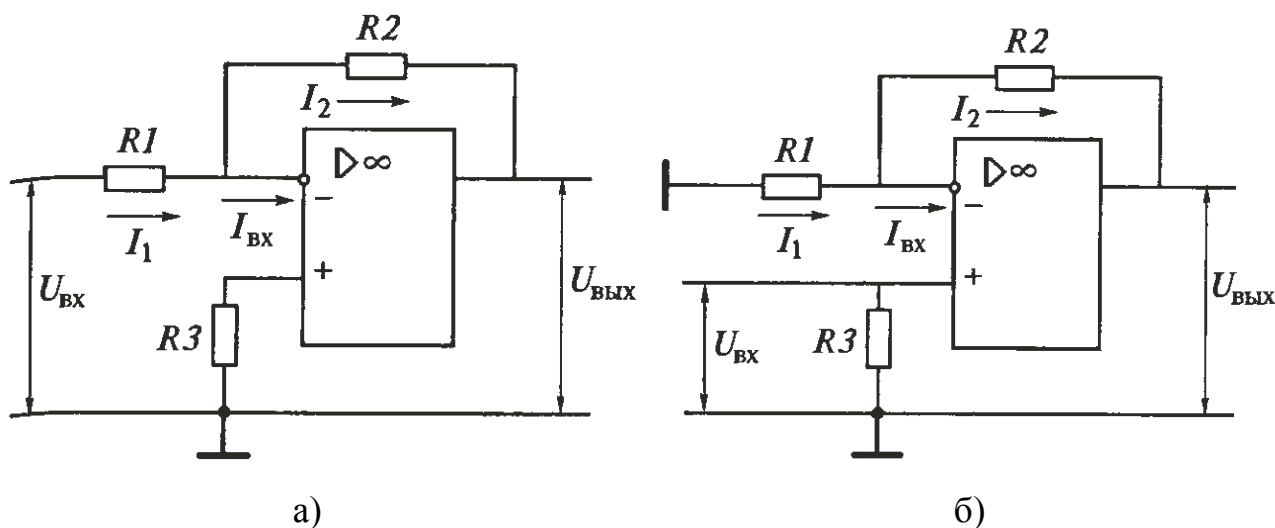


Рисунок 13.1

Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя:

$$K = 1 + \frac{R2}{R1}.$$

Назначением преобразователей на базе ОУ является реализация тех или иных алгоритмов обработки информационных сигналов в зависимости от назначения измерительного устройства. Преобразователи могут использоваться как самостоятельно, так и в составе многокаскадных усилителей.

На рисунке 13.2 а показана схема *повторителя* сигнала – функциональный узел, в котором входной и выходной сигналы одинаковы по знаку и величине. Коэффициент усиления повторителя $K = 1$.

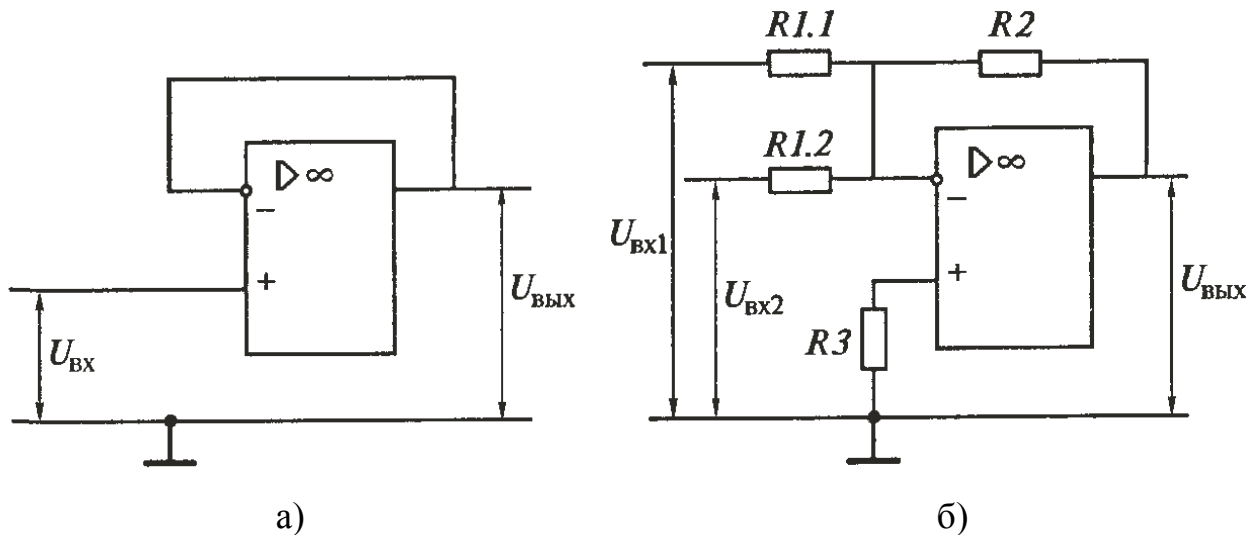


Рисунок 13.2

Повторитель используется для согласования высокоомного источника сигнала и низкоомной нагрузки.

На рисунке 13.2 б показана схема двухвходового *инвертирующего сумматора*. Здесь резисторы $R1.1$, $R1.2$ служат совместно с $R2$ для образования отрицательной обратной связи. Кроме того, резисторы $R1.1$ и $R1.2$ служат для взаимной развязки друг от друга источников сигналов. Для каждого источника входное сопротивление сумматора $R_{\text{вх сум}} \approx R1$, выходное сопротивление $R_{\text{вых сум}} \approx R_{\text{вых}}/2$.

2. Задачи

1. Определить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ неинвертирующего усилителя. Если параметры $R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 2 \text{ кОм}$ и входное напряжение изменяется по закону $u(t) = (1 + 5 \cdot \sin(\omega \cdot t)) \text{ В}$.

2. Определить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ инвертирующего усилителя. Если параметры $R1 = 10 \text{ кОм}$, $R2 = 25 \text{ кОм}$ и входное напряжение изменяется по закону $u(t) = (2 + 1 \cdot \sin(\omega \cdot t)) \text{ В}$.

3. Определить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ сумматора, если параметры $R1.1 = 1 \text{ кОм}$, $R1.2 = 2 \text{ кОм}$, $R2 = 4 \text{ кОм}$ и входное напряжение изменяется по закону $u_1(t) = (1 \cdot \sin(\omega \cdot t)) \text{ В}$, $u_2(t) = (1 + 1 \cdot \sin(\omega \cdot t)) \text{ В}$.

4. Определить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ сумматора, если параметры $R1.1 = 2 \text{ кОм}$, $R1.2 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 4 \text{ кОм}$ и входное напряжение изменяется по закону $u_1(t) = (2 \cdot \sin(\omega \cdot t)) \text{ В}$, $u_2(t) = (1 + 2 \cdot \sin(\omega \cdot t)) \text{ В}$.

Вопросы к практическому занятию

1. Что собой представляет операционный усилитель?
2. Приведите основные параметры операционных усилителей?
3. В чем заключается расчет преобразователей на базе операционных усилителей?
4. Как определяется коэффициент усиления инвертирующего усилителя?
5. Как определяется коэффициент усиления неинвертирующего усилителя?
6. Для чего используется повторитель на базе операционного усилителя?
7. Приведите схему трехвходового инвертирующего сумматора?

Практическое занятие 14

Тема: Основы алгебры логики и примеры ее использования при расчетах в энергосистемах

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Логическими сообщениями называются такие сообщения, истинность или ложность которых может быть оценена однозначно. Например: «Генератор включен». Каждое логическое сообщение может быть заменено математическим эквивалентом, *логической функцией*. Логическая функция $A=1$, если логическое сообщение истинно (например, «Генератор включен», если он действительно включен); $A=0$, если это сообщение ложное (генератор на самом деле выключен). Таким образом, логические функции в отличие от обычных функций принимают только два значения: 0 и 1.

При описании работы устройств автоматического управления, порядка проведения вычислительных работ, взаимосвязи физических явлений мы широко пользуемся логическими сообщениями. Но нам важны не только логические сообщения, но и связи между ними. Например, мы говорим: «Генератор включен, если включен тумблер на пульте оператора и включена блокировка защиты». Для математического описания связей между логическими сообщениями и функциями вводят *логические операции*. Рассмотрим три основные логические операции.

1. Операция НЕ (логическое отрицание или инверсия).

Логическое отрицание от функции A обозначается $\bar{A}$ (говорится «не A ») и определяется таблицей истинности (таблица 14.1), которая отражает связь между A и $\bar{A}$.

Таблица 14.1 – Таблица истинности операции НЕ

A	$\bar{A}$
0	1
1	0

Пример. Функция A : «Включен первый генератор».

Функция $\bar{A}$: «Первый генератор не включен».

Логические операции могут быть реализованы в виде электрических схем, называемых *логическими элементами*. На рисунок 14.1 а приведено обозначение логического элемента НЕ; временные диаграммы сигналов и пример реализации элементов НЕ изображена на рисунке 14.1 б.

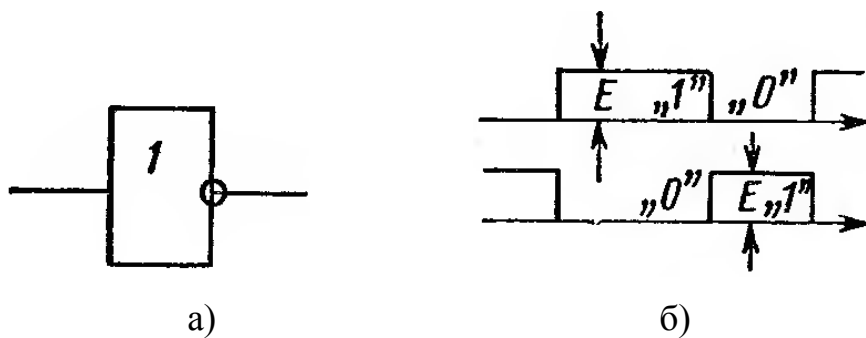


Рисунок 14.1

2. *Операция ИЛИ* (логическое сложение или *дизъюнкция*) обозначается в случае двух независимых аргументов $F = A \vee B$ либо $F = A + B$ (читается « A или B ») и определяется таблицей истинности (таблица 14.2). Операцию ИЛИ можно выполнить для трех и более независимых аргументов. Функция $F = 1$, если хотя бы одна из независимых переменных равна единице.

Таблица 14.2 – Таблица истинности операции ИЛИ

A	B	$F = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Логическая операция ИЛИ имеет тот же смысл, что и в обыденной речи. Например: «Двигатель можно включить ключом на пульте оператора *или* по

команде с ЭВМ». На рисунке 14.2 а приведено обозначение логического элемента ИЛИ, временные диаграммы сигналов на входе и выходе элемента рисунке 14.2 б.

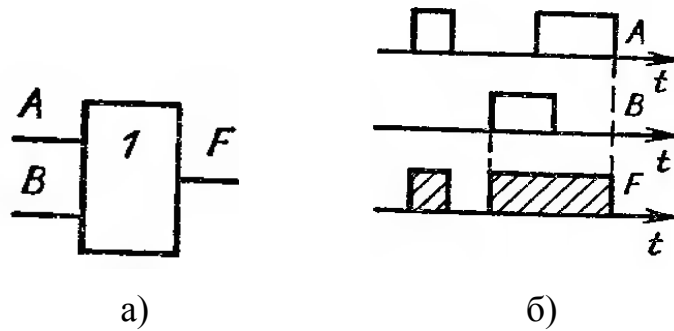


Рисунок 14.2

3. *Операция И* (логическое умножение или *конъюнкция*) обозначается $F=AB$ либо $F = A \wedge B$ (читается «*A* и *B*») и определяется таблицей истинности (таблица 14.3). Операцию логического умножения можно распространить на три и более независимых аргументов. Функция $F = 1$ только тогда, когда все независимые переменные единичны.

Таблица 14.3 – Таблица истинности операции И

A	B	$F = A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Логическая операция И имеет тот же смысл, что и в обыденной речи. Например: «Двигатель включен, если включен выключатель на пульте *и* включена система охлаждения двигателя». На рисунке 14.3 а приведено обозначение элемента И, временные диаграммы сигналов на входе и выходе элемента (рисунок 14.3).

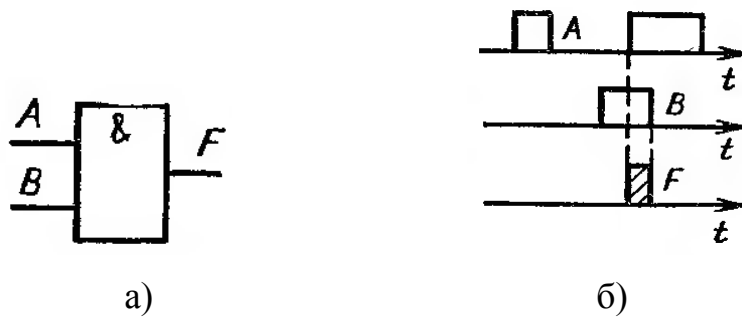


Рисунок 14.3

Алгебра логики является аналогом обычной алгебры. Ее особенность заключается в том, что аргументы и функции принимают только два значения: 0 и 1. Алгебра логики выполняет следующие функции:

1) позволяет математически записывать логические сообщения и связи между ними, что необходимо для определения порядка и принципа работы устройства;

2) позволяет реализовать логические уравнения в виде логических схем, т. е. переходить от аналитического описания процесса к его схемной реализации в виде *логического автомата*;

3) позволяет проводить реализацию логических автоматов в оптимальном виде (минимальное число элементов, их однородность, надежность функционирования и т. д.).

Порядок действий в алгебре логики следующий: сначала выполняется операция НЕ, затем И и наконец ИЛИ. Как и в обычной алгебре, для изменения порядка действий используются скобки. Не следует забывать, что операций вычитания и деления в алгебре логики нет. Справедливы переместительный и сочетательный законы:

$$\begin{aligned}
 A + B + C &= A + C + B = B + A + C, \\
 A \cdot B \cdot C &= A \cdot C \cdot B = B \cdot A \cdot C, \\
 A + B + C &= A + (B + C) = (A + B) + C, \\
 A \cdot B \cdot C &= A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C.
 \end{aligned}$$

Для осуществления операций над логическими выражениями пользуются рядом *тождеств*:

$$1) A + A = A; \quad 5) A \cdot A = A;$$

$$2) A + \bar{A} = 1; \quad 6) A \cdot \bar{A} = 0;$$

$$3) A + 0 = A; \quad 7) A \cdot 0 = 0;$$

$$4) A + 1 = 1; \quad 8) A \cdot 1 = A;$$

$$9) \bar{\bar{A}} = A;$$

$$10) A + A \cdot B + A \cdot C = A;$$

$$11) A + \bar{A} \cdot B = A + B.$$

Следующие тождества называются формулами де Моргана:

$$12) \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} = \overline{A \cdot B \cdot C}; \quad 13) \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} = \overline{A + B + C}.$$

2. Задачи

1. Требуется создать логическое устройство для подключения напряжения к агрегату. Агрегат может быть включен непосредственно ($A = 1$) или по команде с диспетчерского пункта ($B = 1$). Агрегат работает только тогда, когда напряжение питания $U \geq U_{\min}$ (логическая функция $C = 1$).

2. Найти логическую функцию электроснабжения нагрузки Н2 (Рисунок 12.4) и создать логическое устройство. Работа генератора Г1 – это $A = 1$, работа генератора Г2 – это $B = 1$. Линии между Г1 и Н2 – это $C = 1$, Г2 и Н1 – это $D = 1$, Н1 и Н2 – это $E = 1$.

3. Найти логическую функцию электроснабжения нагрузки Н3 от генератора Г1 (Рисунок 14.4). Работа генератора Г1 – это $A = 1$. Линии между Г1 и Н2 – это $B = 1$. Линии между Н1 и Н2 – это $C = 1$.

4. Найти логическую функцию электроснабжения нагрузки Н3 от генератора Г2 (Рисунок 14.4). Работа генератора Г2 – это $A = 1$. Линии между Г2 и Н1 – это $B = 1$. Линии между Н1 и Н2 – это $C = 1$. Линии между Н2 и Н3 – это $C = 1$.

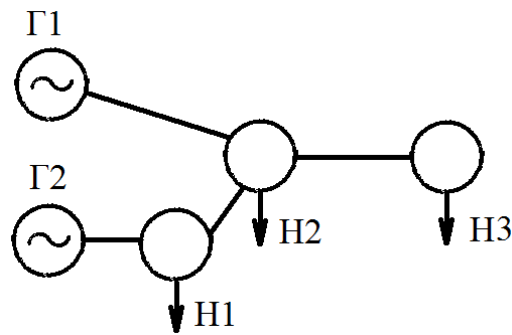


Рисунок 14.4

Вопросы к практическому занятию

1. Что такое логическая функция и какие значения она может принимать?
2. Что понимается под логическими операциями? Назовите их.
3. Поясните, что такое таблица истинности.
4. Что собой представляют логические элементы?
5. Что такое алгебра логики и каков порядок выполнения логических операций?
6. Каких операций нет в алгебре логики?
7. Какие законы алгебры логики вам известны?

Практическое занятие 15

Тема: Позиционные системы исчисления

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Записи числа в десятичной и двоичной системах счисления:

$$N_{10} = K \cdot 10^n + K \cdot 10^{n-1} + \dots + K \cdot 10^1 + K \cdot 10^0 + K \cdot 10^{-1} + K \cdot 10^{-2} + \dots;$$

$$N_2 = K \cdot 2^n + K \cdot 2^{n-1} + \dots + K \cdot 2^1 + K \cdot 2^0 + K \cdot 2^{-1} + K \cdot 2^{-2} + \dots,$$

где $K = 1$ или 0 ; n – номер старшего разряда.

В машинных операциях с двоичными числами важное значение имеет дополнительный код. Чтобы получить дополнительный код двоичного числа, надо в этом числе заменить 0 на 1, а 1 на 0 и к полученному числу прибавить 1. Например, если исходное число равно 10010, то дополнительный код равен $01101+1 = 01110$.

Для упрощения арифметических устройств вычислительных машин предпочитают вычитание числа заменять его сложением в дополнительном коде. Умножение и деление тоже заменяют сложением соответственно в прямом и дополнительном кодах. Таким образом, все арифметические операции в машине сводятся к одной: сложению двоичных чисел.

Веса первых 13 позиций (разрядов) цифр двоичного числа приведены в таблице 16.1, а эквиваленты десятичных чисел в двоичной и восьмеричной системах счисления – в таблице 16.2.

Таблица 16.1 – Веса первых 13 позиций (разрядов) цифр двоичного числа

2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

Таблица 16.2 – Десятичные числа в двоичной и восьмеричной системах счисления

Десятичное число	Двоичное число	Восьмеричное число
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	10
9	1001	11
10	1010	12
11	1011	13
12	1100	14
13	1101	15
14	1110	16
15	1111	17
16	10000	20

2. Задачи

1. Приведено арифметическое сложение одноразрядных двоичных чисел. В какой строке допущена ошибка?

- 1) $0+0=0$,
- 2) $0+1=1$,
- 3) $1+0=1$,
- 4) $1+1=1$,
- 5) $1+1=10$,
- 6) $1+1+1=11$.

2. Сколько единиц в десятичной системе соответствует записи числа в двоичной системе $1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$?

3. Какому числу в десятичной системе счисления соответствует двоичное число 1100_2 ?

4. Переведите в десятичную систему счисления число 110_5 .

5. Какому числу в двоичной системе соответствует десятичное число 21_{10} ?

6. Укажите результат сложения двоичных чисел 1001 и 11001 .

7. Найдите дополнительный код двоичного числа 0111 .

8. Осуществите следующие операции вычитания: $1101-111$; $101101-100111$; $1110010-1011101$.

9. Вычислите разность $58-23$ в двоичной арифметике с определением дополнительного кода.

Вопросы к практическому занятию

1. Как перевести число из десятичной системы счисления в двоичную?
2. Как перевести число из двоичной системы счисления в десятичную?
3. Как перевести число из десятичной системы счисления в восьмеричную?
4. Как перевести число из десятичной системы счисления в шестнадцатеричную?
5. Как получить дополнительный код двоичного числа?
6. Укажите правила сложения и вычитания двоичных чисел.
7. Укажите правила умножения и деления двоичных чисел.

Практическое занятие 16

Тема: Режимы работы триггеров

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Импульсный режим работы имеет ряд преимуществ перед непрерывным:

- 1). В импульсном режиме может быть достигнута значительная мощность во время действия импульсов при малом значении средней мощности устройства,
- 2). Импульсный режим позволяет ослабить влияние температуры и разброса параметров полупроводниковых приборов на работу устройств,
- 3). Импульсный режим дает возможность повысить скорость передачи информации и помехоустойчивость электронной аппаратуры,
- 4). Переход к дискретному представлению сигналов позволяет резко повысить точность измерительных устройств.

Для реализации импульсных устройств требуется большое число сравнительно простых однотипных элементов, легко выполняемых методами интегральной технологии. Импульсные устройства широко распространены в вычислительной технике, радиолокации, телевидении, автоматике, промышленной электронике. Импульсный режим лежит в основе работы ЭВМ.

В импульсных устройствах используются видеоимпульсы следующих форм: прямоугольные, трапецеидальные, экспоненциальные, колоколообразные и пилообразные. В радиолокации применяются радиоимпульсы.

Обычно импульсы следуют периодически с периодом

$$T = t_{\text{и}} + t_{\text{н}},$$

где $t_{\text{и}}$, $t_{\text{н}}$ – продолжительность соответственно импульса и паузы (рисунок 16.1).

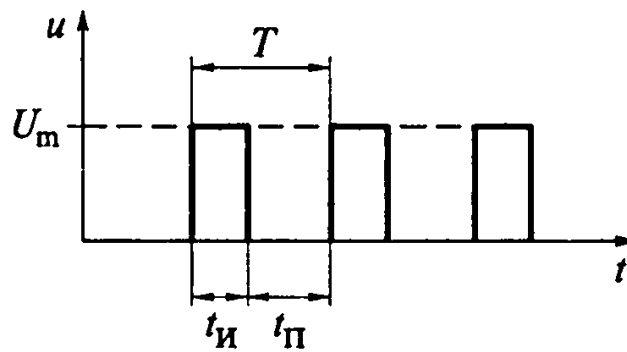


Рисунок 16.1

Частота повторения прямоугольных импульсов $F = 1/T$. Скважность $Q = T/t_{\text{И}}$ в автоматике и вычислительной технике колеблется в пределах $2 \dots 10$, а в радиолокации она может достигать 10000.

Упомянутые ранее формы имеют только идеализированные импульсы. Реальные импульсы искажены, что выражается в замедлении нарастания и убывания импульса, в спаде его плоской вершины (рисунок 16.2).

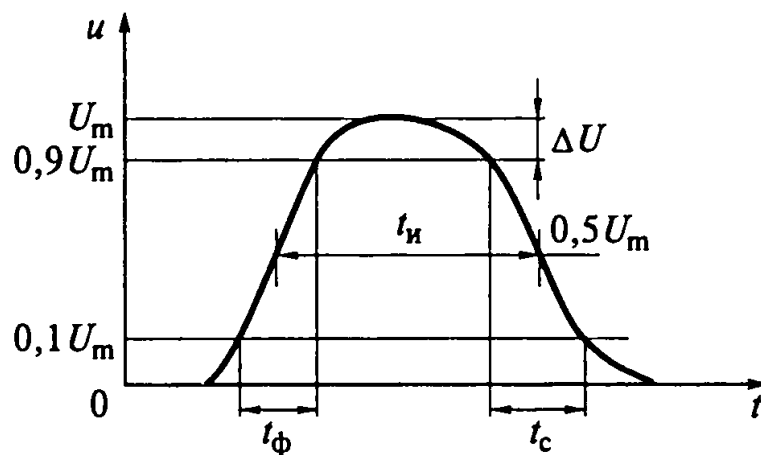


Рисунок 16.2

Реальные импульсы характеризуются следующими основными параметрами:

U_m – амплитуда импульса,

$t_{\text{ф}}$ – длительность фронта импульса – время нарастания его от $0,1 U_m$ до $0,9 U_m$,

t_c – длительность среза импульса – время убывания его от $0,9U_m$ до $0,1U_m$,

ΔU – спад вершины импульса.

Длительность импульса $t_{и}$, так называемую активную длительность, отсчитывают на уровне $0,5U_m$. Прямоугольным называется импульс, у которого длительности фронта и среза меньше $1/10$ длительности импульса.

Ипульсные устройства выполняются как на цифровых, так и на аналоговых микросхемах. Наиболее распространенными семействами микросхем являются ТТЛ, КМОП. Широко используются операционные усилители, таймеры.

Триггеры в отличие от логических элементов обладают памятью. Одновибратор (ждущий мультивибратор, моновибратор) предназначен для генерации одиночного прямоугольного импульса заданной длительности при воздействии запускающего импульса.

Автогенераторы прямоугольных импульсов (колебательные мультивибраторы) в отличие от одновибраторов характеризуются двумя чередующимися временно устойчивыми состояниями высокого и низкого напряжения. Частоту генерирования задают хранирующие (времязадающие) элементы – RC -цепь (одна или две). В режиме автоколебаний состояния устойчивого равновесия нет, а существуют два чередующихся состояния квазиравновесия.

2. Задачи

1. Триггер (рисунок 16.3) находится в единичном состоянии $Q = 1$ после прихода первого импульса $S = 1$. В каком состоянии окажется этот триггер после прихода второго импульса $S = 1$?

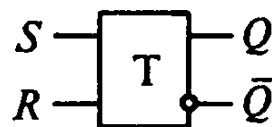


Рисунок 16.3

2. На рисунке 16.4 представлена схема инверсного RS -триггера на логических элементах И-НЕ. Какое состояние примут прямой Q и инверсный $\bar{Q}$ выходы этого триггера, если входные сигналы имеют значение $\bar{R} = 1$, $\bar{S} = 0$?

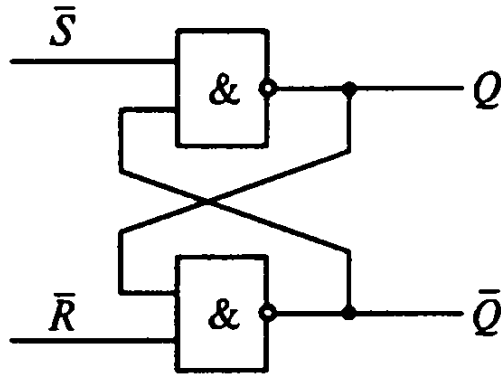


Рисунок 16.4

3. На рисунке 16.5 показана схема синхронного RS -триггера на логических элементах И-НЕ. В таблице 16.1 исходное состояние триггера на прямом выходе Q обозначено как q .

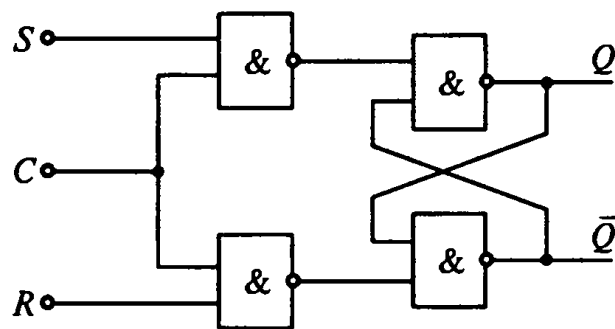


Рисунок 16.5

Таблица 16.1

Номер состояния	C	S	R	q	Q
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	1	0	0	0
4	0	1	0	1	0
5	1	0	0	0	0
6	1	0	0	1	1
7	1	1	0	0	1
8	1	0	1	1	0

На входы триггера поданы входные сигналы C , S и R со значениями, приведенными в указанной таблице. Какое состояние примет при этом выход Q ? (Укажите номер состояния, для которого приведено неправильное значение Q)

4. Синхронный D -триггер выполнен на инверсном RS -триггере с логическими элементами И-НЕ (рисунок 16.6). Входы $\bar{R}$ и $\bar{S}$ предназначены для начальной установки триггера. Какое состояние примут выходы Q и $\bar{Q}$ этого триггера, если заземлить вход $\bar{R}$ (т.е. $\bar{R} = 0$) при $\bar{S} = 1$?

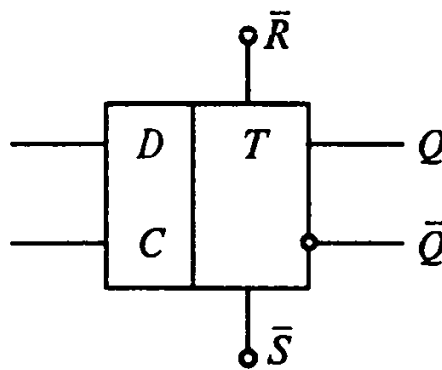


Рисунок 16.6

5. Синхронный JK -триггер (рисунок 16.7) имеет информационные входы J , K и вход синхронизации C . Исходное состояние триггера нулевое ($Q = 0$, $\bar{Q} = 1$). Какое состояние примут выходы и при перечисленных значениях сигналов J , K и C ?

- а) $J = 0$, $K = 0$ при $C = 0$,
- б) $J = 0$, $K = 0$ при $C = 1$,
- в) $J = 1$, $K = 0$ при $C = 0$,
- г) $J = 1$, $K = 0$ при $C = 1$,
- д) $J = 1$, $K = 1$ при $C = 0$,
- е) $J = 1$, $K = 1$ при $C = 1$.

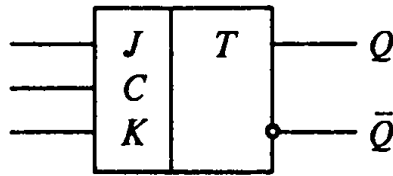


Рисунок 16.7

6. На рисунке 16.8 приведены различные варианты подключения входов универсального JK -триггера. Определите, каким типам триггеров они соответствуют:

а) I – D -триггер, II – асинхронный T -триггер, III – синхронный T -триггер, IV – RS - триггер;

б) I – RS -триггер, II – D -триггер, III – асинхронный T -триггер, IV – синхронный T -триггер;

в) I – асинхронный T -триггер, II – синхронный T -триггер, III – RS -триггер, IV – D -триггер;

г) I – синхронный T -триггер, II – RS -триггер, III – D -триггер, IV – асинхронный T -триггер;

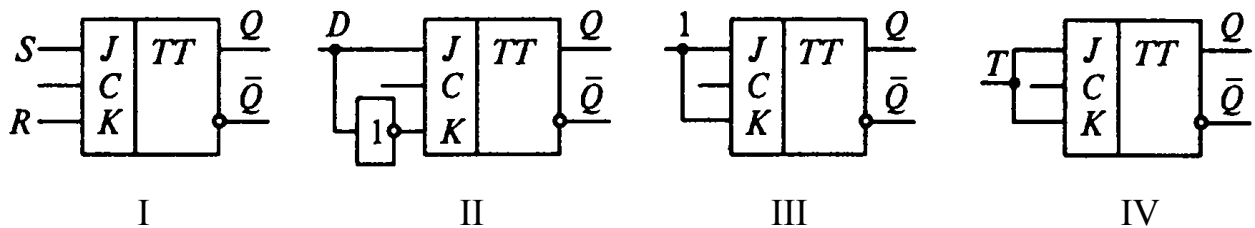


Рисунок 16.8

Вопросы к практическому занятию

1. Что такое триггерные устройства? Перечислите области их применения.
2. Перечислите известные вам типы триггеров.
3. Какими параметрами и характеристиками определяется работа триггеров в статическом и динамическом режимах?
4. Перечислите разновидности RS -триггеров.

5. Чем отличается синхронный RS -триггер от асинхронного?
6. Чем принципиально отличается работа T -триггера от работы RS -триггера?
7. Опишите работу JK -триггера в асинхронном и синхронном режимах.
8. Десять триггеров соединены последовательно. Каким способом лучше всего перевести их в состояние $Q = 0, \bar{Q} = 1$?
9. На входы JK -триггера поданы сигналы высокого уровня. Какой сигнал будет на выходе Q ?

Практическое занятие 17

Тема: Цифровые устройства: дешифраторы, регистры, счетчики

Цель: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4

1. Теоретическая часть

Устройства, оперирующие двоичной информацией, подразделяются на два больших класса: комбинационные схемы (дискретные автоматы без памяти) и последовательные устройства (дискретные автоматы с памятью).

Все комбинационные устройства не имеют памяти. Память – свойство системы сохранять в течение требуемого времени значения своих сигналов. Сигналы на выходах комбинационного устройства определяются сочетанием сигналов на входах и не зависят от его предыдущих состояний. Схемным признаком таких устройств служит отсутствие цепей обратных связей. К комбинационным устройствам относятся логические элементы, электронные ключи, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры, большинство арифметических устройств.

Последовательные устройства обладают памятью, и выходное состояние этих устройств определяется не только сменой входных сигналов, но и

состоянием, в котором устройство было до прихода этих сигналов. Показателем принадлежности устройства к последовательному типу является наличие в нем обратных связей. Простейшими последовательными устройствами являются триггеры. К этому же классу относятся регистры, счетчики, запоминающие устройства. В последовательных устройствах за счет памяти функция переходов определяется состоянием входов и выходов в двух соседних тактах – до и после воздействия сигналов. Эту пару тактов принято обозначать t^n и t^{n+1} . Запись $Q^n=1$ означает, что на выходе Q в интервале времени $t^n \leq t < t^{n+1}$ действует сигнал логической 1. Иногда вместо символов t^n и t^{n+1} применяют символы t^{n-1} и t^n .

2. Задачи

1. На дешифратор (рисунок 17.1) при $E = 1$ подан код $a_3a_2a_1 = 101$. На каком выходе будет логическая 1?
2. На дешифратор (рисунок 17.1) при $E = 0$ подан код $a_3a_2a_1 = 101$. На каком выходе будет логическая 1?

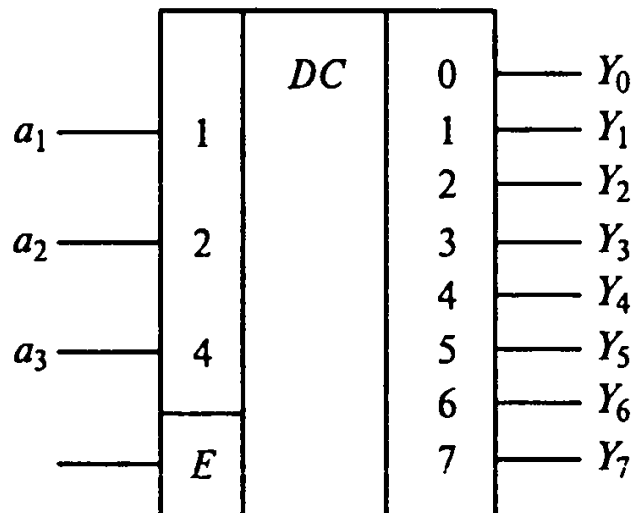


Рисунок 17.1

3. На рисунке 17.2 представлено условное обозначение четырехразрядного универсального сдвигающего регистра. Определите, какое из высказываний об этом регистре является ошибочным:

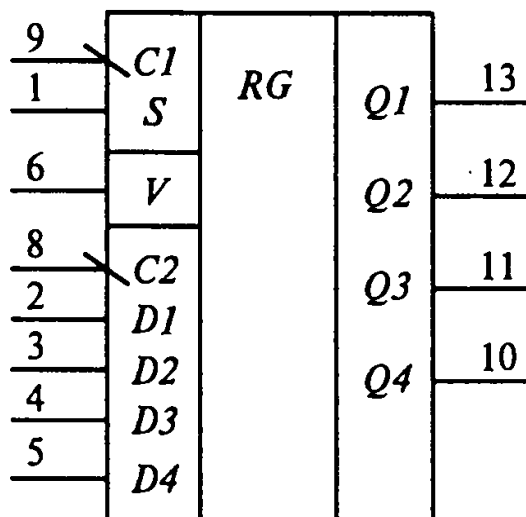


Рисунок 17.2

а) универсальный регистр можно использовать в качестве преобразователя параллельного кода в последовательный, и наоборот;

б) если на управляющем входе $V = 1$ (сигнал высокого уровня), то регистр производит параллельную запись информации с входов $D1 - D4$ по сигналу синхронизации на входе $C2$;

в) вход S служит для последовательного ввода информации в первый разряд регистра;

г) если на управляющем входе $V = 0$ (сигнал низкого уровня), то регистр работает в режиме сдвига по тактовым импульсам на входе $C1$.

4. Определите, какое из высказываний о цифровом счетчике (рисунок 17.3) является ошибочным:

- а) счетчик осуществляет счет поступающих на его вход T импульсов;
- б) результат счета счетчик хранит до прихода следующего импульса;
- в) считывание результата счета может осуществляться в промежутках между импульсами;
- г) счетчик состоит из цепочки последовательно включенных триггеров;
- д) счетчик преобразует натуральный двоичный код в унитарный;
- е) счетчик преобразует унитарный двоичный код в натуральный двоичный код.

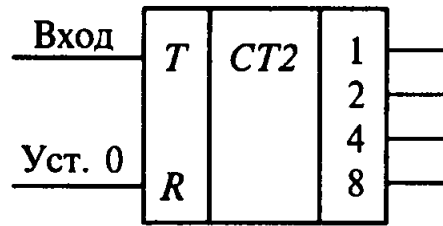


Рисунок 17.3

5. Какое из приведенных высказываний является ошибочным?

- а) в суммирующем счетчике (рисунок 17.4) прямой выход предыдущего триггера соединяется со входом последующего;
- б) выходной код суммирующего счетчика увеличивается на 1 с приходом каждого счетного импульса;
- в) в вычитающем счетчике тактовые входы триггеров подключаются к инверсным выходам предыдущих триггеров;
- г) выходной код вычитающего счетчика уменьшается на 1 с приходом каждого счетного импульса;
- д) в вычитающем счетчике можно осуществить предварительную установку кода, большего $K_{сч} - 1$;
- е) реверсивный счетчик с изменяемым направлением счета можно выполнить путем введения в состав счетчика мультиплексора, подключающего тактовые входы триггеров к прямым или инверсным выходам предыдущих триггеров.

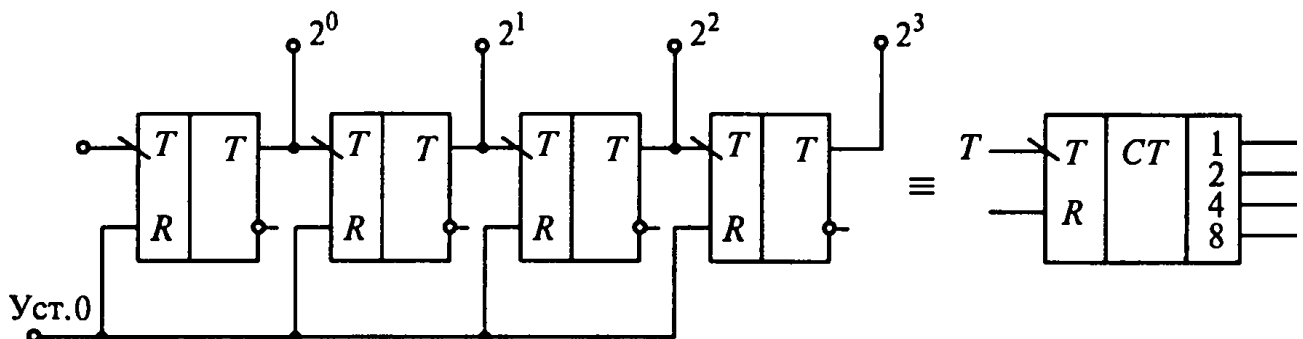


Рисунок 17.4

Вопросы к практическому занятию

1. Для чего нужен регистр?
2. Что такое регистр сдвига?
3. По каким признакам можно осуществить классификацию регистров?
4. Назначение дешифратора.
5. Какой код следует установить на входе дешифратора, чтобы возбудить выход № 11?
6. На выходе дешифратора установился код 0110, укажите номер возбужденного входа шифратора.
7. Для чего нужны счетчики?
8. Какие триггеры используются для реализации счетчика.
9. Какие типы счетчиков вы знаете?
10. Сколько триггеров нужно для десятичного счетчика?
11. Объясните принципы работы реверсивного счетчика

Практическое занятие 18

Тема: АЦП, ЦАП, микропроцессоры и микро ЭВМ

1. Теоретическая часть

Цифровые электронные устройства работают в двоичном коде, а большинство исполнительных механизмов автоматизированных систем управления, как правило, реагирует на аналоговые уровни напряжения или тока. Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) преобразует цифровую информацию в аналоговую. ЦАП используют также в бытовой электронике, например, в системах высококачественного воспроизведения звука, записанного в цифровой форме на компакт-дисках.

В системах управления информация о состоянии контролируемого промышленного оборудования снимается чаще всего в аналоговом виде. Для последующей обработки эта информация преобразуется в цифровую форму. Такое образование выполняют в два этапа. Вначале непрерывно изменяющийся сигнал измеряют в дискретные моменты времени. Затем полученные значения сигнала подают на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который с некоторым шагом квантования по уровню ΔU преобразует их в эквивалентные цифровые значения, представленные в двоичном коде.

Дискретизация во времени выполнена корректно, если возможно однозначное восстановление исходного аналогового сигнала. При этом исходный сигнал должен удовлетворять условиям:

- частотный (спектральный) состав исходного сигнала должен быть ограничен некоторой верхней граничной частотой $f_{\text{в}}$;
- частота дискретизации (следование отсчетов) $f_{\text{д}}$ должна быть больше или равна $2 f_{\text{в}}$.

Обычно выбирают частоту дискретизации $f_{\text{д}} = (3 \dots 10) f_{\text{в}}$.

Основными характеристиками ЦАП и АЦП являются быстродействие и погрешность преобразования.

Быстродействие – это время преобразования информации из одной формы в другую.

Погрешность преобразования определяется абсолютной погрешностью и относительной разрешающей способностью. Абсолютная погрешность преобразования равна половине шага квантования по уровню ΔU . При шаге квантования ΔU n -разрядный ЦАП обеспечивает 2^n различных значений выходного напряжения, максимальное значение которого, называемой напряжением шкалы,

$$U_{\text{шк}} = (2^n - 1) \Delta U.$$

Относительная разрешающая способность

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_{\text{шк}}} = \frac{1}{(2^n - 1)}.$$

Число уровней квантования напряжения

$$N = \frac{U_{\text{вх}}}{\Delta U}.$$

Период следования тактовых импульсов

$$T_{\text{т}} = 1 / f_{\text{т}},$$

где $f_{\text{т}}$ – тактовая частота, Гц.

Время преобразования в АЦП последовательного типа

$$t_{\text{пр}} = T_{\text{т}} N.$$

Число возможных состояний (коэффициент пересчета) двоичного счетчика $K_{\text{сч}} = 2^n$, где n – разрядность счетчика и число его триггеров.

Максимальное число счетчика равно $(2^n - 1)$.

Микропроцессоры (МП) предназначены для приема набора чисел (ввод), выполнения некоторых арифметических и логических операций над числами (обработка), хранение результатов тех или иных операций во внутренней памяти (регистрах), либо их выдаче в другие блоки микропроцессорной системы. МП может обрабатывать только двоичные числа. Информация, получаемая от приборов, перед обработкой МП должна быть преобразована в двоичную форму с помощью подсистемы ввода–вывода, присоединенной к МП.

Достоинством МП является большая скорость обработки данных. МП могут принимать, обрабатывать и выдавать данные со скоростями в миллионы бит в секунду.

Эволюция архитектуры МП пошла по нескольким различным направлениям, в результате чего появились следующие их классы:

- простые однокристалльные 4- и 8-разрядные контроллеры относительно невысокой производительности для применения в бытовых приборах и небольших подсистемах,

- быстродействующие секционные комплекты микропроцессорных БИС

для создания ЭВМ произвольной разрядности с наращиваемой системой команд,

– мощные однокристальные 16- и 32-разрядные интегральные схемы супер большой интеграции (ССБИС) с фиксированной системой команд для персональных ЭВМ, производительность которых приближается к производительности полупрофессиональных и мини ЭВМ,

– специализированные процессоры цифровой обработки, предназначенные для ускорения выполнения арифметических операций и алгоритмов спектрального анализа сигналов,

– аналоговые процессоры – устройства с аналоговыми входом и выходом, внутри которых вся обработка сигналов ведется в цифровом коде.

2. Задачи

1. В АЦП последовательного небалансного типа (рисунок 18.1) аналоговое напряжение $U_{\text{вх}}$ преобразуется формирователем временного интервала ФВИ в импульс длительностью $t_{\text{и}}$, пропорциональной величине $U_{\text{вх}}$. В течение времени $t_{\text{и}}$ элемент $И$ пропускает на вход двоичного счетчика $СТ$ импульсы стабильной частоты от тактового генератора импульсов $ГИ$. Счетчик формирует двоичный код Y , пропорциональный $U_{\text{вх}}$. Определите число разрядов счетчика n и время преобразования $t_{\text{пр}}$, если $U_{\text{вх}} = (0 \dots 10) \text{ В}$, шаг квантования $\Delta U = 0,01 \text{ В}$, тактовая частота $ГИ$ $f_{\text{Т}} = 1 \text{ МГц}$.

2. В АЦП балансного типа (рисунок 18.2) цифроаналоговый преобразователь преобразует код, снимаемый со счетчика, в аналоговое напряжение $U_{\text{цап}}$, пропорциональное коду. При равенстве напряжений $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{цап}}$ компаратор прекращает поступление импульсов на счетчик. В этот момент код счетчика Y будет пропорционален $U_{\text{вх}}$.

Определите верхнюю граничную частоту $f_{\text{в}}$ аналоговых сигналов, преобразуемых этим 10-разрядным АЦП последовательного счета, тактовая

частота которого $f_T = 10 \text{ МГц}$.

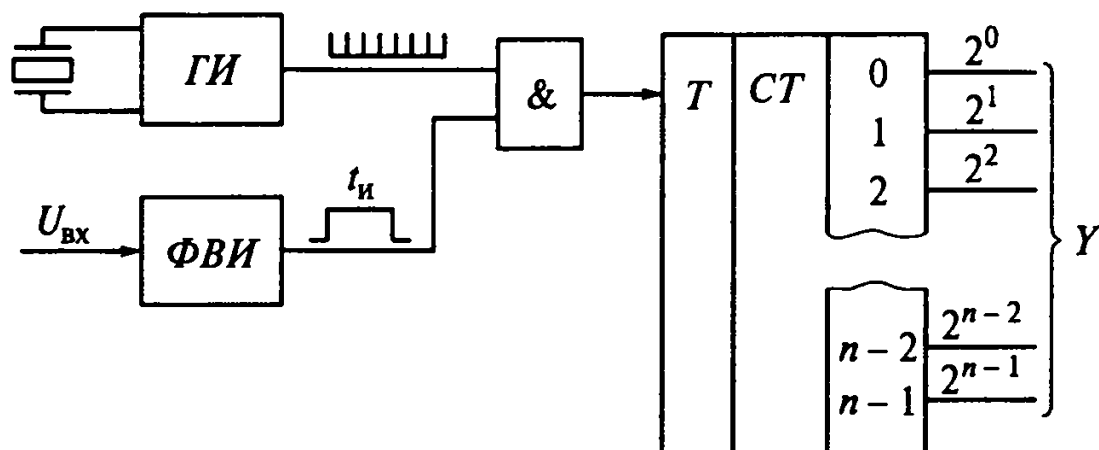


Рисунок 18.1

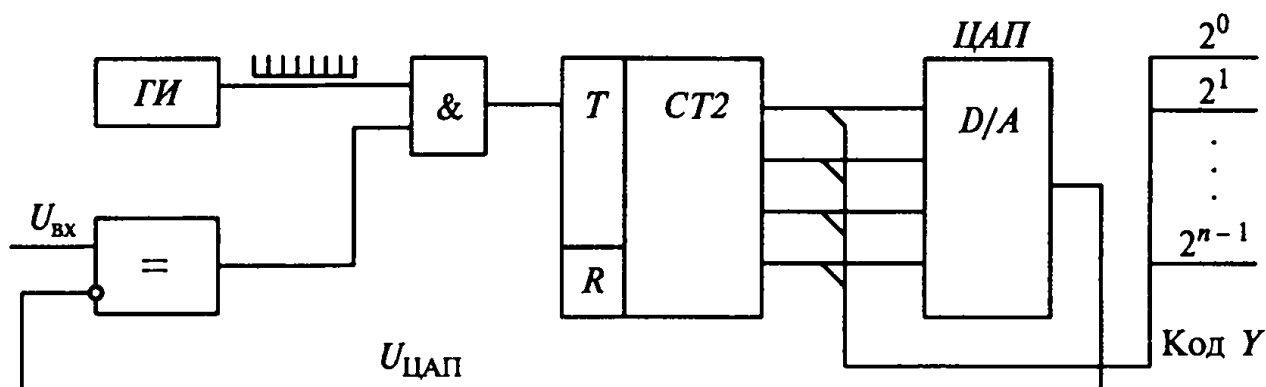


Рисунок 18.2

3. Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием (рисунок 18.3 а) используется в высокоточных цифровых вольтметрах постоянного тока. Он состоит из переключателя S , интегратора $DA1$, компаратора $DA2$, двоичного счетчика $CT2$ и системы управления CV . Вначале интегрируется входное напряжение $U_{ВХ}$ в течение времени $T_{ВХ}$, затем – опорное напряжение $U_{оп}$ противоположной полярности в течение времени $T_{оп}$ (рисунок 18.3 б). Преобразование аналогового сигнала $U_{ВХ}$ в цифровой сигнал на выходе счетчика $CT2$ является высокоточным по следующим причинам (укажите неправильный ответ):

- а) точность не зависит от величины емкости C интегратора $DA1$,
- б) точность не зависит от частоты тактовых импульсов U_T ,
- в) точность не зависит от нестабильности опорного напряжения $U_{оп}$,
- г) мало влияние сетевых помех на точность измерения,
- д) величина входного напряжения определяется как $U_{вх} = \frac{T_{оп}}{T_{вх}} U_{оп}$.

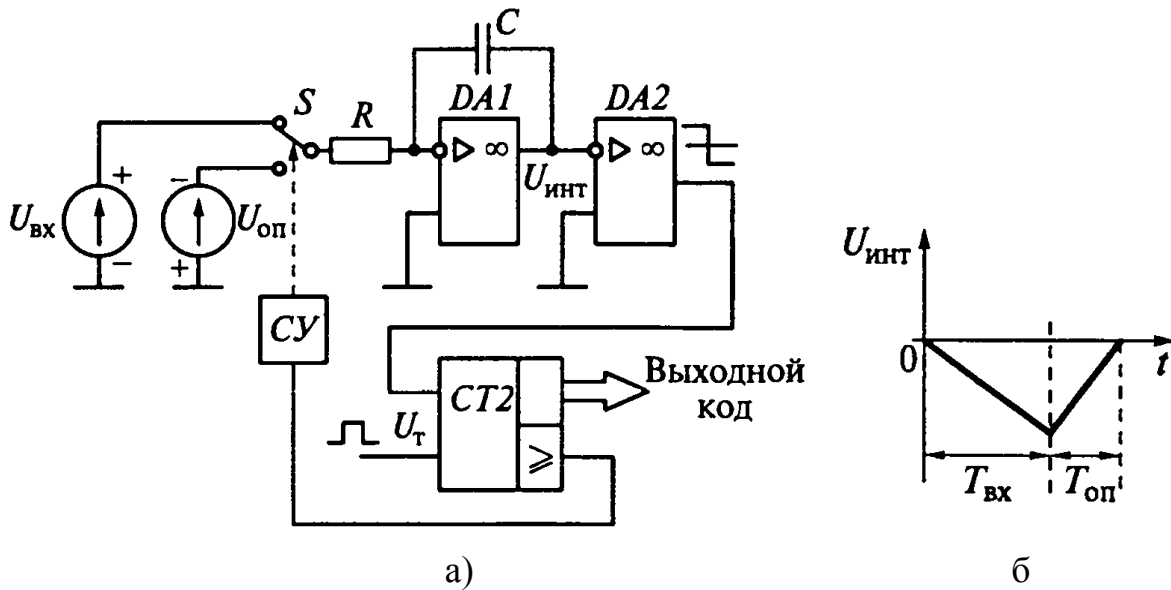


Рисунок 18.3

4. Схема простейшего ОЗУ – параллельного регистра – показана на рисунке 18.4. Регистр управляется сигналами X_3 (записи), X_R (установки нуля) и $X_{сч}$ (считывания). Какому номеру состояния в таблице 18.1 соответствует режим записи в регистр многоразрядного числа $a_0a_1 \dots a_{n-1}$?

Таблица 18.1

Номер состояния регистра	Сигналы управления		
	X_3	X_R	$X_{сч}$
1	0	0	0
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0	0	1

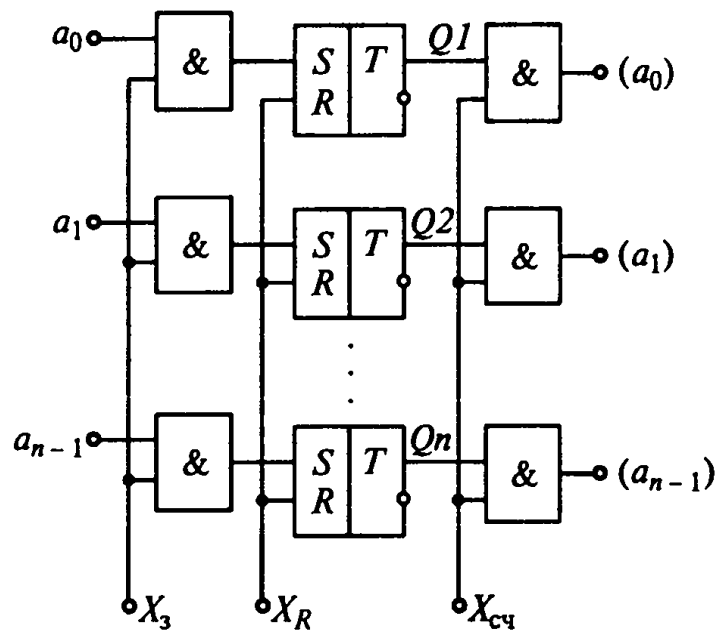


Рисунок 18.4

5. Используя данные, приведенные в предыдущем задании, определите, какому номеру состояния в таблице 18.1 соответствует режим хранения в параллельном регистре записанного многоразрядного числа $a_0a_1\dots a_{n-1}$?

6. Микросхемы микропроцессорных систем разработаны с учетом подключения входов и выходов нескольких микросхем к одной шине. Эти микросхемы на выходах Y имеют логический 0 или логическую 1, но при необходимости могут отключаться от шины, переходя в третье, высокоимпедансное состояние.

Для перехода в третье состояние со стороны выходов Y бесконечно велико, используется транзистор $VT5$ и резистор $R5$, управляемые сигналом Z (рисунок 18.5). Определите, при каком сочетании сигналов x_1 , x_2 и Z наступит третье состояние. Символ $\times$ означает, что состояние не имеет значения:

- а) $Z = 0$, $x_1 = 0$, $x_2 = 0$;
- б) $Z = 0$, $x_1 = 1$, $x_2 = 1$;
- в) $Z = 1$, $x_1(\times)$, $x_2(\times)$.

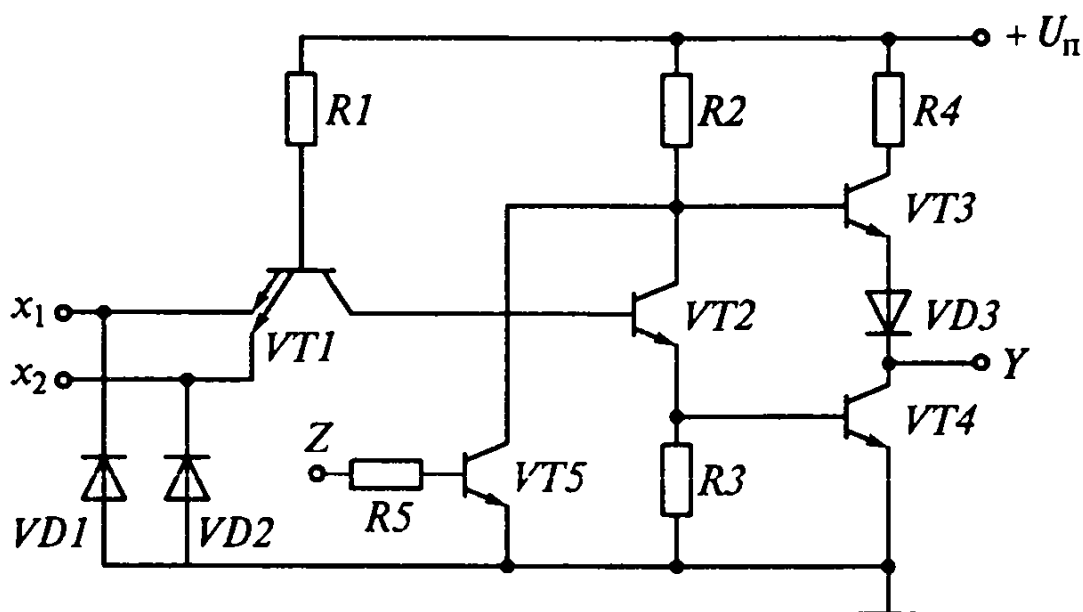


Рисунок 18.5

Вопросы к практическому занятию

1. Для чего предназначены АЦП и ЦАП?
2. Какой из АЦП последовательного действия обладает наибольшим быстродействием: с последовательным счетом, с поразрядным уравниванием или интегрирующий?
3. Что выполняется при преобразовании аналоговых величин в цифровые и наоборот: квантование по уровню, квантование по времени или квантование и по уровню, и по времени?
4. Что является элементом памяти в микросхемах ОЗУ, выполненных на биполярных транзисторах? на МОП-транзисторах?
5. Что вызывает наибольшие трудности при автоматизации: ситуация, когда алгоритм составлен некорректно, отладка отдельных частей программы или выбор датчиков?
6. Какими числами представлена информация, обрабатываемая микропроцессором: десятичными, двоичными или двоичными и десятичными числами?
7. Чем определяется разрядность микропроцессора: числом проводников его внешней шины данных, шины адреса или шины управления?

8. Чем определяется предельно возможный объем памяти, к которой может обращаться микропроцессор: числом ячеек памяти, сложностью выполняемых программ, разрядностью шины данных МП, разрядностью шины адреса МП?

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Информационно-измерительная техника и электроника: учебник для студ. высш.учеб. заведений / [Г.Г. Раннев, В.А. Сурогина, В.И. Калашников и др.]; под ред. Г.Г. Раннева. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 512 с.

Дополнительная литература

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.

3. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.

4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 496 с.

5. Лачин В.И. Электроника: учебник / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 440 с.

6. Сборник задач и упражнений по электрическим и электронным измерениям: Учеб. пособие для втузов / Атамалян Э.Г., Аствацатурьян Е.Р., Бодряшова О.Н. и др.; Под ред. Э. Г. Атамалян. – М: Высш. школа, 1980. – 117 с.

7. Полещук В.И. Задачник по электронике: практикум для студ. сред. проф. образования / В.И. Полещук. – М: «Академия», 2008. –160 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации лабораторной работы обучающихся
по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника»
для студентов направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Электроэнергетические системы и сети

Ставрополь
2026

Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1	7
Изучение принципов работы приборов для измерения напряжения, тока и мощности. Особенности их применения при измерениях синусоидальных и несинусоидальных электрических величин (4 ч).....	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2	24
Исследование полупроводниковых диодов и схем на их основе (4 ч)	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3	35
Исследование стабилитронов (4 ч).....	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4	39
Исследование биполярного транзистора и транзисторного каскада в режиме малого сигнала (4 ч)	39
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5	49
Операционные усилители (4 ч)	49
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6	57
Компараторы, сумматоры, дифференцирующие и интегрирующие схемы (4 ч)	57
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7	69
Логические схемы и функции (4 ч)	69
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8	79
Комбинационные цифровые устройства (4 ч).....	79
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9	92
Триггеры и счетчики (4 ч)	92
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	105

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Изучение принципов работы приборов для измерения напряжения, тока и мощности. Особенности их применения при измерениях синусоидальных и несинусоидальных электрических величин (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Знакомство с метрологическими требованиями к измерительным приборам.
2. Изучение аналоговых измерительных приборов с различными типами измерительных механизмов и особенностей их работы в цепях синусоидального и несинусоидального тока.
3. Изучение принципов измерения переменного тока без разрыва цепи: трансформаторный токовый датчик, клещевой цифровой мультиметр.
4. Изучение особенностей измерений в цепях синусоидального и несинусоидального токов: а) аналоговыми приборами; б) цифровым мультиметром; в) цифровым мультиметром с клещами.

Теоретическое обоснование

Понятие о метрологических характеристиках измерительных приборов.

Объектами электрических измерений являются все электрические и магнитные величины: ток, напряжение, мощность, магнитный поток и т. д. Измерения осуществляются электроизмерительными приборами (ИП). Они находят применение также для измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т. д.]. В этом случае неэлектрические величины преобразуются в пропорциональные им электрические величины.

По типу отсчетного механизма все ИП подразделяют на две группы: аналоговые (АИП) и цифровые (ЦИП). В АИП показания являются непрерывной функцией изменения входной измеряемой величины. Эти приборы используются либо для статических, либо для динамических измерений. Примером последних, например, является осциллограф. Для статических измерений применяются приборы, построенные на основе использования электромеханических измерительных механизмов (ИМ), электронные измерительные приборы (ЭИП), а

также цифровые измерительные приборы (ЦИП). Электромеханические ИП основаны на преобразовании электрической энергии входного сигнала в механическую энергию, чаще всего, угловое перемещение подвижного отсчетного устройства. Эти приборы для своей работы забирают некоторую энергию от измеряемой цепи. Включение таких приборов в исследуемую электрическую цепь изменяет режим ее работы и, как результат, обуславливает появление погрешности взаимодействия прибора в измеряемой цепи, т. е. появляется методическая погрешность измерения.

В некоторых электронных приборах электромеханический ИП используют в качестве выходного отсчетного устройства. В этом случае энергия для работы ИП поступает от вспомогательного источника энергии, например, от батареи или от питающей прибор электрической сети. Эти приборы создают заметно меньшую методическую погрешность. В ЦИП измеряемая или пропорциональная ей величина преобразуется в числовой эквивалент, который выводится на цифровой индикатор (дисплей). Современные ЦИП построены с использованием или микроконтроллера, или микропроцессора, что существенно повышает производительность и точность ЦИП. Эти приборы могут иметь дополнительные функции для обработки результатов измерения, автоматического выбора пределов измерения, распознавания полярности постоянного напряжения и т. д., а некоторые из них могут быть задействованными в автоматизированных измерительных установках и системах.

Основные понятия об электромеханических измерительных приборах (ЭМИП).

ЭМИП относятся к аналоговым ИП. Функционирование ЭМИП основано на использовании измерительных механизмов (ИМ), в которых реализуются различные физические принципы. ИМ обеспечивает преобразование значения измеряемой величины в пропорциональное изменение показания отсчетного устройства, например, стрелки прибора. ИП можно рассматривать как некоторое электромеханическое вычислительное устройство, у которого на отсчетное устройство выводится результат обработки входной величины по формуле, которая является аналитическим описанием физики работы ИМ. В этих ИМ вызывающему

поворот стрелки моменту вращения, функционально связанному с измеряемой величиной (чаще всего с током в измерительной катушке), противодействует момент сопротивления закручивающейся пружины. Необходимо иметь в виду, что имеются ИИ типа логометров. В логометрах эта пружина отсутствует, а стрелка поворачивается под воздействием двух токов, каждый из которых протекает по своей рамке, причем одна рамка создает момент вращения в направлении отсчета измеряемой величины, а другая рамка создает противодействующий момент. Стрелка устанавливается в том месте шкалы прибора, где эти два момента становятся равными. У логометров с противодействующей пружиной имеется корректор, позволяющий устанавливать стрелку на обесточенном приборе в нулевое положение.

В зависимости от используемого в приборе ИМ различают следующие ЭМИП:

- а) магнитоэлектрические;
- б) выпрямительные;
- в) термоэлектрические;
- г) электромагнитные;
- д) электродинамические;
- е) электростатические;
- ж) индукционные.

Конструкции ЭМИП различных систем изложены в учебной литературе. В зависимости от принципа исполнения ИМ, схемы его использования в ИП реализуются приборы для измерения тока, напряжения, мощности, электрической энергии и т. д.

Для правильного применения ИП важны его технические особенности. Эти особенности указываются на шкале условными обозначениями.

Цифровые средства измерений.

В практике электрических измерений все шире используются цифровые методы и средства преобразования, хранения, обработки, передачи и представления информации. Цифровые приборы вытесняют аналоговые средства при измерении самых различных физических величин. Среди цифровых средств измерений можно

выделить две большие группы: измерительные приборы и измерительные преобразователи. К первой группе обычно относят автономные ИП, предназначенные в основном для статических однократных измерений, обычно выполняемых вручную оператором (пользователем). Ко второй группе относят цифровые преобразователи, используемые в составе информационно-измерительных систем, измерительно-вычислительных систем и т. д. Преобразователи обладают высоким быстродействием.

Особенности работы электроизмерительных приборов в цепях постоянного, синусоидального и несинусоидального напряжений (токов)

1. Общие сведения по измерению параметров электрических сигналов

На практике электрические измерения производятся в широком диапазоне значений измеряемых величин и рабочих частот. В электрических цепях форма измеряемых электрических величин может существенно отличаться от классических форм функций времени: а) от формы неизменного во времени (постоянного) тока (напряжения); б) от формы синусоидального тока (напряжения). С несинусоидальными электрическими сигналами часто имеют дело при производстве измерений в преобразовательной и электродной технике, при переходных процессах, в электрических цепях переменного тока, в которых имеется хотя бы один элемент с нелинейной вольтамперной характеристикой. Поэтому имеет принципиальное значение выбор необходимой измерительной аппаратуры, четкое представление их принципа работы и с какими параметрами измеряемых величин следует интерпретировать их показания. Отметим, что при измерениях в цепях с несинусоидальными электрическими величинами измерение одной и той же величины приборами разных систем может дать несовпадающие результаты. При непонимании принципов работы приборов полученные результаты могут привести к неверным выводам. Поэтому в некоторых случаях, когда указываются режимы работы электрической цепи, то указываются типы приборов, с помощью которых эти измерения выполнены.

2. Особенности измерения в цепях постоянного тока

Напряжение постоянного тока от долей милливольт до сотен вольт можно измерять аналоговыми стрелочными вольтметрами с магнитоэлектрическим измерительным механизмом ИМ_(мэ). Они имеют достаточно высокую точность (класс точности до 0,05). Следует отметить, что входное сопротивление магнитоэлектрического вольтметра, которое определяется значением добавочного сопротивления, включаемого последовательно с измерительной рамкой прибора, не превышает десятков килоом. Это ограничивает их применение при измерениях в высокоомных цепях, например, в электронных, так как приводит к появлению методической погрешности.

Для измерения напряжения постоянного тока в высокоомных цепях целесообразно использовать электронные аналоговые приборы, в которых в качестве отсчетного устройства используется ИМ_(мэ), однако широкое распространение получило использование, например, цифровых мультиметров, переведенных в режим измерений постоянного напряжения (режим *DCV*).

Для измерения больших постоянных токов может также использоваться ИМ_(мэ), однако его подключают параллельно либо встроенному в прибор малоомному токовому шунту, либо внешнему шунту. В последнем случае шунт имеет метрологические характеристики (класс точности), а падение напряжения на нем при протекании номинального тока составляет 75 мВ. При применении ЦМ используется режим их работы по постоянному току (*A=*), а в цепь включается так же, как и амперметры, т. е. последовательно с нагрузкой. При этом ток не должен превышать указанного на пульте управления ЦМ.

В практике измерений больших постоянных токов находят применение мультиметры с клещами, однако конструкции этих клещей отличаются от рассмотренных выше тем, что в них встроены датчики Холла, параметры которых зависят от интенсивности постоянного магнитного поля, создаваемого проводником с постоянным током. Описание этих клещей в лабораторной работе не рассматривается. Эти же клещевые мультиметры способны выполнять измерение и переменных токов.

3. Особенности измерения в цепях синусоидального и несинусоидального (тока) напряжения

Измерение синусоидальных напряжений (токов) может выполняться аналоговыми приборами, в которых используются измерительные механизмы следующих систем: ИМ_(МЭ) с выпрямителем, например, типа тестер; ИМ_(ТЭ); ИМ_(ЭМ); аналоговыми электронными вольтметрами со стрелочным указателем на основе ИМ_(МЭ). В настоящее время широко используются ЦМ, в которых предусмотрен режим измерения переменного напряжения (*АСV*).

В большинстве случаев, если нет специальных указаний, вывод информации о величине тока (напряжения) в приборах осуществляется в действующих значениях синусоидально изменяющихся величин.

При этом необходимо иметь в виду следующее (далее формулы приведены применительно к измерению тока):

1) ИМ_(ЭМ) с выпрямителем реагирует:

– либо при однополупериодном выпрямлении на среднее значение переменного тока за полпериода

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i(t) dt, \quad (1.1)$$

– либо после двухполупериодного выпрямления на среднее значение переменного тока по модулю

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt. \quad (1.2)$$

При этом необходимо учесть, что для несинусоидального тока его среднее значение (1.2) зависит от фазового сдвига гармонических составляющих разложения функции $i(t)$.

Для синусоидального тока его действующее и среднее значения связаны коэффициентом формы

$$K_{\Phi} = I / I_{cp}. \quad (1.3)$$

2) ИМ_(ЭМ) и ИМ_(ЭД) реагирует на действующее (среднеквадратичное) значение переменного тока, при этом необходимо иметь в виду:

– при измерении синусоидального тока $i(t)$ показание прибора определяется действующим значением синусоидального тока, определяемого выражением

$$I = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^T i^2(t) dt}, \quad (1.4)$$

которое связано с амплитудой I_m синусоидального тока $i(t)$ выражением

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.71 \cdot I_m; \quad (1.5)$$

– при измерении несинусоидального тока $i(t)$ показание прибора определяется действующим значением I несинусоидального тока согласно выражению

$$I = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}, \quad (1.6)$$

где постоянная составляющая I_0 разложения несинусоидального тока определяется выражением

$$I_0 = \frac{1}{T_0} \int_0^T i(t) dt, \quad (1.7)$$

где $I_1, I_2, \dots$ – действующие значения первой, второй и т.д. гармоник несинусоидального тока $i(t)$.

3) Показания ЦМ в режиме измерения синусоидального напряжения (ACV) соответствуют действующему значению этого напряжения. При измерении несинусоидального напряжения ЦМ обычно показывает действующее значение несинусоидального напряжения, структура выражения которого соответствует выражению (1.6), но при этом не учитывается постоянная составляющая U_0 .

4. Измерению мощности. Общие сведения

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного однофазного тока чаще всего производится электродинамическими или ферродинамическими ваттметрами, работа которых основана на использовании ИМ_(ЭД).

Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных лабораторных многопредельных приборов. Их класс точности 0,1 – 0,5.

Ферродинамические ваттметры обычно используются в качестве щитовых приборов с классом точности 1,5 или 2,5.

Ваттметры имеют две обмотки: токовую и напряжения. Направление отклонения стрелки прибора зависит от подключения обмоток ваттметра, поэтому их зажимы имеют специальную маркировку, обеспечивающую правильное подключение прибора. Зажимы, обозначенные знаком * (звездочка), соединяются с проводами, идущими от источника питания. Зажимы, не имеющие этого обозначения, подключаются к нагрузке.

Частотный диапазон этих приборов ограничен, обычно он указывается на шкале прибора. Как правило, они используются при измерении мощности в цепях промышленной частоты.

При подведении к обмоткам ваттметра напряжения на нагрузке и протекающего тока через нагрузку показания прибора определяются выражениями:

– в цепях постоянного тока $P = U \cdot I$;

– в цепях синусоидального тока $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$, где φ – угол сдвига фаз между векторами напряжения и тока,

– в цепях несинусоидального тока

$$P = U_0 \cdot I_0 + U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + \dots,$$

где φ_k – угол сдвига фаз между напряжением и током k -ой гармоники.

Если к ваттметру будет подведено напряжение одной выделенной гармоники из спектра гармоник напряжения на нагрузке, то при условии, что в токе будет присутствовать ток этой гармоники, прибор покажет потребляемую нагрузкой мощность только этой гармоники.

Отметим, что на основе ИМ_(эд) может быть реализован варметр для измерения реактивной мощности.

В практике электрических измерений все большее применение находят электронные и цифровые приборы для измерения мощности.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Аналоговые электроизмерительные приборы с различными системами измерительных механизмов;

2. Трансформаторный токовый датчик;

3. Цифровой мультиметр и клещевой цифровой мультиметр;
4. Регулируемый источник переменного напряжения на основе ЛАТР и нагрузочный резистор (реостат).

Указания по технике безопасности

1. К работе на стендах допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры физики, электротехники и электроники и ознакомившиеся с настоящими методическими указаниями. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.
2. Лабораторная работа должна выполняться не менее чем двумя студентами.
3. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов.
4. Собранная цепь проверяется преподавателем и может включаться только по его разрешению. О включении напряжения предупреждают всех членов бригады, выполняющих работу.
5. Изменения схемы производят только при выключенном напряжении на стенде, а вновь собранная схема перед подачей на нее напряжения проверяется преподавателем.
6. По окончании испытания или при перерыве в работе схему отключают от напряжения питания. Разборку схему осуществляют по разрешению преподавателя.

Методика и порядок выполнения работы

Краткое описание схемы эксперимента

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.1.

В эксперименте используются приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и цифровой (*CDM*) систем. Системы стрелочных приборов на схеме показаны их условными обозначениями. Там же указаны рекомендуемые их номинальные значения. Соответствующий несинусоидальный режим в одноконтурной цепи создается выбором положения тумблера *SA1* схемы *VD*. В положении 1 тумблера *SA1* на участке цепи после

Форма тока фиксируется осциллографированием напряжения с добавочных резисторов $R_{доб}$.

Выполнение экспериментов по изучению работы приборов разных систем в условиях синусоидальных и несинусоидальных электрических величин.

1) при двухполупериодном выпрямлении (положение 1, тумблер $SA1$) по показанию амперметра pA_1 установите значение тока, заданное преподавателем, но не более 5 А.

В таблицу 1.1 записать показания всех приборов для двух положений тумблера $SA2$. Для каждого положения этого тумблера нарисуйте формы токов. В графах 3 и 13 через дробь делаются записи режимов ACV/DCV для ЦМ;

2) перейдите в режим однополупериодного выпрямления (положение 2, тумблер $SA1$) и для двух положений тумблера $SA2$ запишите показания всех приборов.

Нарисуйте формы токов.

Таблица 1.1 – Исследование работы измерительных приборов
разных систем

Положение <i>SA1</i>	<i>U</i> ₁ , В		<i>pA</i> ₁ , А	<i>CDM</i> ₁ , А	<i>pW</i> ₁ , Вт	<i>pA</i> ₂ , А	<i>CDM</i> ₂ , А	<i>pW</i> ₁ , Вт		<i>pA</i> ₃ , А	<i>U</i> ₂ , В	
		ЦМ		<i>CDM</i>			<i>CDM</i>	Положение <i>SA2</i>				ЦМ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Обработка экспериментальных данных

На основе анализа соответствующих данных таблицы 1.1 дать письменные ответы на следующие вопросы:

1. Рассмотреть варианты возможных расчетов величины сопротивления нагрузки R_H и выполнить соответствующие вычисления.

2. Объяснить причины соответствующих совпадений и несовпадений показаний электромагнитных приборов (графы 2 и 12).

3. Объяснить причины соответствующих совпадений и несовпадений показаний прибора ЦМ (графы 3 и 13).

4. Объяснить причины соответствующих совпадений и несовпадений показаний электромагнитного вольтметра и прибора ЦМ (графы 2 и 3).

5. Объяснить причины соответствующих совпадений и несовпадений показаний электромагнитного вольтметра и прибора ЦМ (графы 12 и 13).

6. Объяснить причину совпадений показаний приборов pW_1 и pW_2 только при определенном сочетании положений тумблеров $SA1$ и $SA2$. Указать, каком.

7. Объяснить причину равенства нулю показания ваттметра pW_2 при определенном сочетании положений тумблеров $SA1$ и $SA2$.

8. Объяснить природу изменения показаний ваттметра pW_2 в зависимости от положения тумблера $SA2$. Используя соответствующие показания, определите действующее и амплитудное значение первой гармоники тока, протекающего через нагрузку R_H .

9. Рассчитать показания прибора pA_2 (графа 7) через показания приборов CMD (графа 8) и pA_3 (графа 11).

10. В каком из положений переключателя $SA2$ показания ваттметра pW_2 будут верно отражать мощность, потребляемую нагрузкой R_H , и почему?

Примечание. Для ответа на приведенные выше вопросы необходимо иметь в виду следующее:

1. Показания приборов и их точность, например, при протекании несинусоидальных токов зависят от системы используемых в них измерительных механизмов, а токоизмерительные клещи не трансформируют постоянную составляющую несинусоидального тока, но при ее больших значениях вызывают однополярное подмагничивание магнитной системы ТТД с соответствующими последствиями.

2. При анализе поведения приборов и количественных соотношений необходимо иметь в виду (рисунок 1.2), что разложения соответствующих несинусоидальных функций $f(\omega t)$ имеют структуры:

– после однополупериодного (рисунок 1.2 а):

$$f(\omega t) = \frac{2a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right), \quad (1.1)$$

где постоянная составляющая $A_0 = A_{CP} = \frac{2a_m}{\pi} \cdot \frac{1}{2} = \frac{a_m}{\pi} = 0,318a_m$;

– после двухполупериодного (рисунок 1.2 б):

$$f(\omega t) = \frac{4a_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right), \quad (1.2)$$

где постоянная составляющая $A_0 = A_{CP} = \frac{4a_m}{\pi} \cdot \frac{1}{2} = \frac{2a_m}{\pi} = 0,388a_m$.

Обратите внимание на отсутствие в последнем разложении первой гармоники в функции $f(\omega t)$. При анализе показаний ваттметров pW_1 и pW_2 это необходимо иметь в виду.

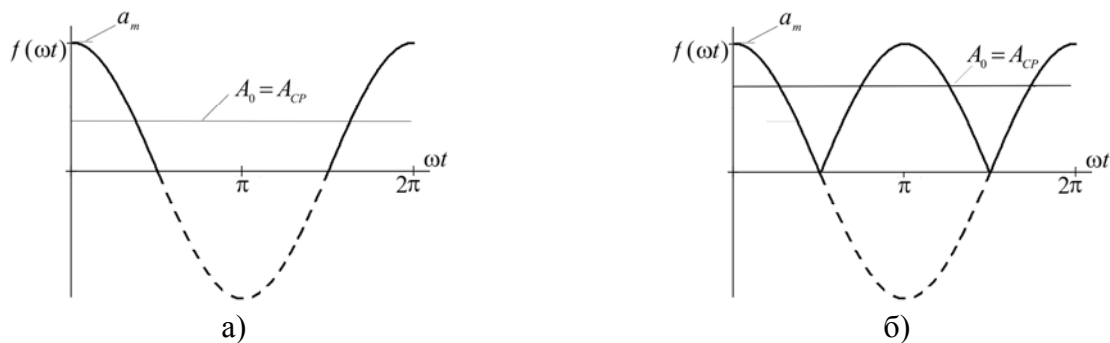


Рисунок 1.2 – а) Однополупериодное выпрямление, б) двухполупериодное выпрямление

При анализе показаний ваттметра pW_2 в зависимости от положения тумблера $SA2$ необходимо учесть, что фазовый угол k -той гармоники φ_k можно принять равным нулю (нагрузка R_H – активная).

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Каждый студент, выполнивший лабораторную работу, должен оформить отчет и предоставить его преподавателю.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Принципиальные схемы исследуемых цепей.
3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
4. Графики зависимостей, полученных в результате эксперимента и расчета.
5. Выводы по результатам работы, в которых должна быть дана оценка исследуемых явлений, подтверждение в выполнении законов, объяснение характера

кривых.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием Ф.И.О. студента, номера группы и даты выполнения работы.

Вопросы для защиты работы:

Примечание. Для ответа на некоторые из нижеприведенных вопросов по учебной литературе необходимо изучить работу соответствующих измерительных механизмов.

1. Амперметры тепловой и индукционной систем показали, соответственно, 10 и 9,6 А. Чему было бы равно показание магнитоэлектрического прибора в этой цепи?
2. Термоэлектрический амперметр измеряет ток, форма кривой которого задана на рисунке 1.3. Пренебрегая погрешностями прибора, определить его показание.

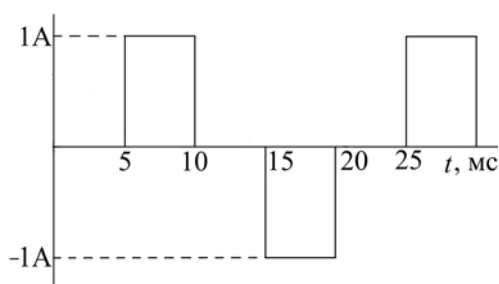


Рисунок 1.3 – Форма тока, измеряемого термоэлектрическим амперметром

3. Что покажут миллиамперметры магнитоэлектрической и выпрямительной (с однополупериодным выпрямителем) систем, включенные в цепь с переменным током прямоугольной формы амплитудой 10 мА?
4. Определить показания электродинамического амперметра, включенного в цепь тока, форма кривой которого изображена на рисунке 1.4. Погрешностями амперметра пренебречь.

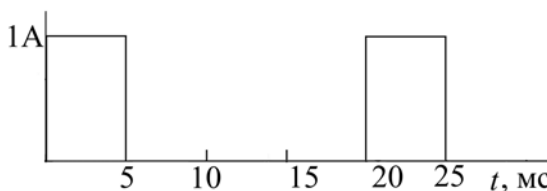


Рисунок 1.4 – Форма тока, измеряемого электродинамическим амперметром

5. Форма кривой напряжения, измеряемого электромагнитным вольтметром, приведена на рисунке 1.5. Пренебрегая погрешностями вольтметра, определить его показания.

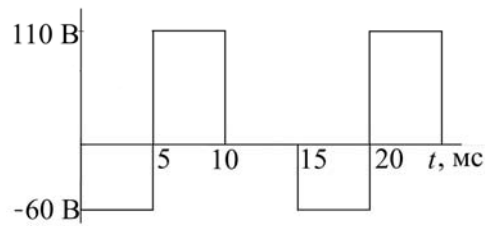


Рисунок 1.5 – Форма напряжения, измеряемого электромагнитным вольтметром

6. Устройство и принцип работы магнитоэлектрического измерительного механизма. Что покажет магнитоэлектрический амперметр при измерении тока с параметрами, приведенными на рисунке 1.4?

7. Устройство и принцип работы электромагнитного измерительного механизма. Что покажет амперметр этой системы при измерении тока с параметрами, приведенными на рисунке 1.3?

8. Устройство и принцип работы электродинамического измерительного механизма. Что покажет вольтметр этой системы при измерении напряжения с параметрами, приведенными на рисунке 1.5?

9. Устройство и принцип работы электростатического измерительного механизма. Что покажет вольтметр этой системы при измерении напряжения с параметрами, приведенными на рисунке 1.6?

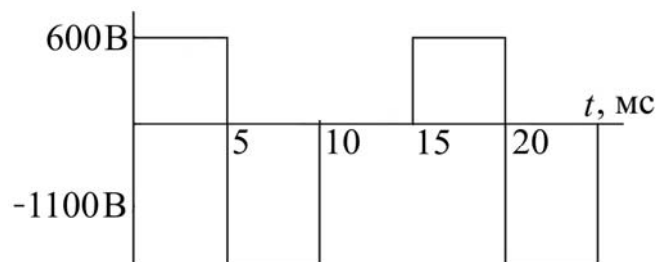


Рисунок 1.6 – Форма напряжения, измеряемого электростатическим вольтметром

10. Устройство и принцип работы цифрового мультиметра. Что покажет мультиметр в режиме *ACV* при измерении напряжения с формой, приведенной на рисунке 1.5?

11. Устройство и принцип работы цифрового мультиметра. Что покажет мультиметр в режиме *DCV* при измерении напряжения с формой, приведенной на рисунке 1.5?

12. Устройство и принцип работы цифрового мультиметра. Какие измерения

необходимо выполнить с помощью мультиметра, чтобы определить действующее значение суммы действующих гармоник напряжения, форма которого приведена на рисунке 1.5, и чему равно это напряжение?

13. Принцип действия клещевого мультиметра в режиме измерения переменного тока. Пренебрегая частотными погрешностями, определите показания этого мультиметра при измерении тока, форма которого приведена на рисунке 1.3.

14. Принцип действия клещевого мультиметра в режиме измерения переменного тока. Пренебрегая частотными погрешностями и влиянием подмагничивания постоянной составляющей тока, определите показания этого мультиметра при измерении тока, форма которого приведена на рисунке 1.4.

15. К ваттметру электродинамической системы подводятся ток и напряжение, формы которых приведены на рисунке 1.7. Определить показания ваттметра. Возможные частотные погрешности не учитывать.

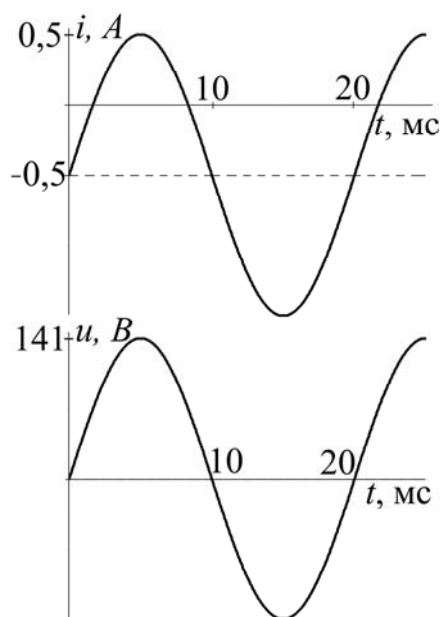


Рисунок 1.7 – Форма тока и напряжения, подведенных к ваттметру электродинамической системы

16. Определите возможные показания амперметров электромагнитной, электродинамической, магнитоэлектрической систем, а также клещевого мультиметра при измерении тока, форма которого приведена на рисунке 1.7.

17. Можно ли с помощью клещевого *CDM* выполнять измерения в цепях несинусоидального тока? Если да, тогда что при этом необходимо принимать во внимание? Какого типа клещевой *CDM* должен быть, чтобы выполнить

безразрывное измерение постоянного тока в цепи?

18. Объясните, в чем разница между формулами (1.1) и (1.2)? Что покажет магнитоэлектрический вольтметр без выпрямителя с однополупериодным и двухполупериодным выпрямлением при измерении несинусоидального напряжения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Исследование полупроводниковых диодов и схем на их основе (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Исследование напряжения и тока диода при прямом и обратном смещении p - n перехода.
2. Построение и исследование вольт-амперной характеристики (ВАХ) полупроводникового диода.
3. Исследование сопротивления диода при прямом и обратном смещении по ВАХ.
4. Анализ процессов в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

Теоретическое обоснование

Одним из достоинств *Electronic Workbench* является возможность моделировать работу различных схем, а также освоить методики измерения. В данной лабораторной работе моделирование работы диода и диодного моста осуществляется на примере диода 1N4001. Полупроводниковый диод содержит один p - n переход и имеет два вывода от p и n областей. Наиболее распространены две группы диодов – выпрямительные и импульсные. Выпрямительные диоды, в которых используется основное свойство p - n перехода – его односторонняя проводимость, применяют главным образом для выпрямления переменного тока в диапазоне частот от 50 Гц до 100 кГц.

Основными параметрами выпрямительных диодов являются:

– *Постоянное прямое напряжение* $U_{\text{пр}}$ при определенном для каждого диода постоянном прямом токе или среднее прямое напряжение в схеме однополупериодного выпрямителя при определенном *среднем прямом токе* $I_{\text{пр.ср}}$ и максимально допустимом обратном напряжении.

– *Постоянный обратный ток* $I_{\text{обр}}$ при определенном постоянном обратном напряжении или *средний обратный ток* $I_{\text{обр.ср}}$ в схеме однополупериодного

выпрямителя при максимально допустимом обратном напряжении и определенном среднем прямом токе.

– Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{\text{ОБР.МАХ}}$.

Максимально допустимый средний прямой ток $I_{\text{ПР.СР.МАХ}}$, обычно определяемый как средний за период прямой ток в схеме однополупериодного выпрямителя. Превышение $U_{\text{ОБР.МАХ}}$ переводит диод в режим пробоя.

Напряжение на диоде измеряется при подключении к диоду через резистор источников напряжения различной величины. Ток диода при этом вычисляется из выражения:

$$I_{\text{ПР}} = (E - U_{\text{ПР}}) / R, \quad (2.1)$$

где E – напряжение источника питания; $U_{\text{ПР}}$ – напряжение на диоде в прямом направлении; $I_{\text{ПР}}$ – ток диода в прямом направлении.

Изменив полярность включения диода можно вычислить ток диода в обратном направлении:

$$I_{\text{ОБ}} = (E - U_{\text{ОБ}}) / R, \quad (2.2)$$

где $I_{\text{ОБ}}$ – ток диода в обратном направлении, $U_{\text{ОБ}}$ – напряжение на диоде в обратном направлении.

Из-за нелинейности диода его нельзя характеризовать величиной сопротивления, как линейный резистор. Отношение напряжения на диоде к току через него U/I , называемое статическим сопротивлением, зависит от величины тока. Кроме того, диод характеризуют дифференциальным (динамическим) сопротивлением dU/dI .

Среднее значение выходного напряжения U_d однополупериодного выпрямителя вычисляется по формуле:

$$U_d = U_m / \pi. \quad (2.3)$$

Частота выходного сигнала: $f = 1/T$.

Для двухполупериодного выпрямителя U_d и f в 2 раза больше чем у однополупериодного.

Максимальное обратное напряжение U_{MAX} на каждом диоде двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора равно разности удвоенного максимального значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_{2m} и прямого падения напряжения на диоде $U_{пр}$:

$$U_{MAX} = U_{2m} - U_{пр}. \quad (2.4)$$

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Функциональный генератор;
2. Мультиметр;
3. Осциллограф;
4. Источник постоянного напряжения;
5. Источник переменного напряжения;
6. Трансформаторы;
7. Кремниевые диоды 1N4001;
8. Резисторы.

Указания по технике безопасности

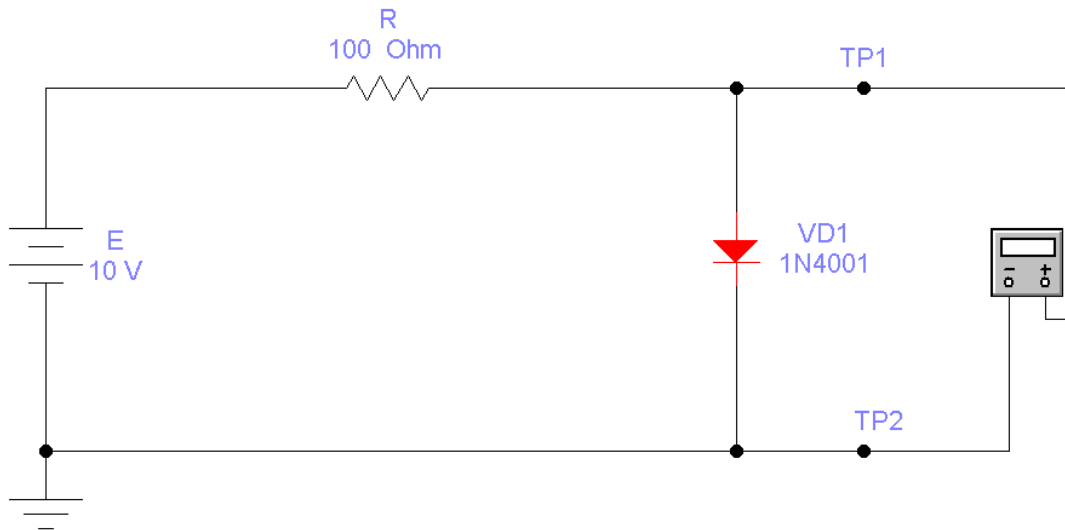
Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

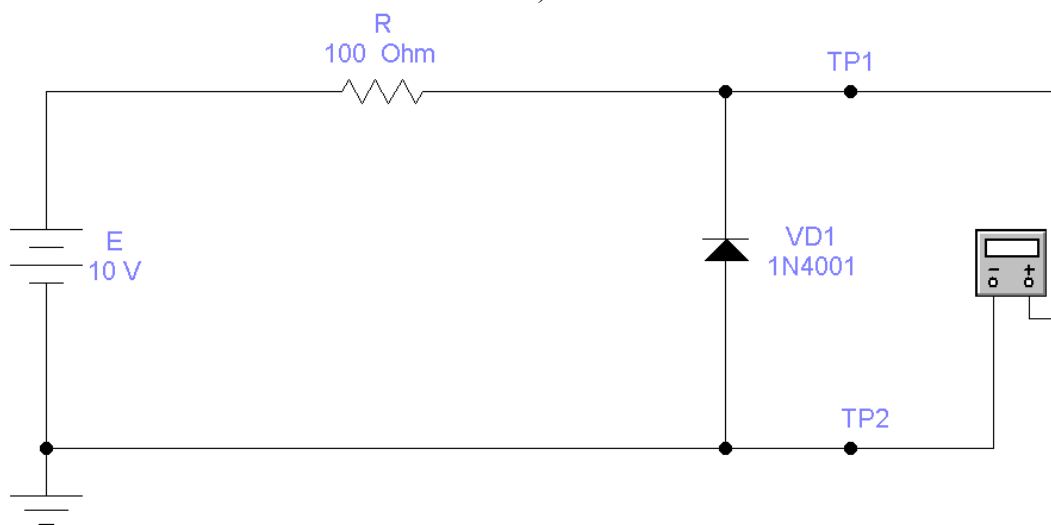
Эксперимент 1. Измерение напряжения и вычисление тока через диод.

Открыть файл 9011 и включить схему (рисунок 2.1 а).

Мультиметр покажет напряжение на диоде при прямом смещении $U_{пр}$. Перевернуть диод и снова запустить схему (рисунок 2.1 б). Теперь мультиметр покажет напряжение на диоде при обратном смещении $U_{об}$. Записать показания. Вычислить токи $I_{пр}$ и $I_{об}$ по формулам (2.1) и (2.2).



а)



б)

Рисунок – 2.1 – Схема для исследования напряжения на диоде:

а) при прямом смещении; б) при обратном смещении

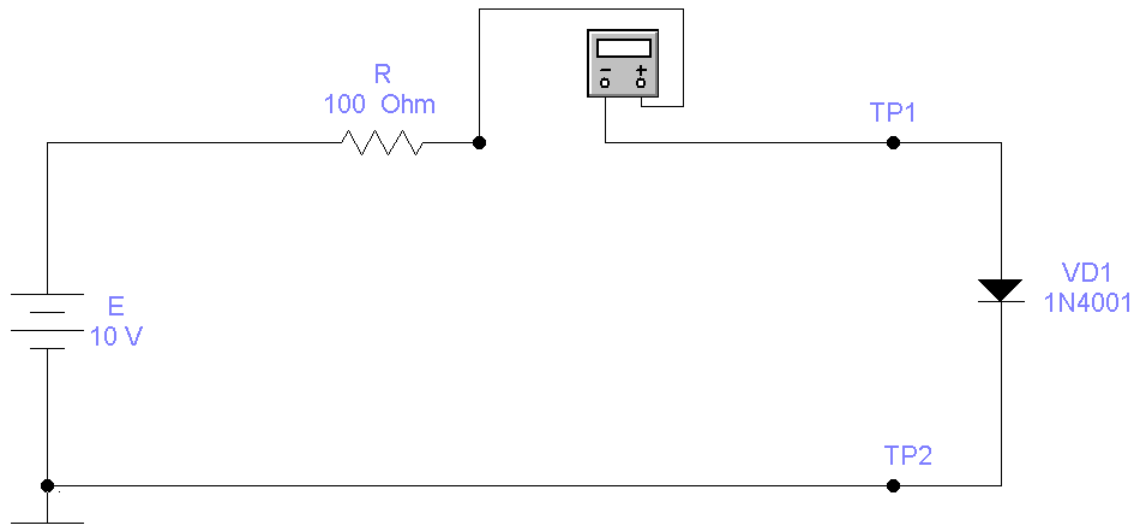
Эксперимент 2. Измерение тока.

Открыть файл 9012 и включить схему (рисунок 2.2 а).

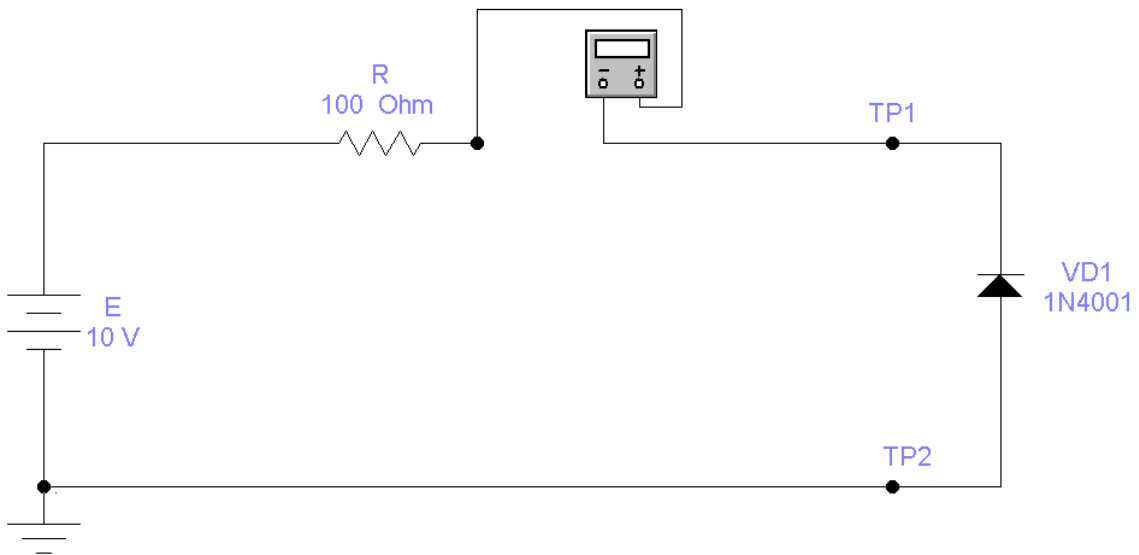
Мультиметр покажет ток диода $I_{\text{пр}}$ при прямом смещении. Перевернуть диод и снова запустить схему. Теперь мультиметр покажет ток $I_{\text{об}}$ при обратном смещении. Записать показания приборов.

Эксперимент 3. Измерение статического сопротивления диода.

Измерить сопротивление диода в прямом и обратном включении, используя мультиметр в режиме омметра. Сравнить эти сопротивления.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Схема для исследования тока, протекающего через диод:

а) при прямом смещении; б) при обратном смещении

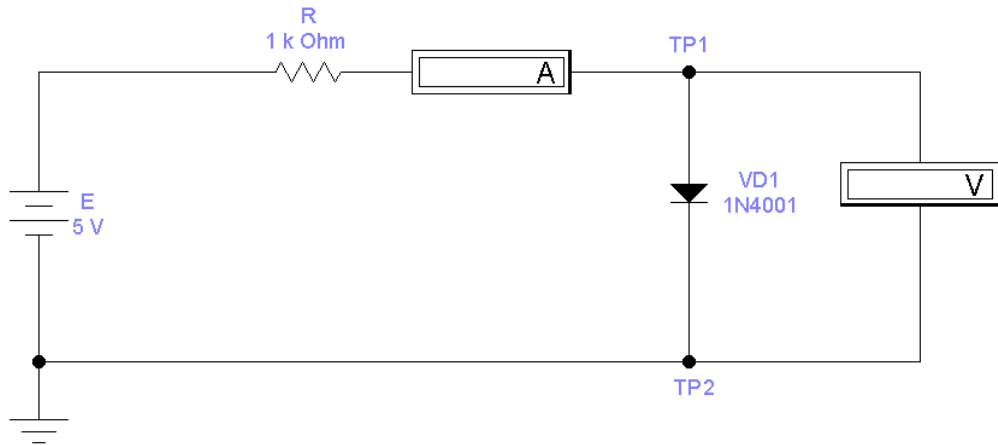
Эксперимент 4. Снятие ВАХ диода.

а) прямая ветвь ВАХ. Открыть файл 9013. Включить схему (рисунок 2.3 а).

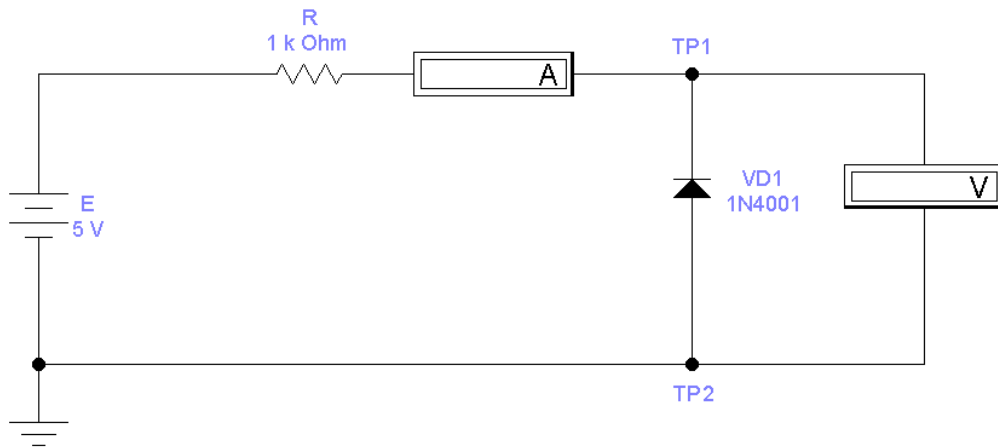
Последовательно устанавливая значения ЭДС источника равными 5 В, 4 В, 3 В, 2 В, 1 В, 0.5 В, 0 В, записать значения напряжения $U_{пр}$ и $I_{пр}$ диода в таблицу 2.1.

б) обратная ветвь ВАХ. Перевернуть диод (рисунок 2.3 б). Последовательно установить значения ЭДС источника 0 В, 5 В, 10 В, 15 В.

Записать показания приборов в таблицу 2.1.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Схема для исследования ВАХ диода

Таблица 2.1. – «Прямая ветвь»

	«Прямая ветвь»		«Обратная ветвь»		
$E, \text{В}$	$U_{\text{пр}}, \text{мВ}$	$I_{\text{пр}}, \text{мА}$	$E, \text{В}$	$U_{\text{об}}, \text{мВ}$	$I_{\text{об}}, \text{мА}$
5			0		
4			5		
3			10		
2			15		
1					
0,5					
0					

в) По полученным данным построить графики $I_{\text{пр}}(U_{\text{пр}})$ и $I_{\text{об}}(U_{\text{об}})$.

г) Построить касательную к графику прямой ветви ВАХ при $I_{\text{пр}} = 4 \text{ мА}$ и оценить дифференциальное сопротивление диода. То же сделать при $I_{\text{пр}} = 2 \text{ мА}$.

д) Аналогично предыдущему пункту оценить дифференциальное сопротивление диода при обратном напряжении 5 В.

е) Вычислить статическое сопротивление диода на постоянном токе $I_{\text{пр}} = 4 \text{ мА}$ по формуле $R_{\text{ст}} = U_{\text{пр}} / I_{\text{пр}}$.

ж) Определить напряжение изгиба по ВАХ диода (где характеристика претерпевает резкий излом).

Эксперимент 5. Получение ВАХ на экране осциллографа.

Открыть файл 9014. Включить схему (рисунок 2.4). На ВАХ, появившейся на экране осциллографа, по горизонтальной оси считывается напряжение на диоде в милливольтках (канал *A*), а по вертикальной – ток в миллиамперах (канал *B*, 1 мВ соответствует 1 мА).

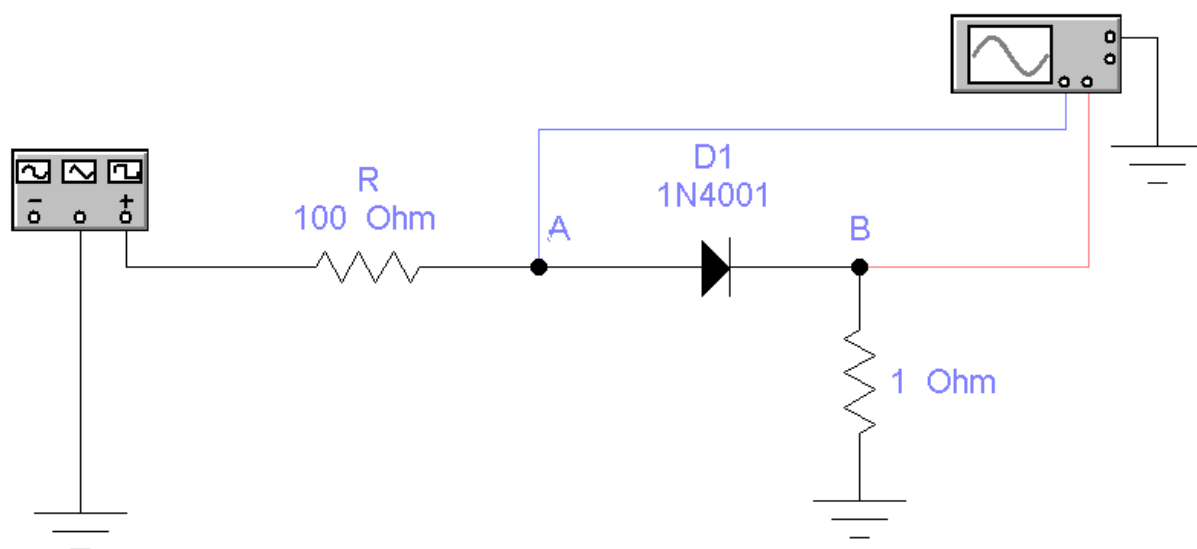


Рисунок 2.4 – Схема для получения ВАХ диода на экране осциллографа

Эксперимент 6. Исследование входного и выходного напряжения однополупериодного выпрямителя.

Открыть файл 9031 (рисунок 2.5).

а) Включить схему. На вход *A* осциллографа подается входной сигнал, на вход *B* – выходной. Зарисовать осциллограммы. Измерить и записать максимальные входные и выходные напряжения.

б) Измерить период T выходного напряжения по осциллограмме и записать его величину.

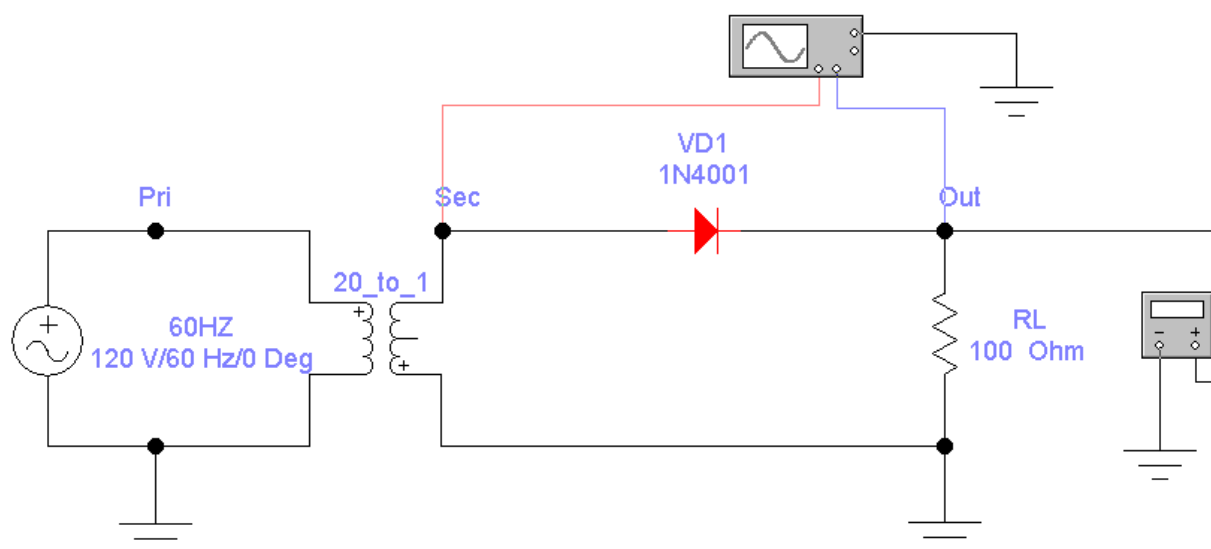


Рисунок 2.5 – Схема для исследования однополупериодного выпрямителя

в) Определить максимальное обратное напряжение U_{MAX} на диоде и записать.

г) Вычислить коэффициент трансформации как отношение амплитуд напряжения первичной и вторичной обмотки трансформатора в режиме холостого хода.

д) Вычислить среднее значение выходного напряжения U_d по формуле (2.3) и записать его величину.

Эксперимент 7. Исследование входного и выходного напряжений двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.

Открыть файл 9032 (рисунок 2.6).

На вход *A* осциллографа подается входной сигнал, а на вход *B* – выходной. Зарисовать получившееся изображение. Измерить и записать максимальные входные и выходные напряжения.

а) Измерить период T по осциллограмме выходного напряжения и записать его.

б) По осциллограмме выходного напряжения определить максимальное обратное напряжение на диоде U_{MAX} , записать результат.

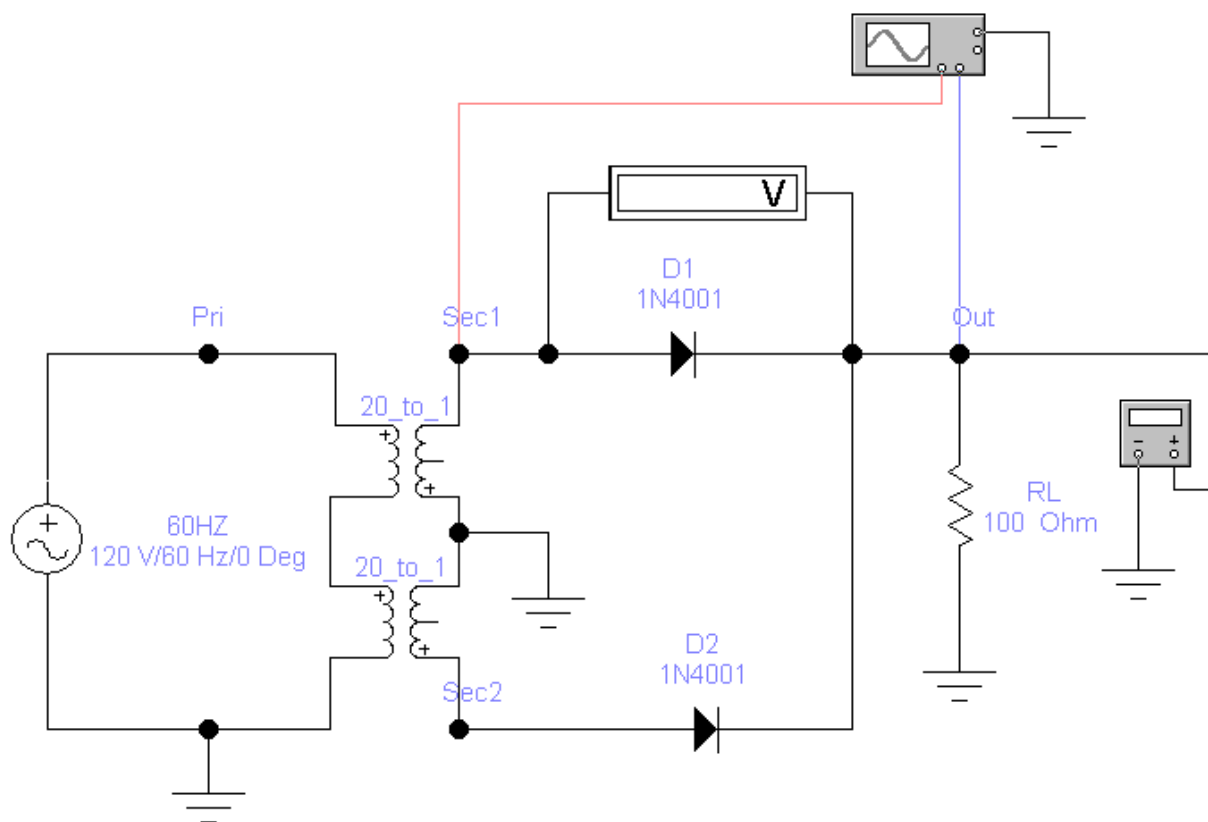


Рисунок 2.6 – Схема для исследования двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора

Эксперимент 8. Исследование входного и выходного напряжений мостового выпрямителя.

а) Открыть файл 9041 (рисунок 2.7). На вход *A* осциллографа подается входной сигнал, а на вход *B* – выходной. Зарисовать осциллограммы. Измерить максимальные входные и выходные напряжения.

б) Измерить период T по осциллограмме выходного напряжения и записать его. Вычислить частоту выходного сигнала.

в) Определить максимальное обратное напряжение на диоде $U_{MAX} = U_{2m}$, где U_{2m} – максимальное напряжение на вторичной обмотке.

г) Вычислить среднее значение выходного напряжения U_d по формуле (2.6). Кроме того, записать постоянную составляющую напряжения на выходе, измеренную мультиметром.

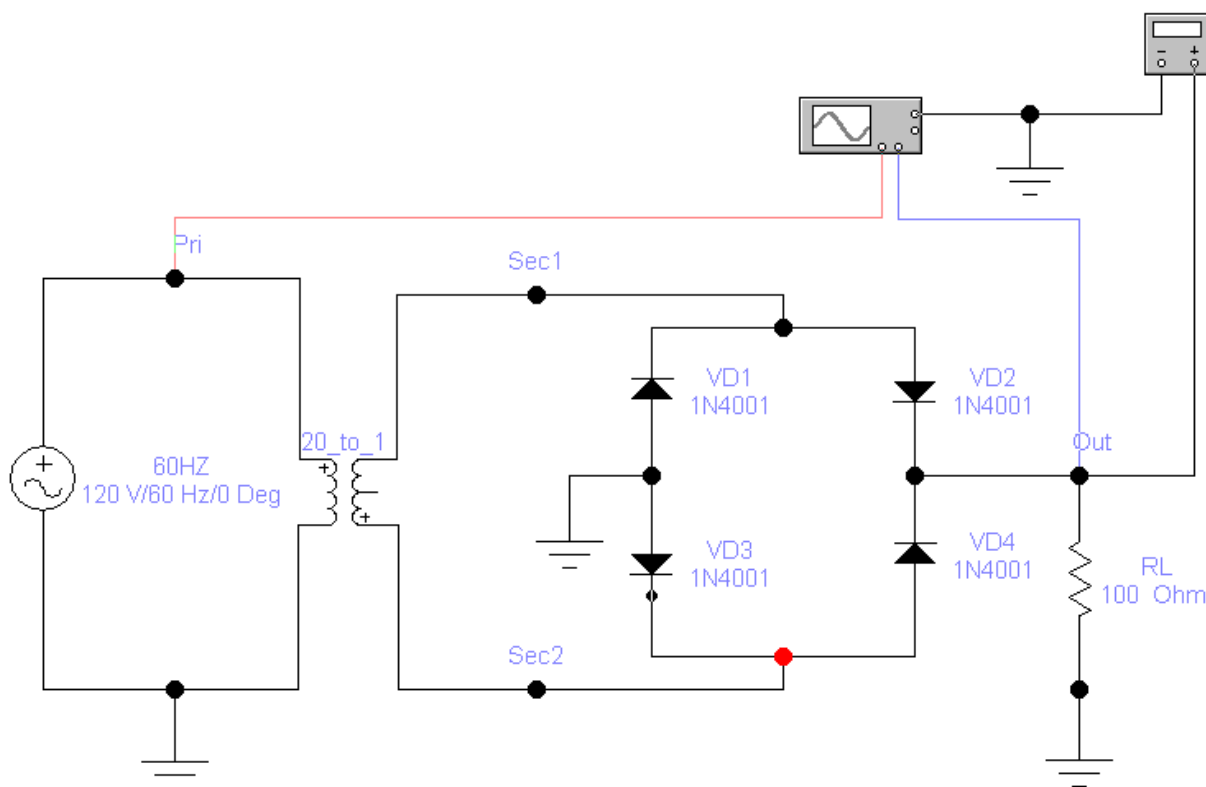


Рисунок 2.7 – Схема для исследования мостового выпрямителя

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Сравните напряжения на диоде при прямом и обратном смещении по порядку величин. Почему они различны?
2. Что такое ток насыщения диода?
3. Существует ли различие между величинами сопротивления диода на переменном и постоянном токе?
4. Совпадают ли точки изгиба ВАХ, полученные с помощью осциллографа и построенные по результатам вычислений?
5. Каковы различия между входными и выходными сигналами однополупериодного выпрямителя?
6. Одинаковы ли частоты входного и выходного сигналов в схемах одно- и двухполупериодного выпрямителей?

7. Как влияет падение напряжения на диоде, на выходное напряжение выпрямителя?
8. Зачем необходимы трансформаторы в схемах выпрямителей?
9. Каковы различия между сигналами на входе и на выходе при двухполупериодном выпрямлении?
10. Одинаковы ли частоты входного и выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя?
11. Чем отличается выходное напряжение в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей?
12. По осциллограмме выходного напряжения определите, осуществляет ли выпрямительный мост однополупериодное или двухполупериодное выпрямление.
13. Как различаются переменные составляющие напряжений на входе и выходе выпрямительного моста?
14. Сравните максимальные обратные напряжения на диодах для схем выпрямительного моста и двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора.
15. Одинаковы ли частоты входного и выходного напряжения выпрямительного моста? Как они отличаются с частотами входного и выходного напряжения двухполупериодного выпрямителя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Исследование стабилитронов (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Построение обратной ветви вольтамперной характеристики стабилитрона и определение напряжения стабилизации.
2. Вычисление тока и мощности, рассеиваемой стабилитроном.
3. Определение дифференциального сопротивления стабилитрона по вольтамперной характеристике.
4. Исследование изменения напряжения стабилитрона при изменении входного напряжения в схеме параметрического стабилизатора.
5. Исследование изменения напряжения на стабилитроне при изменении сопротивления в схеме параметрического стабилизатора.

Теоретическое обоснование

При подключении стабилитрона к источнику постоянного напряжения через резистор получается простейшая схема параметрического стабилизатора (рисунок 3.1).

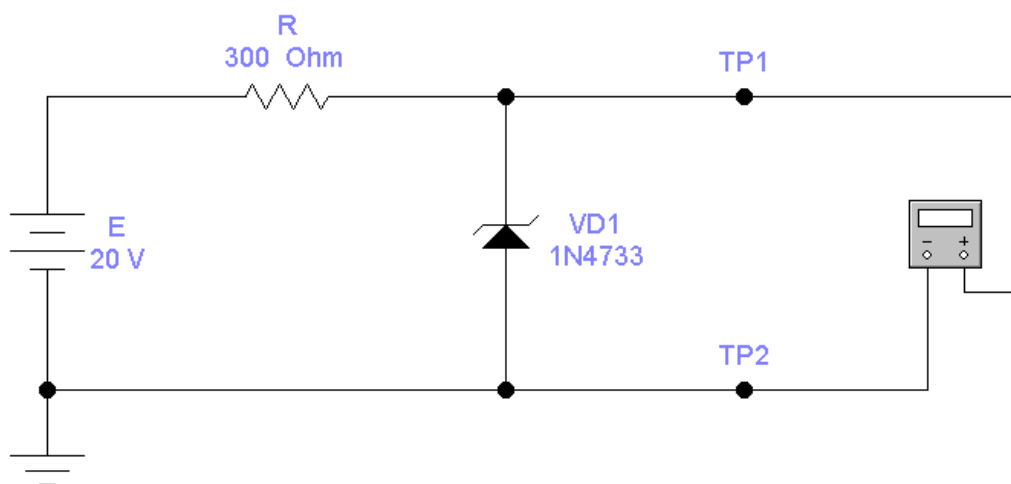


Рисунок 3.1 – Простейшая схема параметрического стабилизатора

Ток стабилитрона I_{CT} может быть определен вычислением падения напряжения на резисторе R , как это было описано в эксперименте 1 лабораторной работы 2:

$$I_{CT} = (E - U_{CT}) / R, \quad (3.1)$$

где E – напряжение источника питания, U_{CT} – напряжение на стабилитроне.

Напряжение стабилизации $U_{\text{СТАБ}}$ стабилитрона определяется точкой на вольтамперной характеристике, в которой ток стабилитрона резко увеличивается. Мощность рассеивания стабилитрона $U_{\text{СТ}}$ вычисляется как произведение тока $I_{\text{СТ}}$ на напряжение $U_{\text{СТ}}$:

$$P_{\text{СТ}} = I_{\text{СТ}} \cdot U_{\text{СТ}}. \quad (3.2)$$

Дифференциальное сопротивление стабилитрона вычисляется так же, как для диода, по наклону вольтамперной характеристики.

Аппаратура, оборудование и материалы

Аналогично лабораторной работы №2, а также стабилитрон 1N473.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Измерение напряжения и вычисление тока через стабилитрон.

а) Открыть файл с9_021 (рисунок 3.1). Измерить значение напряжения $U_{\text{СТ}}$ на стабилитроне при значениях ЭДС источника, приведенных в таблице 3.1, результаты измерений занести в таблицу.

Таблица 3.1. – Данные для построения ВАХ стабилитрона

$E, \text{ В}$	$U_{\text{СТ}}, \text{ мВ}$	$I_{\text{СТ}}, \text{ мА}$
0		
4		
6		
10		
15		
20		
25		
30		
35		

б) Вычислить ток $I_{\text{СТ}}$ стабилитрона для каждого значения напряжения $U_{\text{СТ}}$. Результаты вычислений занести в таблицу 3.1.

в) По данным таблицы 3.1 построить вольтамперную характеристику стабилитрона.

г) Оценить по вольтамперной характеристике стабилитрона напряжение стабилизации.

д) Вычислить мощность $U_{\text{ст}}$, рассеиваемую на стабилитроне при напряжении $E=20$ В.

е) Измерить наклон ВАХ в области стабилизации напряжения и оценить дифференциальное сопротивление стабилитрона в этой области.

Эксперимент 2. Получение нагрузочной характеристики параметрического стабилизатора.

а) Подключить резистор $R_L=75$ Ом параллельно стабилитрону. Значение источника ЭДС установить равным 20 В. Включить схему. Записать значение напряжения на стабилитроне $U_{\text{ст}}$.

б) Повторить пункт а) при коротком замыкании и при сопротивлениях резистора $R_L = 100$ Ом, 300 Ом, 600 Ом, 1 кОм.

в) Рассчитать ток I_1 через резистор R , включенный последовательно с источником, ток I_L через резистор R_L и ток стабилитрона $I_{\text{ст}}$ для каждого значения R_L из таблицы 3.2. Результаты занести в эту же таблицу.

Таблица 3.2. – Измерение точек нагрузочной характеристики параметрического стабилизатора

R_L , Ом	$U_{\text{ст}}$, В	I_1 , мА	I_L , мА	$I_{\text{ст}}$, мА
75				
100				
200				
300				
600				
1000				
к.з.				

Эксперимент 3. Получение ВАХ параметрического стабилитрона на экране осциллографа.

а). Открыть файл с9_022 (рисунок 3.2).

Включить схему. Записать напряжение стабилизации, полученное из графика на экране осциллографа.

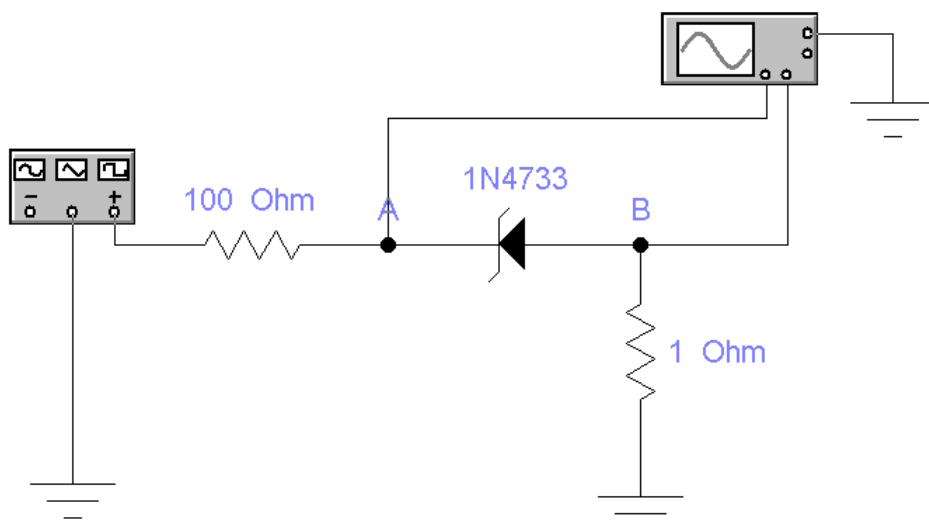


Рисунок 3.2 – Схема для получения ВАХ стабилитрона на экране осциллографа

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Сравните относительное изменение напряжения на стабилитроне с относительным изменением питающего напряжения. Оцените степень стабилизации.
2. Влияет ли значение сопротивления нагрузки на степень стабилизации выходного напряжения стабилизатора?
3. Как изменяется напряжение стабилитрона $U_{\text{ст}}$, когда ток стабилитрона становится ниже 20 мА?
4. Каково значение тока стабилитрона $I_{\text{ст}}$ при входном напряжении 15 В?
5. Каково значение тока стабилитрона $I_{\text{ст}}$ при значении сопротивления $R = 200$ Ом?
6. Как изменяется напряжение на выходе стабилизатора при уменьшении сопротивления R ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Исследование биполярного транзистора и транзисторного каскада в режиме малого сигнала (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Исследование зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения база-эмиттер.
2. Анализ зависимости коэффициента усиления по постоянному току от тока коллектора
3. Получение входных и выходных характеристик транзистора
4. Определение коэффициента передачи по переменному току
5. Исследование коэффициента усиления по напряжению в усилителях с общим эмиттером и общим коллектором
6. Определение фазового сдвига сигналов в усилителях
7. Измерение входного и выходного сопротивлений усилителей

Теоретическое обоснование

Статический коэффициент передачи тока транзистора определяется как отношение тока коллектора I_K к току базы I_B :

$$\beta_{DC} = I_K / I_B. \quad (4.1)$$

Коэффициент передачи тока β_{AC} определяется отношением приращения ΔI_K коллекторного тока к вызывающему его приращению базового тока ΔI_B :

$$\beta_{AC} = \Delta I_K / \Delta I_B. \quad (4.2)$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} транзистора в схеме с общим эмиттером (ОЭ) определяется при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер. Оно может быть найдено как отношение приращения напряжения база-эмиттер к вызванному им приращению ΔI_B тока базы:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_{БЭ}} = \frac{U_{БЭ2} - U_{БЭ1}}{I_{БЭ2} - I_{БЭ1}}. \quad (4.3)$$

Дифференциальное входное сопротивление r_{BX} транзистора в схеме с ОЭ через параметры транзистора определяется следующим выражением:

$$r_{BX} = r_b + \beta_{AC} \cdot r_{\varepsilon}, \quad (4.4)$$

где r_b – распределенное сопротивление базы полупроводника; r_{ε} – дифференциальное сопротивление перехода база-эмиттер, определяемое через выражение:

$$r_{\varepsilon} = 25/I_{\varepsilon}, \quad (4.5)$$

где I_{ε} – постоянный ток эмиттера в миллиамперах.

Первое слагаемое r_b во много раз меньше второго, поэтому

$$r_{BX} = \beta_{AC} \cdot r_{\varepsilon}. \quad (4.6)$$

Дифференциальное сопротивление r_{ε} перехода база-эмиттер для биполярного транзистора сравнимо с дифференциальным входным сопротивлением r_{BX_OB} транзистора в схеме с общей базой, которое может быть найдено по формуле:

$$r_{BX} = \frac{\Delta U_{BЭ}}{\Delta I_{\varepsilon}} = \frac{U_{BЭ2} - U_{BЭ1}}{I_{B2} - I_{B1}}. \quad (4.7)$$

Через параметры транзистора это сопротивление определяется выражением:

$$r_{BX_OB} = r_b / \beta_{AC} + r_{\varepsilon}. \quad (4.8)$$

Первым слагаемым в выражении можно пренебречь и считать, что $r_{BX_OB} = r_{\varepsilon}$. В транзисторном каскаде коэффициент усиления по напряжению определяется отношением амплитуд выходного напряжения ко входному (сигналы синусоидальны):

$$k_y = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}. \quad (4.9)$$

Усилитель с общим эмиттером (рисунок 4.1)

Коэффициент усиления по напряжению усилителя с ОЭ равен:

$$k_y = r_K / r_{\varepsilon}, \quad (4.10)$$

где r_K – сопротивление в цепи коллектора, которое определяется параллельным соединением сопротивления R_K и сопротивлением нагрузки R_H , чью роль может играть, например, следующий усилительный каскад:

$$r_k = \frac{R_k \cdot R_H}{R_k + R_H}, \quad (4.11)$$

r_3 – дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода, равное

$$r_3 = 25 \text{ мВ} / I_3. \quad (4.12)$$

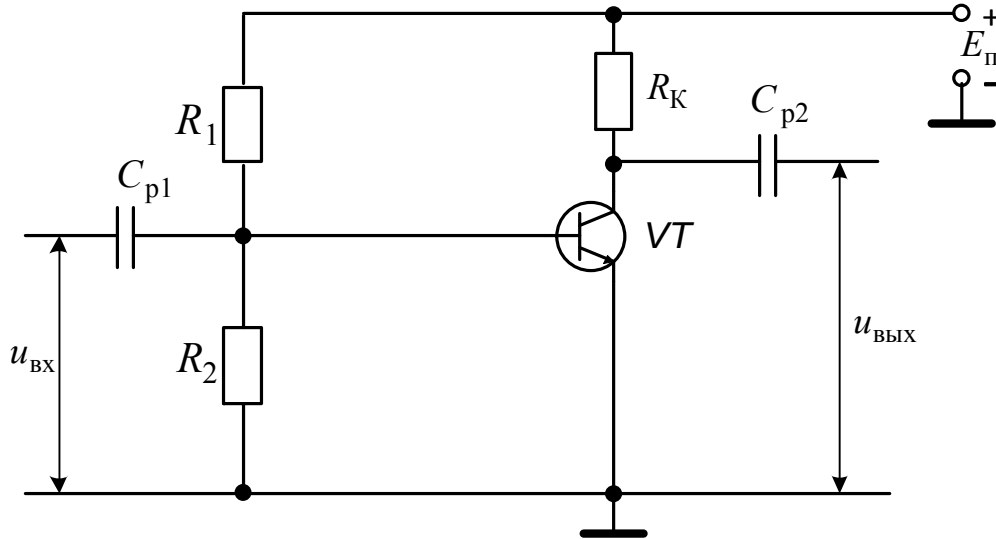


Рисунок 4.1 – Схема усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером

Для усилителя с сопротивлением R_3 в цепи эмиттера коэффициент усиления равен:

$$K_y = \frac{r_k}{r_3 + R_3}. \quad (4.13)$$

Входное сопротивление усилителя переменному току определяется как отношение амплитуд синусоидального входного напряжения и входного тока:

$$r_{BX} = u_{BX} / i_{BX}. \quad (4.14)$$

Входное сопротивление транзистора $r_i = \beta \cdot r_3$.

Входное сопротивление усилителя по переменному току r_{BX} вычисляется как параллельное соединение r_i , R_1 , R_2 :

$$\frac{1}{r_{BX}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_i}. \quad (4.15)$$

Значение дифференциального выходного сопротивления схемы по напряжению U_{xx} холостого хода на выходе усилителя, которое может быть измерено как падение

напряжения на сопротивлении нагрузки, превышающем 200 кОм, и по напряжению $U_{\text{ВЫХ}}$, измеренного для данного сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$ из уравнения, решаемого относительно $r_{\text{ВЫХ}}$:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ХХ}}} = \frac{R_{\text{Н}}}{R_{\text{Н}} + r_{\text{ВЫХ}}}. \quad (4.16)$$

Сопротивление $R_{\text{Н}} \geq 200 \text{ кОм}$ можно считать разрывом в цепи нагрузки.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Биполярный транзистор 2N3904;
2. Источник постоянной ЭДС;
3. Источник переменной ЭДС;
4. Амперметры;
5. Вольтметры;
6. Осциллограф;
7. Диод;
8. Резисторы;
9. Функциональный генератор.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1 Определение статического коэффициента передачи тока резистора.

а). Открыть файл 10_001 (рисунок 4.2). Включить схему.

Записать результаты измерения тока коллектора, тока базы и напряжения коллектор-эмиттер. По полученным результатам подсчитать статический коэффициент передачи транзистора $\beta_{\text{DC}} = I_{\text{К}} / I_{\text{Б}}$.

б) Изменить номинал источника ЭДС $E_{\text{Б}}$ до 2,65 В. Включить схему. Записать те же данные и подсчитать β_{DC} .

в) Изменить номинал источника ЭДС $E_{\text{К}}$ до 5 В. Включить схему. Записать те же данные и подсчитать β_{DC} . Затем установить $E_{\text{К}} = 10 \text{ В}$.

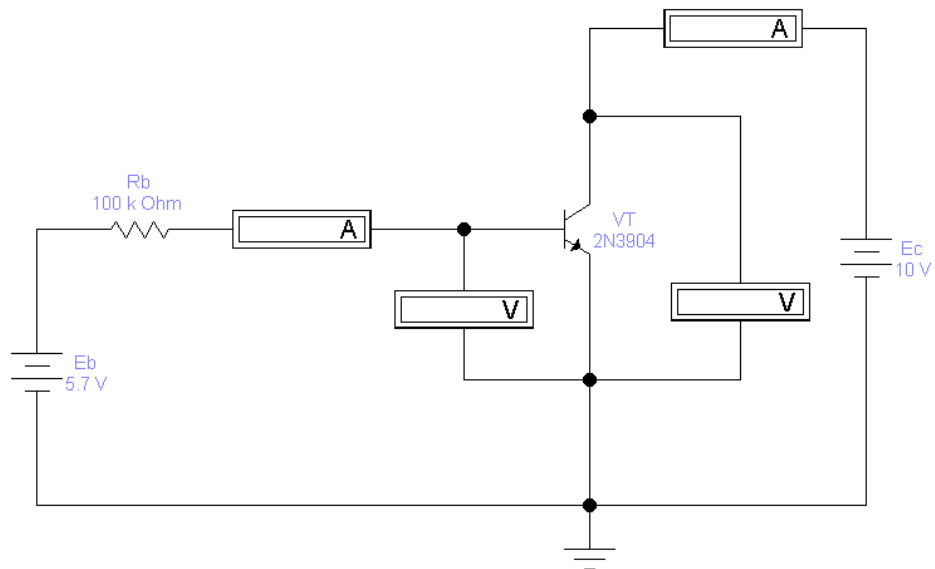


Рисунок 4.2 – Схема для определения статического коэффициента передачи тока резистора

Эксперимент 2. Измерение обратного тока коллектора.

На схеме 10_001 (рисунок 4.2) изменить номинал источника ЭДС E_k до 0 В. Включить схему. Записать результаты измерения тока коллектора для данных значений тока базы и напряжения коллектор-эмиттер.

Эксперимент 3. Получение выходной характеристики транзистора в схеме с ОЭ.

а) В схеме 10_001 (рисунок 4.2) провести измерения тока коллектора I_k для каждого значения E_k и E_b и заполнить таблицу 4.1. По данным таблицы 4.1 построить график зависимости I_k от E_k .

б) Открыть файл 10_002 (рисунок 4.3). Включить схему. Зарисовать осциллограмму выходной характеристики, соблюдая масштаб. Повторить измерения для каждого значения E_b из таблицы 4.1. Осциллограммы выходных характеристик для разных токов базы зарисовать на одном графике.

Таблица 4.1. – Данные для получения выходной характеристики транзистора в схеме с ОЭ

		E_k					
E_b (В)	I_b (мкА)	0,1	0,5	1	5	10	20
1,66							
2,68							
3,68							
4,68							
5,7							

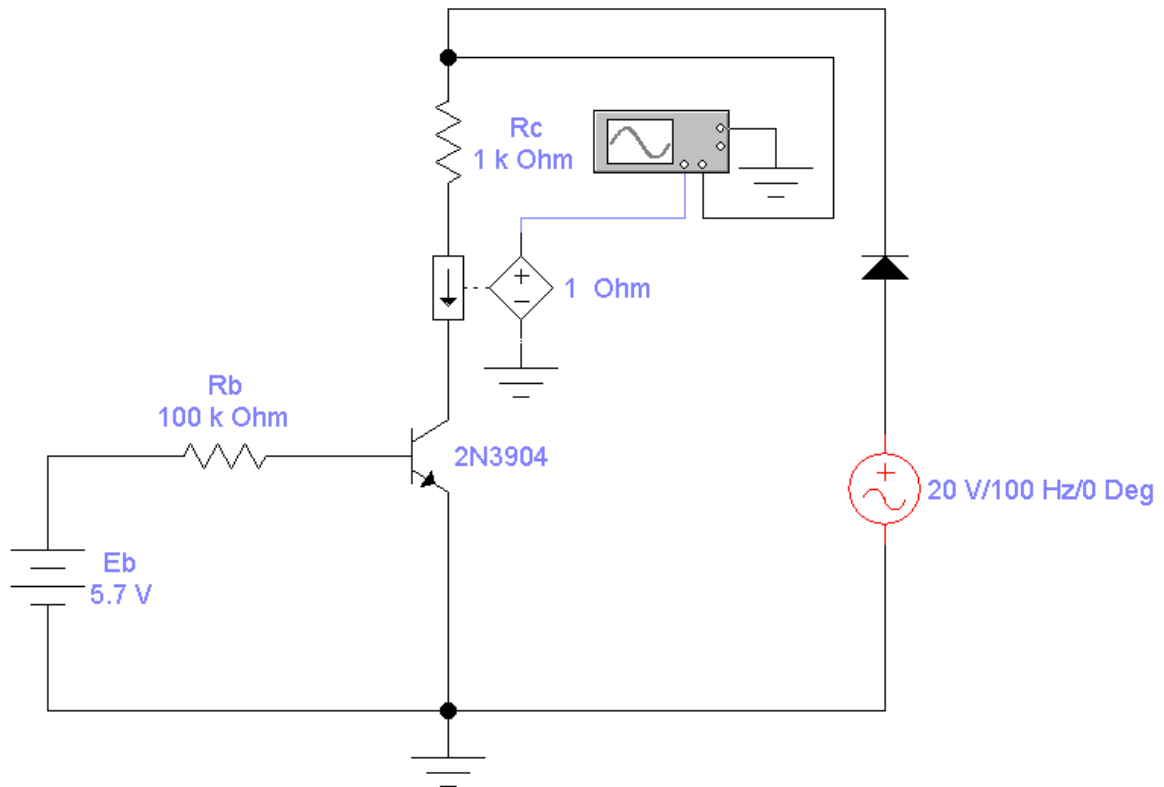


Рисунок 4.3 – Схема для получения выходной характеристики транзистора с использованием осциллографа

Эксперимент 4. Получение входной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером.

а) Открыть файл 10_002 (рисунок 4.3). Установить значение напряжения источника $E_K = 10$ В и провести измерения тока базы E_B , напряжение база-эмиттер $U_{БЭ}$, тока эмиттера $I_Э$ для различных значений напряжения источника E_B в соответствии с таблицей 4.2.

б) Построить график зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер.

Таблица 4.2 – Данные для получения входной характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером.

E_B (В)	I_B (мкА)	$U_{БЭ}$ (мВ)	I_K (мА)
1,66			
2,68			
3,68			
4,68			
5,7			

в) Открыть файл 10_003 (рисунок 4.4), включить схему. Зарисовать входную характеристику транзистора.

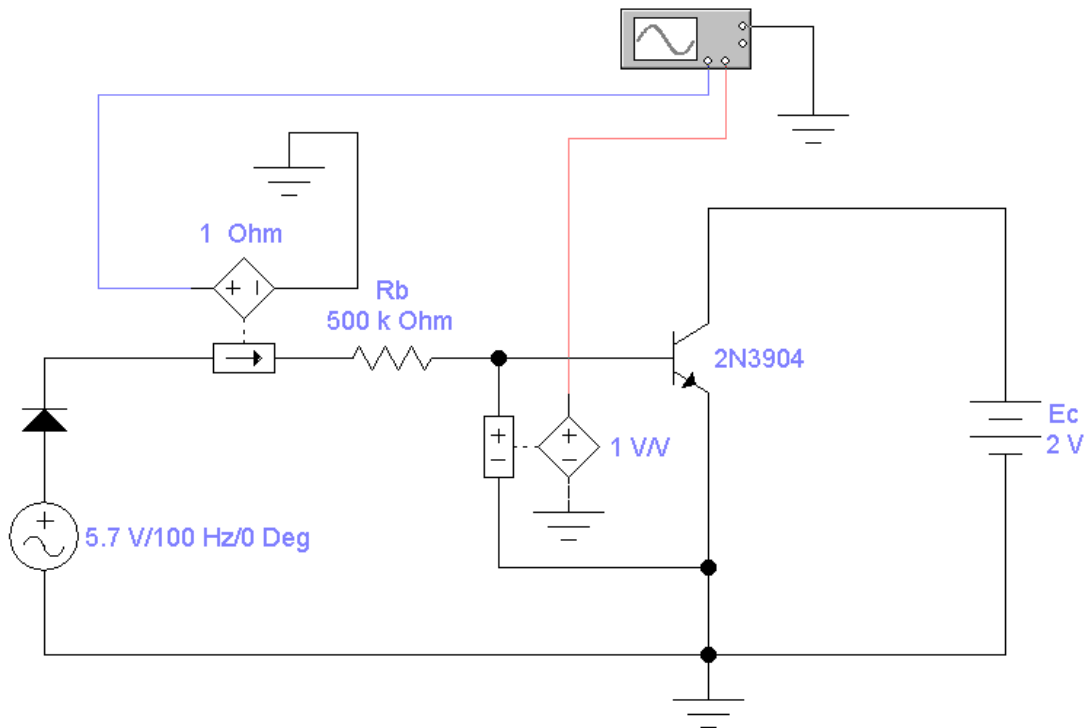


Рисунок 4.4 – Схема для получения входной характеристики транзистора с использованием осциллографа

г) По входной характеристике найти сопротивление r_{BX} при изменении базового тока с 10 мкА до 30 мкА, пользуясь формулой 4.7.

Эксперимент 5. Исследование каскада с общим эмиттером в области малого сигнала

а) Открыть файл 10_010 (рисунок 4.5)

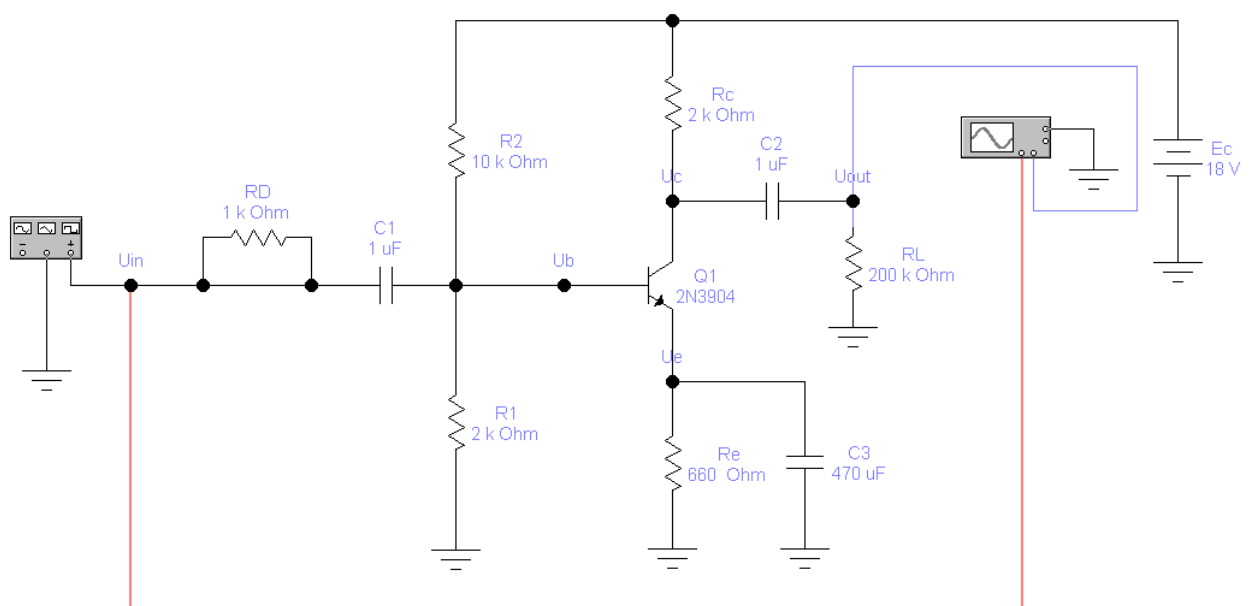


Рисунок 4.5 – Схема для исследования каскада с общим эмиттером в области малого сигнала

Установочные параметры приборов должны соответствовать изображению.

б) Включить схему. Для установившегося режима записать результаты измерений амплитуд входного и выходного сигналов (разность фаз можно определить по помощи Бode-плоттера). По результатам измерений амплитуд входного и выходного синусоидальных напряжений вычислить коэффициент усиления усилителя по напряжению.

в) Для схемы на рисунке определить ток эмиттера. По его значению вычислить дифференциальное сопротивление r'_e эмиттерного перехода. Используя найденное значение вычислить коэффициент усиления каскада по напряжению.

г) Подключить резистор R_d между точкой U_{BX} и конденсатором C_1 , разомкнув ключ (space). Включить схему. Измерить амплитуды входного и выходного напряжения. Вычислить новое значение коэффициента усиления по напряжению по результатам измерения.

д) Переместить щуп канала А осциллографа в узел U_B . Снова включить схему и измерить амплитуду U_B напряжения в точке U_B . Вычислить коэффициент усиления по напряжению, входной ток по результатам измерения U_{BX} и U_B . По U_{BX} и i_{BX} вычислить входное сопротивление r_{BX} усилителя.

е) По значению коэффициента усиления тока β , полученному в эксперименте 1 и величине дифференциального сопротивления эмиттера r'_e вычислить входное сопротивление транзистора r_i . Вычислить значение r_{BX} , используя значение сопротивлений R_1 , R_2 , r_i . Результаты записать.

ж) Замкнуть резистор R_d между узлом U_{BX} и конденсатором C_1 , замкнув ключ (space). Переместить щуп канала А осциллографа в узел U_{BX} . Установить номинал резистора R_2 2кОм. Затем включить схему и измерить амплитуды входного и выходного синусоидального напряжения. Используя результаты измерений, вычислить новое значение коэффициента усиления по напряжению.

з) Используя результаты измерений амплитуды выходного синусоидального напряжения в пункте б) и пункте ж), значение сопротивления нагрузки в пункте ж), вычислить выходное сопротивление усилителя.

и) Установить номинал резистора $R_H = 200 \text{ кОм}$. Переставить щуп канала B осциллографа в узел U_C и включить схему. Измерить постоянную составляющую выходного сигнала и записать результат измерения.

к) Вернуть щуп канала B осциллографа в узел U_{out} . На осциллографе установить масштаб для входа 10 мВ/дел . Убрать шунтирующий конденсатор C_3 и включить схему. Измерить амплитуды входного и выходного синусоидального напряжения. По результатам измерений вычислить значение коэффициента усиления каскада с ОЭ с сопротивлением в цепи эмиттера по напряжению.

л) По величине сопротивления r_3 и R_3 вычислить значение коэффициента усиления усилителя с ОЭ с сопротивлением в цепи эмиттера по напряжению.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. От чего зависит ток коллектора транзистора?
2. Зависит ли коэффициент β_{DC} от тока коллектора? Если да, то в какой степени? Обосновать ответ.
3. Что такое токи утечки транзистора в режиме отсечки?
4. Что можно сказать по выходным характеристикам о зависимости тока коллектора от тока базы и напряжения коллектор-эмиттер?
5. Что можно сказать по выходной характеристике о различии между базо-эмиттерным переходом и диодом, смещенным в прямом направлении?
6. Одинаково ли значение $r_{вх}$ при любом значении тока эмиттера?
7. Одинаково ли значение r_3 при любом значении тока эмиттера?
8. Как отличается практическое значение сопротивления r_3 от вычисленного по формуле?
9. Каково отличие практического и теоретического значений коэффициента усиления по напряжению?

10. Как влияет входное сопротивление на коэффициент усиления по напряжению?
11. Какова связь между входным напряжением (узел $U_{\text{вх}}$) и напряжением на базе (узел $U_{\text{б}}$) при включении между ними сопротивления?
12. Какое влияние оказывает понижение сопротивления нагрузки на коэффициент усиления по напряжению?
13. Как влияет сопротивление $R_{\text{э}}$ на коэффициент усиления по напряжению усилителя?
14. Каково отличие практического и теоретического значений напряжений $U_{\text{б}}$, $U_{\text{э}}$ по постоянному току?
15. Почему значение коэффициента усиления по напряжению меньше единицы?
16. Велико ли значение выходного сопротивления усилителя с ОК?
17. Какова разность фаз входного и выходного синусоидальных сигналов?
18. В чем заключено главное достоинство схемы усилителя с ОК? В чем главное назначение этой схемы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

Операционные усилители (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенции ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Измерение входных токов операционного усилителя (ОУ).
2. Измерение напряжения смещения ОУ.
3. Измерение скорости нарастания выходного напряжения ОУ.
4. Измерение коэффициента усиления неинвертирующего и инвертирующего усилителя на ОУ.
5. Определение разности фаз между выходным и входным синусоидальным напряжением ОУ.
6. Исследование влияния коэффициента усиления усилителя на постоянную составляющую выходного напряжения.

Теоретическое обоснование

Интегральный ОУ характеризуется следующими основными параметрами.

Средний входной ток $I_{\text{вх}}$.

В отсутствии сигнала на входах ОУ через его входные выводы протекают токи, обусловленные базовыми токами входных биполярных транзисторов. Они создают падение напряжения на входе ОУ, которое может вызвать появление напряжения на выходе в отсутствии сигнала на входе.

Входные токи ОУ можно оценить по среднему входному току, вычисленному как среднее арифметическое токов инвертирующего I_1 и не инвертирующего I_2 входов

$$I_{\text{вх}} = (I_1 + I_2) / 2. \quad (5.1)$$

Разность входных токов $\Delta I_{\text{вх}}$:

$$\Delta I_{\text{вх}} = I_1 - I_2. \quad (5.2)$$

Коэффициент усиления напряжения на постоянном токе K_0 .

У идеального ОУ $K_0 \rightarrow \infty$. Коэффициент усиления напряжения схемы усилителя на ОУ вычисляется по формуле:

$$K_U = -R_2 / R_1. \quad (5.3)$$

Напряжение смещения $U_{\text{см}}$ – значение напряжения, которое необходимо подать на вход ОУ, чтобы напряжение на его выходе было равно 0.

$$U_{\text{см}} = \Delta U_{\text{вых}} / K_U, \quad (5.4)$$

где $\Delta U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение при отсутствии напряжения на входе.

Входное сопротивление $R_{\text{вх}}$.

Различают две составляющие входного сопротивления: дифференциальное входное сопротивление и входное сопротивление по синфазному сигналу (сопротивление утечки между каждым входом и «землёй»). Входное дифференциальное сопротивление для биполярных ОУ находится обычно в пределах 10 кОм – 10 МОм. Входное сопротивление по синфазному сигналу определяется как отношение приращения входного синфазного напряжения к вызванному приращению среднего входного тока $\Delta I_{\text{вх_ср}}$:

$$R_{\text{вх_ср}} = \Delta U_{\text{вх_ср}} / \Delta I_{\text{вх_ср}}. \quad (5.5)$$

Дифференциальное входное сопротивление может быть определено по формуле между входами ОУ:

$$R_{\text{вх_диф}} = \Delta U_{\text{вх}} / \Delta I_{\text{вх}}, \quad (5.6)$$

где $\Delta U_{\text{вх}}$ – изменение напряжения между входами ОУ, $\Delta I_{\text{вх}}$ – изменение входного тока.

Выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$ составляет 10 – 2000 Ом.

Скорость нарастания выходного напряжения $V_{U_\text{вых}}$ равна отношению изменения выходного напряжения ОУ ко времени его нарастания определяется интервалом времени, в течение которого выходное напряжение ОУ изменяется от 10 до 90 % от своих установившихся значений.

$$V_{U_ \text{вых}} = U_{\text{вых}} / t_{\text{уст}}. \quad (5.7)$$

Коэффициент усиления схемы не инвертирующего усилителя на ОУ:

$$K_U = 1 + R_2 / R_1. \quad (5.8)$$

Постоянная составляющая выходного напряжения усилителя $U_{0_ВЫХ}$ определяется следующим образом:

$$U_{0_ВЫХ} = U_{CM} \cdot K_U. \quad (5.9)$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя на ОУ с обратной связью:

$$K_y = -R_f / R_1. \quad (5.10)$$

Знак «−» в формуле означает, что выходное напряжение инвертирующего усилителя находится в противофазе с входным напряжением.

Функциональное назначение компаратора заключается в изменении состояния выхода при переходе входным напряжением некоторого порогового значения. В качестве компаратора может применяться ОУ. В данной лабораторной работе исследуются схемы компараторов, построенных на базе ОУ.

Для идеального ОУ, имеющего одинаковые напряжения ограничения, положительное значение входного порогового напряжения может быть вычислено по формуле:

$$U_1 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5.11)$$

Отрицательное значение входного порогового напряжения определяется выражением:

$$U_2 = \frac{-E \cdot R_2}{R_1 + R_2} = -U_1. \quad (5.12)$$

Анализ работы схем компаратора можно осуществлять по двум характеристикам. Первая из них представляет характеристику вход-выход и устанавливает соотношения между входным и выходным напряжением схемы в статическом режиме. Динамику переключения выходного напряжения схемы прослеживают по осциллограммам входного и выходного напряжений.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Осциллограф;
2. Функциональный генератор;
3. Источник напряжения;
4. ОУ LM 741;

5. Диоды;
6. Стабилитрон 1 № 4733
7. Вольтметр;
8. Амперметр

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Измерение входных токов.

Открыть файл 11_001 (рисунок 5.1). Включить схему. Измерить входные токи ОУ. Вычислить средний входной ток $I_{\text{вх}}$ и разность $\Delta I_{\text{вх}}$ входных токов ОУ. Записать эти величины.

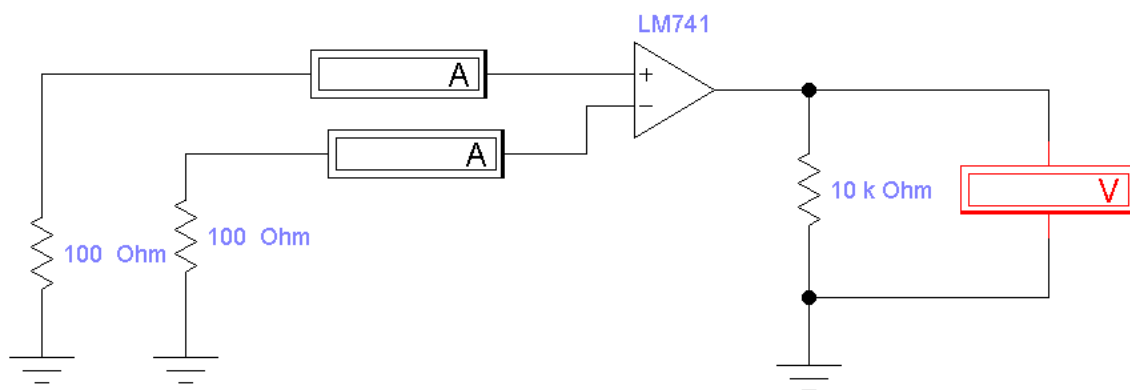


Рисунок 5.1 – Схема с ОУ для измерения входных токов

Эксперимент 2. Измерение напряжения смещения.

Открыть файл 11_002 (рисунок 5.2). Включить схему. Записать показания вольтметра. По результатам измерения вычислить напряжение смещения $U_{\text{см}}$, используя коэффициент усиления схемы.

Эксперимент 3. Измерение входного и выходного сопротивлений.

а) Открыть файл 11_003 (рисунок 5.3). Включить схему. Измерить входной ток $I_{\text{вх}}$ и выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Переключить ключ клавишей [Space]. Измерить входной ток после переключения ключа. Рассчитать изменения входного напряжения и тока. По полученным результатам вычислить дифференциальное входное сопротивление ОУ.

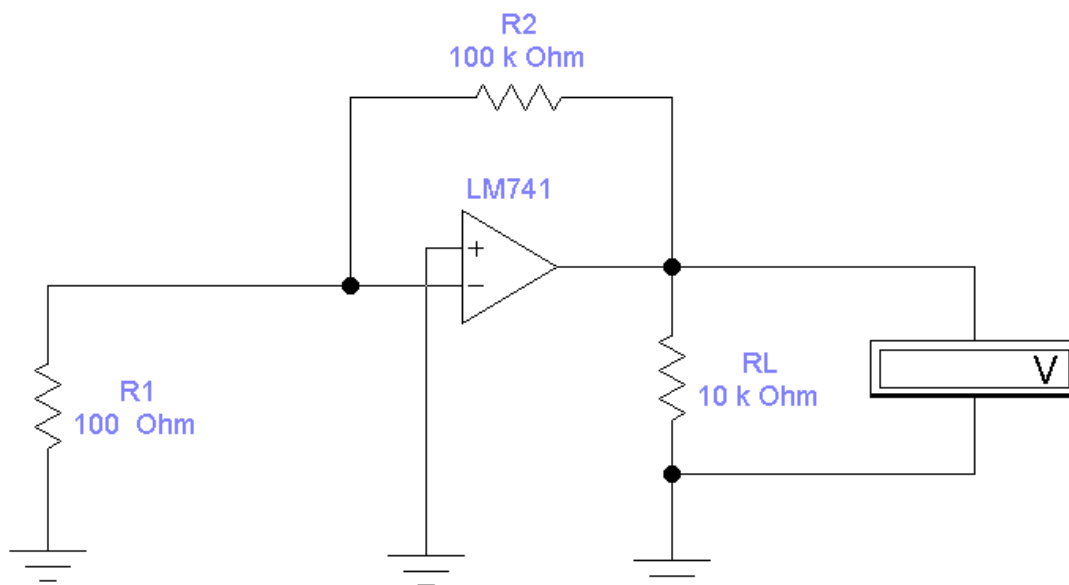


Рисунок 5.2 – Схема с ОУ для измерения напряжения смещения

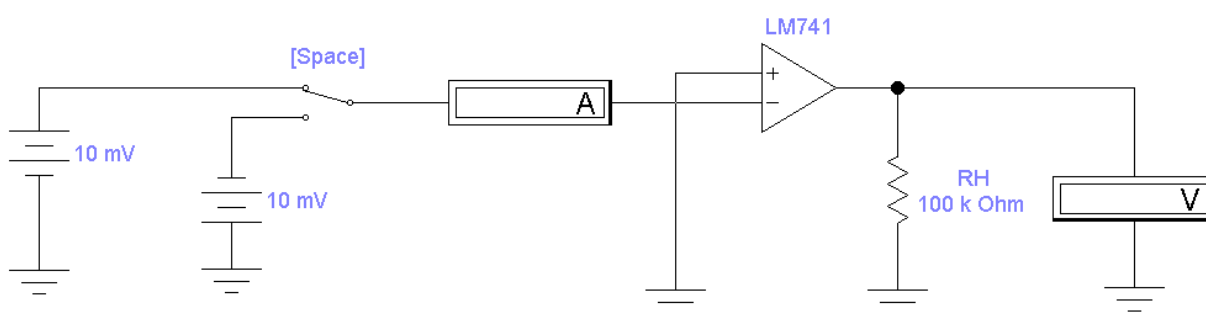


Рисунок 5.3 – Схема с ОУ для измерения входного и выходного сопротивлений

б) Уменьшать сопротивление нагрузочного резистора R_H до тех пор, пока выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ не будет примерно равно половине значения, полученного в п. а. Записать значение сопротивления R_H , которое в этом случае приблизительно равно выходному сопротивлению $U_{\text{ВЫХ}}$ ОУ.

Эксперимент 4. Измерение времени нарастания выходного напряжения ОУ.

Открыть файл 11_004 (рисунок 5.4). Включить схему, Зарисовать осциллограмму выходного напряжения. По осциллограмме определите величину выходного напряжения, время его установления и вычислить скорость нарастания выходного напряжения в В/мкс. Записать результат.

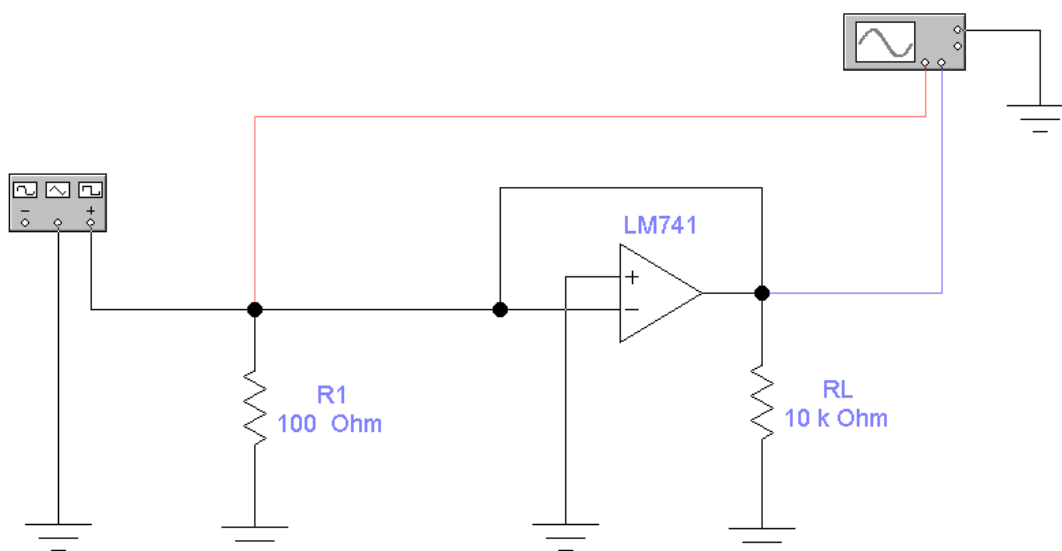


Рисунок 5.4 – Схема с ОУ для измерения времени нарастания выходного напряжения ОУ

Эксперимент 5. Работа неинвертирующего усилителя в режиме усиления синусоидального напряжения.

Открыть файл 11_005 (рисунок 5.5). Рассчитать коэффициент усиления напряжения K_U усилителя по заданным значениям параметров компонентов схемы. Измерить амплитуды входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ синусоидальных напряжений. Также измерить постоянную составляющую выходного напряжения $U_{0_ВЫХ}$ и разность фаз между входным и выходным напряжениями. Сравнить вычисленные теоретически K_U и $U_{0_ВЫХ}$ с данными, полученными из экспериментов.

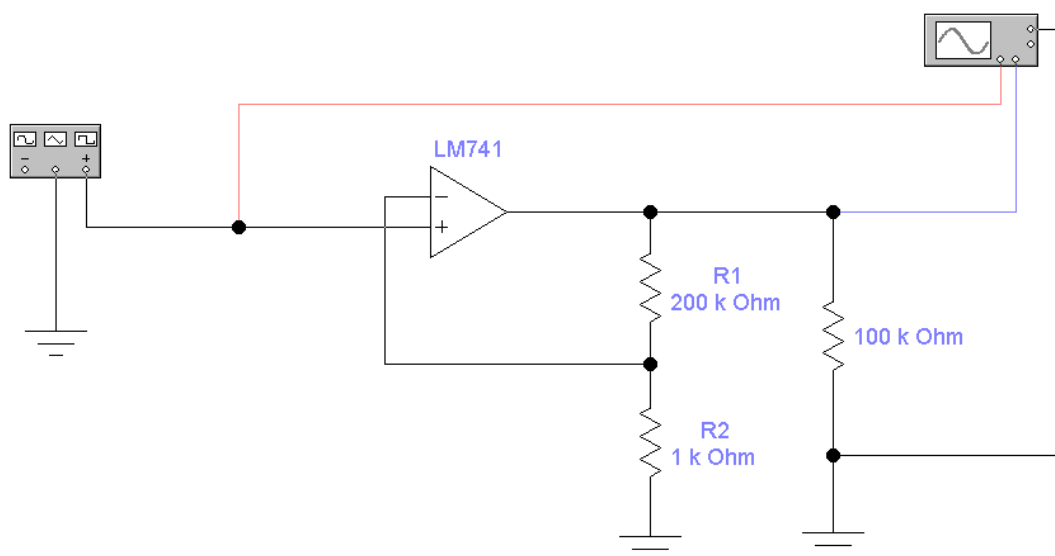


Рисунок 5.5 – Схема для исследования работы неинвертирующего усилителя в режиме усиления синусоидального напряжения

Эксперимент 6. Исследование влияния параметров схемы на режим её работы.

В схеме, приведённой на рисунке 5.5 уменьшить значение сопротивления R_1 со 100 кОм до 10 кОм, амплитуду синусоидального напряжения генератора увеличить до 100 mV/div, а на канале В – 500 mV/div. Включите схему. Повторите все операции эксперимента 5 при новых параметрах компонентов.

Эксперимент 7. Работа инвертирующего усилителя в режиме усиления синусоидального напряжения.

Открыть файл 11_006 (рисунок 5.6). Рассчитать коэффициент усиления напряжения K_U усилителя по значениям параметров компонентов схемы. Включить схему. Измерить амплитуду входного $U_{ВХ}$ и выходного $U_{ВЫХ}$ синусоидального напряжения, постоянную составляющую выходного напряжения $U_{0_ВЫХ}$ и разность фаз между входным и выходным напряжением. По результатам измерений вычислить коэффициент усиления по напряжению K_U , а также постоянную составляющую выходного напряжения $U_{0_ВЫХ}$. Сравнить результаты.

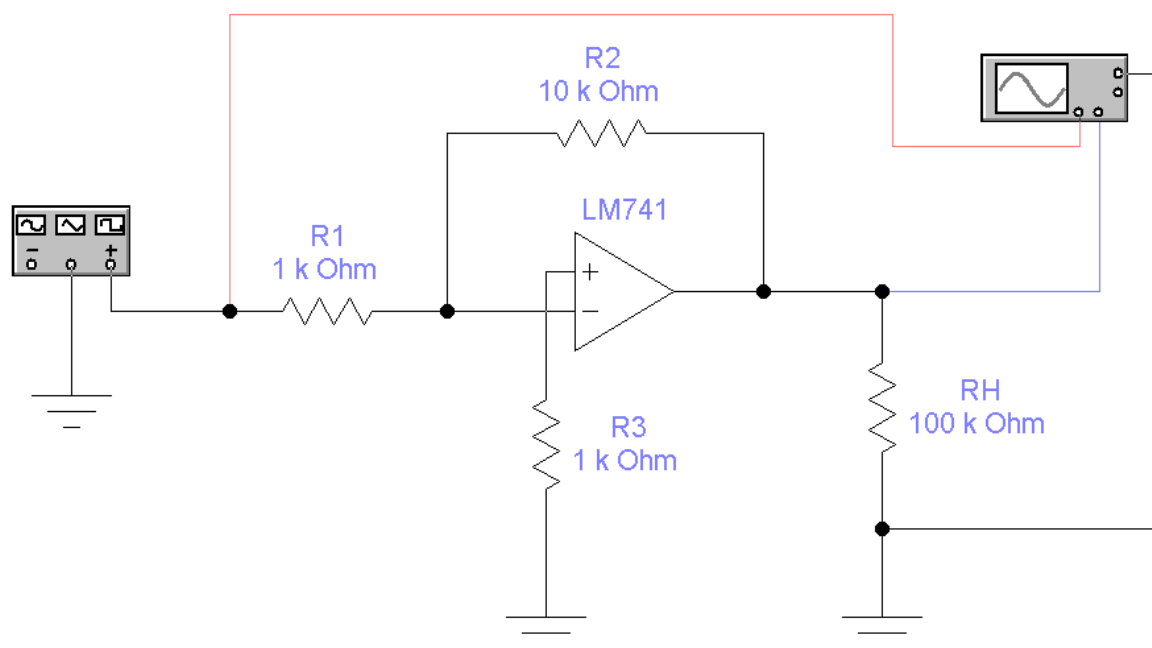


Рисунок 5.6 – Схема для исследования работы инвертирующего ОУ в режиме усиления синусоидального напряжения

Эксперимент 8. Исследование влияния параметров схемы инвертирующего усилителя на режим её работы.

Установить значение R_1 равным 10 кОм, амплитуду синусоидального напряжения генератора 100 мВ. Установить масштаб напряжения на входе A осциллографа 100 mV/div, а на канале B – 500 mV/div. Включить схему. Для новых параметров схемы повторить все измерения и вычисления эксперимента 7.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Сравните между собой величины входного и выходного сопротивлений ОУ. Какова схема замещения ОУ как элемента электрической цепи?
2. Отличается ли экспериментальное значение скорости нарастания выходного напряжения от номинального значения?
3. В чем причина возникновения входных токов ОУ и разницы входных токов? К чему они приводят при работе схем на ОУ?
4. Как рассчитать коэффициент усиления для схем 11_005 и 11_006 ?
5. Как измерить разность фаз между входными и выходными напряжениями в схемах 11_005 и 11_006 ?
6. Сколько процентов от амплитуды выходного напряжения составляет постоянная составляющая в выходном напряжении?
7. Какие параметры схемы 11_006 влияют на ее коэффициент усиления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6**Компараторы, сумматоры, дифференцирующие и интегрирующие
схемы (4 ч)**

Цель работы: Формирование у студента компетенции ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Исследование схем детекторов нулевого уровня.
2. Исследование схем детекторов ненулевого уровня.
3. Анализ работы схемы суммирующего усилителя на ОУ.
4. Исследование суммирования двух переменных входных напряжений.
5. Исследование схемы интегратора на ОУ.
6. Исследование схемы дифференциатора на ОУ.

Теоретическое обоснование

Функциональное назначение компаратора заключается в изменении состояния выхода при переходе входным напряжением некоторого порогового значения. В качестве компаратора может применяться ОУ. Использование разных входов ОУ для подачи входного сигнала позволяет реализовать фиксацию уровня входного напряжения положительным или отрицательным переходом напряжения на выходе компаратора.

На характеристиках «выход – вход» по вертикальной оси откладывается выходное напряжение, по горизонтальной оси – входное. Наклон характеристик вызван конечной скоростью нарастания выходного напряжения. Пороговый уровень входного напряжения задается величиной напряжения смещения, подаваемого на инвертирующий вход ОУ. Напряжение смещения может задаваться стабилитроном. Для идеального ОУ, имеющего одинаковые напряжения ограничения, положительное значение входного порогового напряжения может быть вычислено по формуле:

$$U_1 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (6.1)$$

Отрицательное значение входного порогового напряжения определяется выражением:

$$U_2 = \frac{-E \cdot R_2}{R_1 + R_2} = -U_1, \quad (6.2)$$

где E – напряжение ограничения ОУ.

В характеристике «вход – выход» сигнал с канала, подключенного к выходу схемы, откладывается по горизонтальной оси, а сигнал с канала, подключенного к входу схемы – по вертикальной оси.

Динамику переключения выходного напряжения схемы можно проследить по осциллограммам входного и выходного напряжения. При снятии этой характеристики на вход схемы подается синусоидальное напряжение и двулучевым осциллографом фиксируется входное и выходное напряжение.

В суммирующем усилителе выполняются следующие соотношения:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}; \quad I = I_1 + I_2; \quad I_{OC} = I_1 + I_2 = -\frac{U_{ВЫХ}}{R_{OC}}. \quad (6.3)$$

Из этих соотношений можно получить следующее выражение для выходного напряжения:

$$U_{ВЫХ} = -(I_1 + I_2) \cdot R_{OC} = -\left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right) \cdot R_{OC} = \frac{-R_{OC}}{R} \cdot (U_1 + U_2). \quad (6.4)$$

Последнее выражение справедливо при $R = R_1 = R_2$.

На основе ОУ можно построить почти идеальные интеграторы. Выходное напряжение интегратора связано с входным напряжением $U_{ВХ}$ следующими соотношениями:

$$\frac{U_{ВХ}}{R} = -C \cdot \frac{dU_{ВЫХ}}{dt}, \quad (6.5)$$

$$U_{ВЫХ} = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t U_{ВХ} \cdot dt + const. \quad (6.6)$$

Недостатком ОУ является дрейф выходного напряжения, обусловленный напряжением смещения и входными токами ОУ. Это явление можно устранить, если к конденсатору C подключить резистор R_2 с большим сопротивлением, обеспечивающий стабилизацию рабочей точки за счет обратной связи по постоянному току. Резистор обратной связи R_2 предотвращает также насыщение ОУ

после заряда конденсатора, когда ток через конденсатор станет равным нулю. Выходное напряжение этой схемы при подаче на нее скачка входного напряжения амплитудой $U_{\text{ВХ}}$ изменяется в соответствии с выражением:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{ВХ}} \cdot \frac{R_2}{R_1} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{R_2 \cdot C}\right) \right]. \quad (6.7)$$

На начальном интервале переходного процесса при $t \ll R_2$ изменение выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ будет достаточно близко к линейному, и скорость его изменения может быть вычислена из выражения:

$$\frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta t} = \frac{-U_{\text{ВХ}}}{R_1 \cdot C}. \quad (6.8)$$

Для схемы дифференциатора выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ пропорционально скорости изменения входного сигнала и вычисляется по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_2 \cdot C \cdot \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta t}. \quad (6.9)$$

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Осциллограф;
2. Функциональный генератор;
3. Источник постоянной ЭДС;
4. Операционные усилители;
5. Диоды;
6. Стабилитрон 1 N 4733;
7. Вольтметр;
8. Амперметр;
9. Резисторы.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Исследование характеристик детектора нулевого уровня с подачей сигнала на неинвертирующий вход ОУ.

Откройте файл 11_007 (рисунок 6.1).

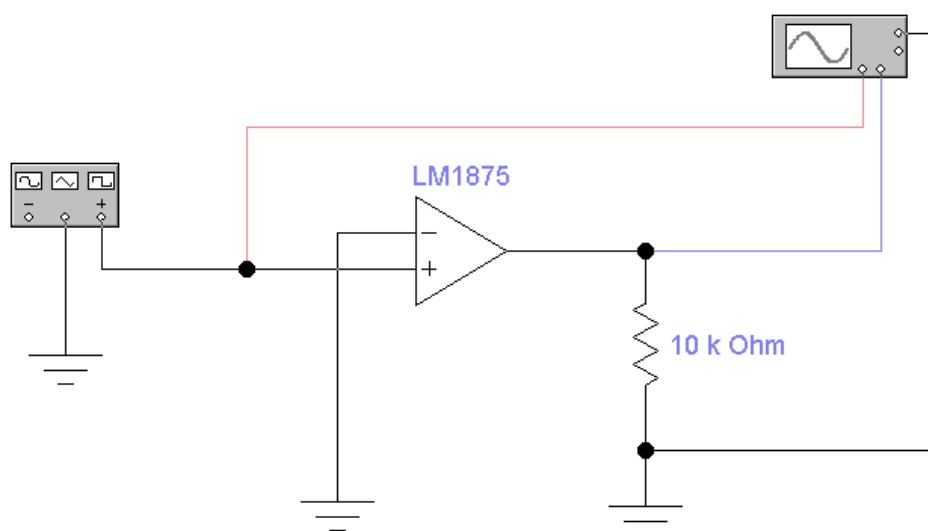


Рисунок 6.1 – Схема для исследования характеристик детектора нулевого уровня с подачей сигнала на неинвертирующий вход ОУ

Включить схему. В полученной на экране характеристике отклонение луча по оси Y (канал B) определяется выходным напряжением $U_{\text{ВЫХ}}$, а по оси X (канал A) – входным $U_{\text{ВХ}}$. Зарисовать характеристику «вход – выход» и по ней определить пороговое напряжение. Перевести осциллограф в режим Y/T , установить масштаб напряжения на входе A 2 V/div . Включить схему. Зарисовать полученные осциллограммы входного $U_{\text{ВХ}}$ и выходного $U_{\text{ВЫХ}}$ напряжения. Определить пороговое значение входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ и сравнить его со значением, определенным в предыдущем пункте.

Эксперимент 2. Исследование характеристик детектора нулевого уровня с подачей сигнала на инвертирующий вход ОУ.

Открыть файл 11_008 (рисунок 6.2). Включить схему. Зарисовать характеристику «выход – вход». По характеристике определить пороговое напряжение. Перевести осциллограф в режим Y/T и зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Определить пороговое напряжение.

Эксперимент 3. Исследование характеристик компаратора с положительным опорным напряжением.

Открыть файл 11_009 (рисунок 6.3). Повторить все опыты, описанные в эксперименте № 1.

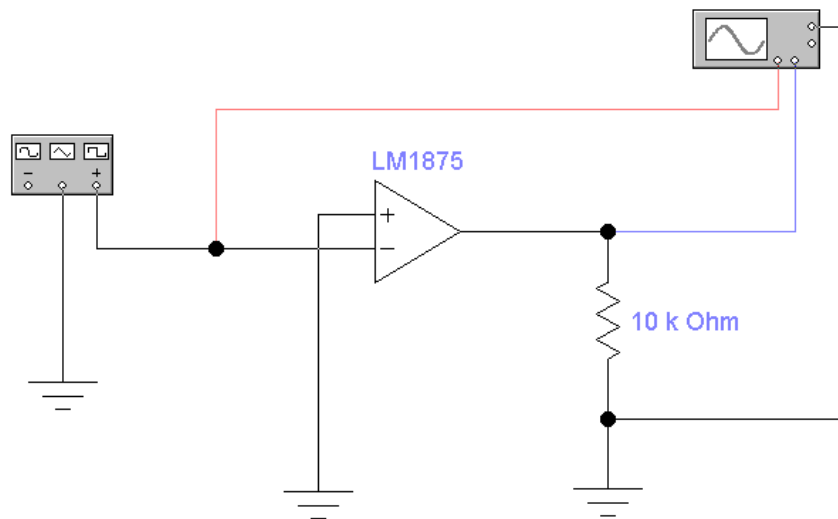


Рисунок 6.2 – Схема для исследования характеристик детектора нулевого уровня с подачей сигнала на не инвертирующий вход ОУ

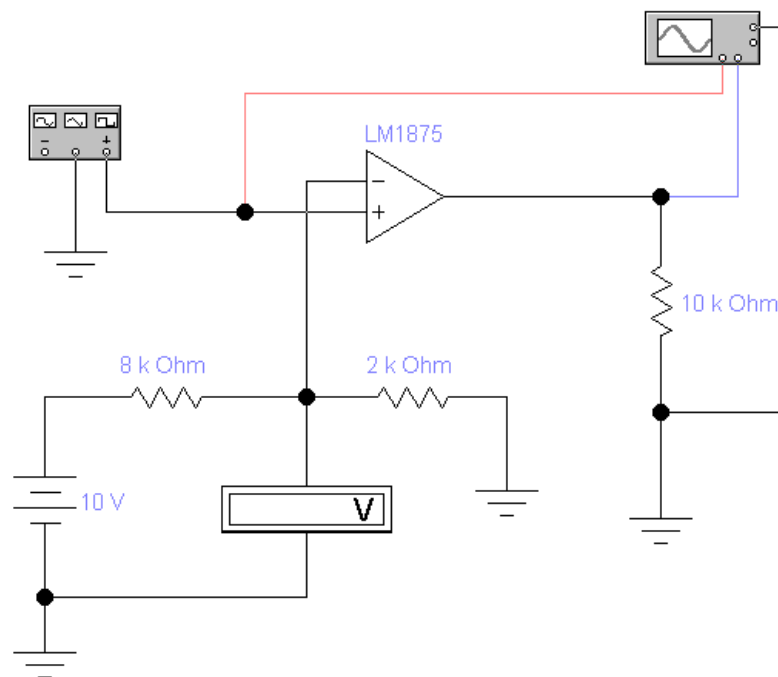


Рисунок 6.3 – Схема для исследования характеристик компаратора с положительным опорным напряжением

Эксперимент 4. Исследование характеристик компаратора с отрицательным опорным напряжением.

Открыть файл 11_010 (рисунок 6.4).

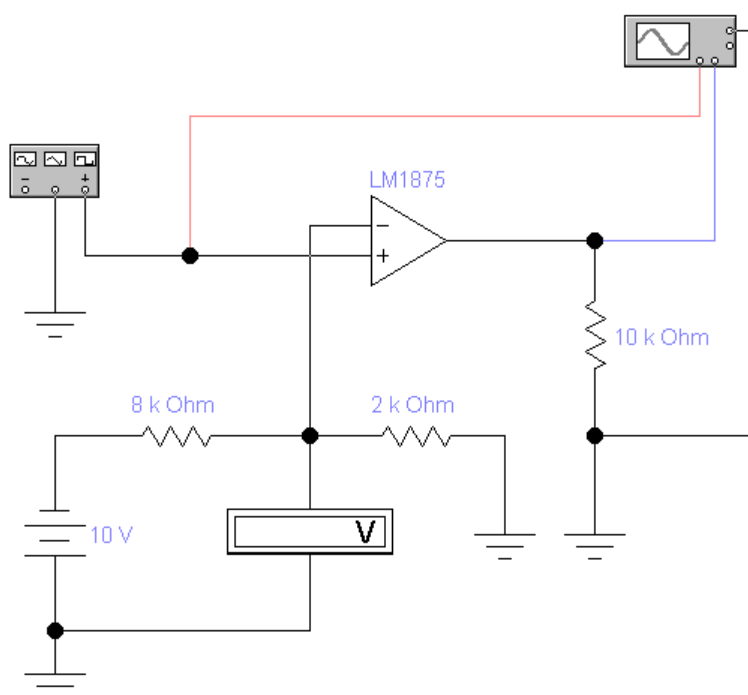


Рисунок 6.4 – Схема для исследования характеристик компаратора с отрицательным опорным напряжением

Повторить все опыты, описанные в эксперименте № 1.

Эксперимент 5. Исследование характеристик компаратора с фиксацией выходного напряжения.

Открыть файл 11_012 (рисунок 6.5).

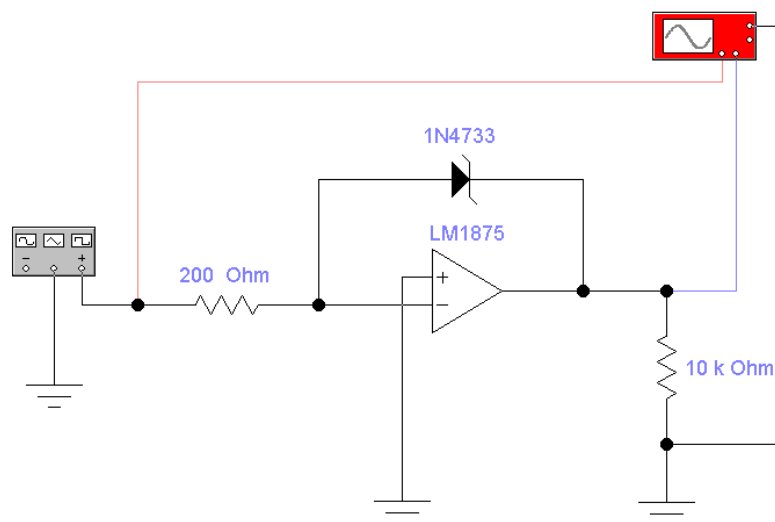


Рисунок 6.5 – Схема для исследования характеристик компаратора с фиксацией выходного напряжения

Включить схему. Зарисовать полученные осциллограммы входного и выходного напряжения. По осциллограммам определить уровни выходного напряжения и пороговое напряжение. Изменить направление включения

стабилитрона на обратное. Включить схему. Повторите операции. Сравните $U_{\text{пор}}$ и уровни выходного напряжения.

Эксперимент 6. Исследование характеристик компаратора с фиксированной зоной входного напряжения.

Открыть файл 11_013 (рисунок 6.6). Включить схему. Зарисовать полученные осциллограммы входного и выходного напряжения. Определить пороговые напряжения $U_{\text{ниж}}$ и $U_{\text{верх}}$.

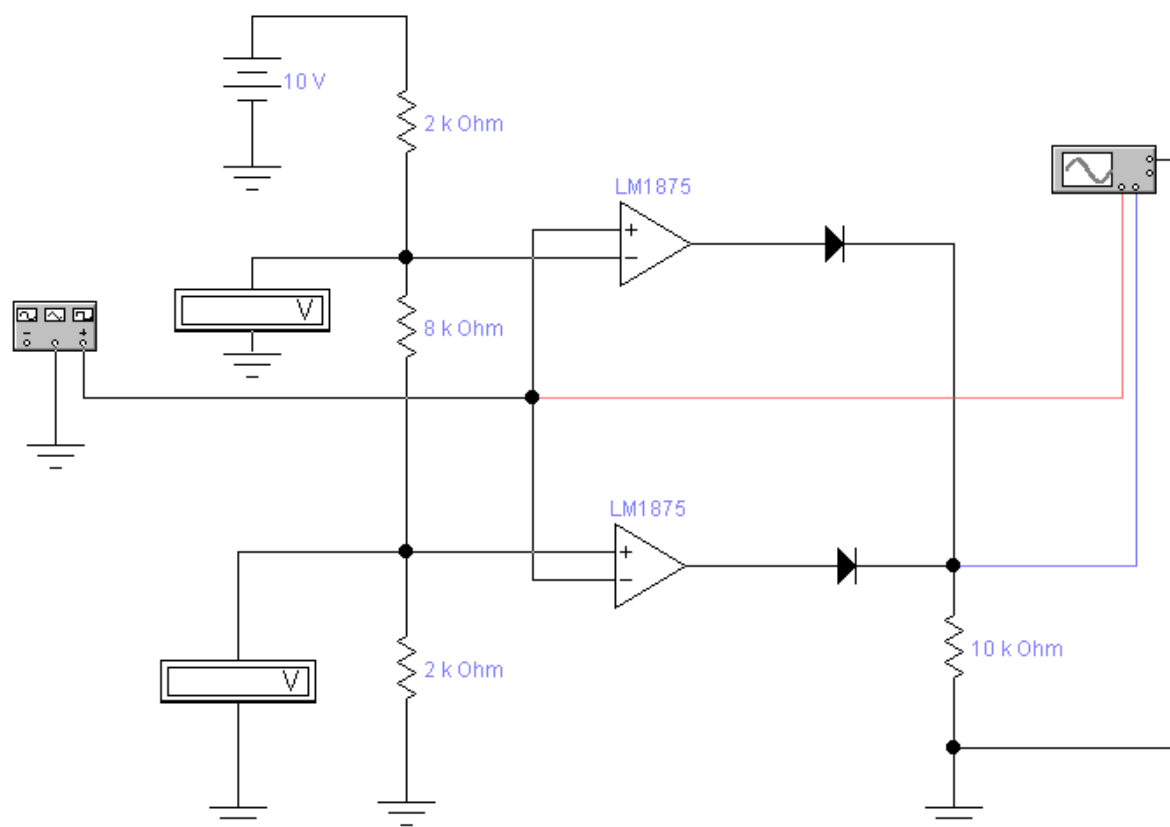


Рисунок 6.6 – Схема для исследования характеристик компаратора с фиксированной зоной входного напряжения

Эксперимент 7. Суммирование постоянных напряжений.

Открыть файл 11_015 (рисунок 6.7).

Включить схему. Записать показания приборов.

По заданным номиналам элементов схемы рассчитать значения токов I_1 , I_2 , I_{oc} и, используя значения напряжений U_1 и U_2 , вычислить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$.

Эксперимент 8. Суммирование переменных напряжений.

Открыть файл 11_017 (рисунок 6.8).

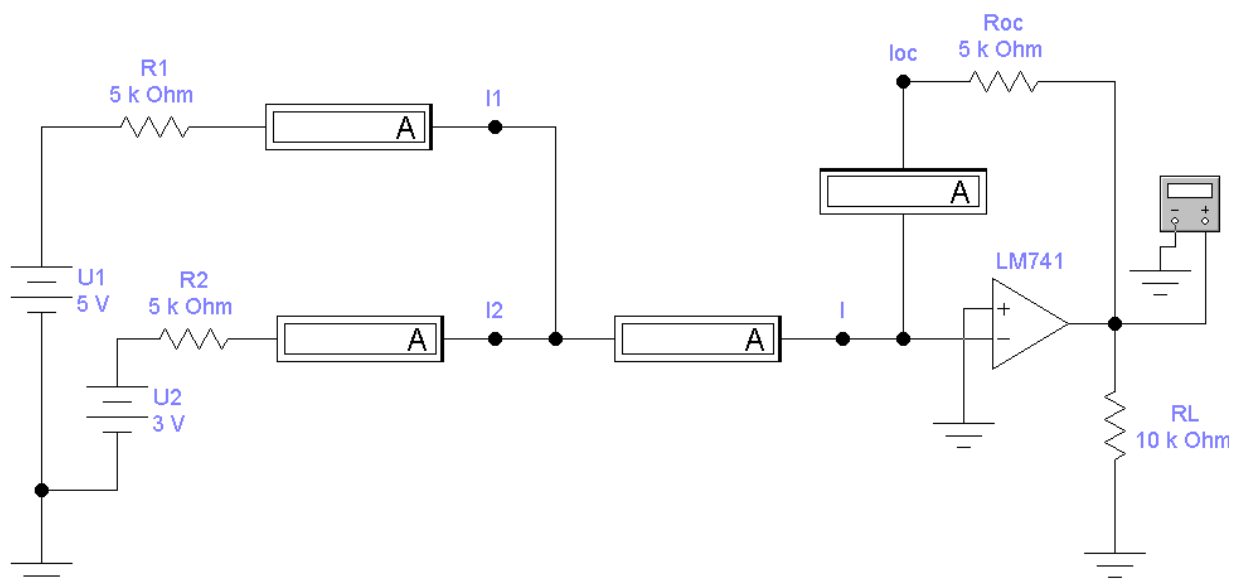


Рисунок 6.7 – Схема для суммирования постоянных напряжений

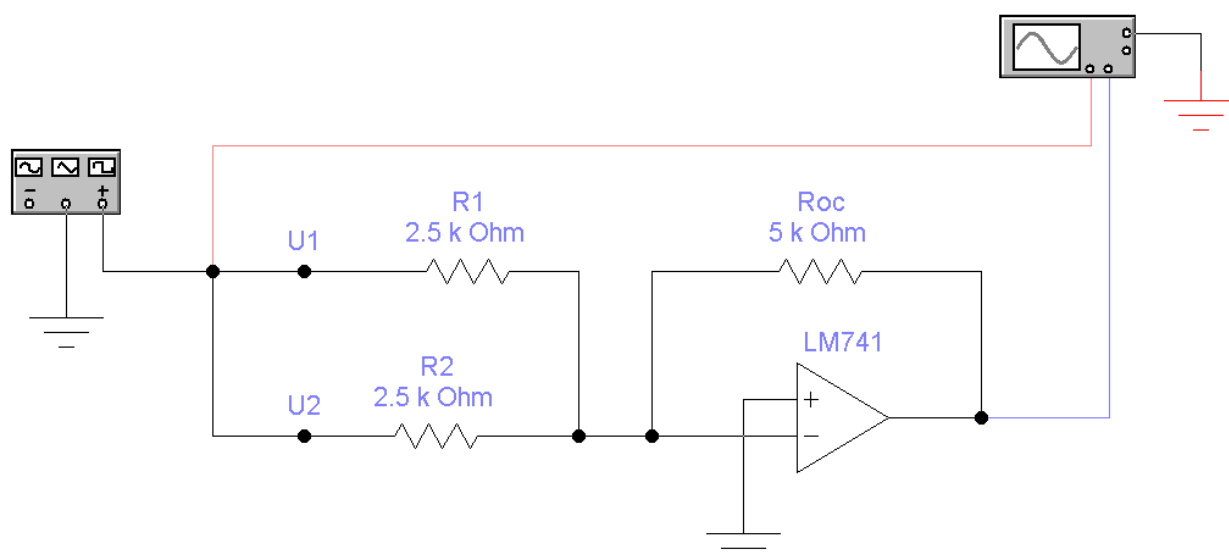


Рисунок 6.8 – Схема для суммирования переменных напряжений

Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Измерить амплитуды входного и выходного напряжения. Вычислить амплитуду выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ по известным значениям амплитуд напряжений U_1 и U_2 .

Эксперимент 9. Переходный процесс в схеме интегратора.

Открыть файл 11_018 (рисунок 6.9). Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения схемы при подаче на вход напряжения в виде последовательности прямоугольных импульсов. Измерить амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость

изменения выходного напряжения. Для установившегося процесса измерить амплитуду выходного напряжения.

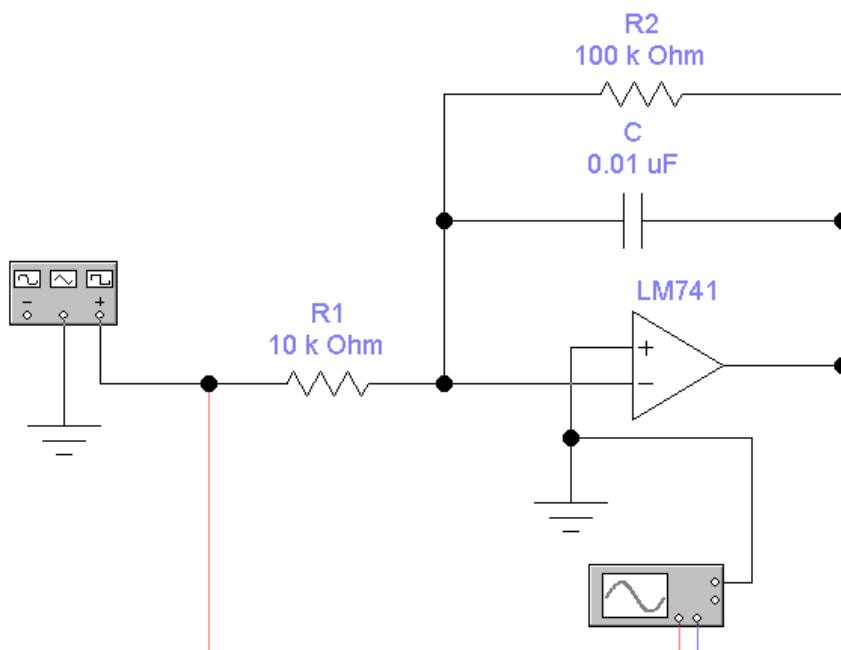


Рисунок 6.9 – Схема для исследования переходных процессов в схеме интегратора

Эксперимент 10. Влияние амплитуды входного напряжения на переходный процесс в схеме интегратора.

В схеме, изображенной на рисунке 6.9 установить амплитуду генератора равной 2 В и установить масштаб напряжения на входах *A* и *B* осциллографа 2V/div. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения. Сравнить осциллограммы выходного напряжения, полученного в этом и предыдущем экспериментах. Для установившегося процесса измерить амплитуду выходного напряжения.

Эксперимент 11. Влияние параметров схемы на переходный процесс в схеме интегратора.

а) В схеме (рисунок 6.9) установить сопротивление R_1 равным 5 кОм, амплитуду генератора 5 В. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Записать амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения в начале процесса.

Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном эксперименте, с осциллограммой, полученной в эксперименте 1.

б) В схеме (рисунок 6.9) установить емкость конденсатора равной 0,02 мкФ. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. Записать амплитуду входного напряжения и определить по осциллограмме скорость изменения выходного напряжения в начале процесса. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном эксперименте, с осциллограммой, полученной в эксперименте 1.

Эксперимент 12. Переходный процесс в схеме дифференциатора на ОУ.

Открыть файл 11_019 со схемой, изображенной на рисунке 6.10.

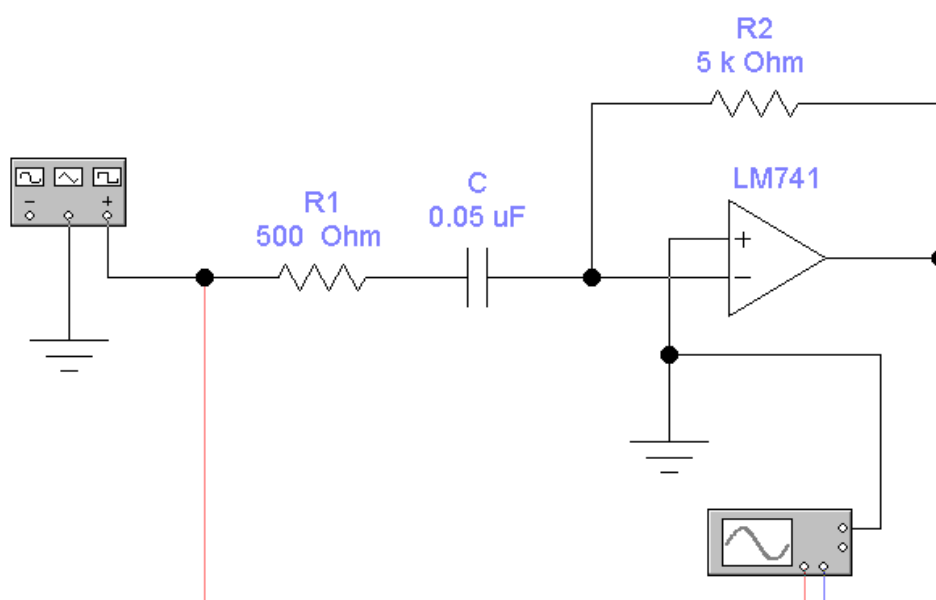


Рисунок 6.10 – Схема для исследования переходных процессов в схеме дифференциатора на ОУ

а) Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения.

б) По заданным параметрам схемы и найденному значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

Эксперимент 13. Влияние частоты входного напряжения на выходное напряжение дифференциатора.

В схеме (рисунок 6.10) установите частоту генератора равной 2 кГц.

а). Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном эксперименте, с осциллограммой, полученной в эксперименте 4.

б). По заданным параметрам схемы и найденному значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

Эксперимент 14. Влияние сопротивления в цепи обратной связи на выходное напряжение дифференциатора.

В схеме (рисунок 6.10) восстановить начальную частоту генератора, а величину сопротивления в цепи обратной связи установить равной 10 кОм. Включить схему. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном эксперименте, с осциллограммой, полученной в эксперименте 4.

Эксперимент 15. Влияние емкости конденсатора на выходное напряжение дифференциатора.

а). В схеме (рисунок 6.10) восстановить первоначальные значения параметров схемы, а величину емкости конденсатора установить равной 0,1 мкФ. Включить схему. После установления процесса зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения. По полученным осциллограммам определить скорость изменения входного напряжения и амплитуду выходного напряжения. Сравнить осциллограмму выходного напряжения, полученную в данном эксперименте, с осциллограммой, полученной в предыдущем эксперименте.

б). По заданным параметрам схемы и найденному значению скорости изменения входного напряжения рассчитать амплитуду выходного напряжения.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Сравните скорость изменения выходного сигнала в экспериментах 1 и 2.
2. Какую роль играет сопротивление R_2 , подключенное параллельно конденсатору в схеме на рисунке 6.9?
3. На какие параметры переходного процесса в схеме на рисунке 6.10 влияет величина сопротивления R_2 ?
4. Является ли схема на рисунке 6.9 идеальным интегратором входного напряжения?
5. От параметров каких компонентов схемы (рисунок 6.9) зависит точность интегрирования входного напряжения?
6. От параметров каких компонентов схемы (рисунок 6.9) зависит скорость изменения выходного напряжения при подаче на вход скачка напряжения?
7. Выведите соотношение между входным и выходным напряжением для схемы (рисунок 6.9).
8. Выведите соотношение между входным и выходным напряжением для схемы (рисунок 6.10).
9. Почему схема (рисунок 6.10) является дифференцирующим каскадом?
10. Зависит ли выходное напряжение дифференцирующего каскада от скорости изменения входного напряжения? Пояснить.
11. Зависит ли выходное напряжение дифференцирующего каскада (рисунок 6.10) от величины сопротивления в цепи обратной связи?
12. Зависит ли выходное напряжение дифференцирующего каскада от емкости конденсатора C ?
13. Почему выходное напряжение дифференцирующего каскада пропорционально отрицательному значению производной входного напряжения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

Логические схемы и функции (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Исследование логических систем.
2. Реализация логических функций при помощи логических элементов.
3. Синтез логических схем, выполняющих заданные логические функции.

Теоретическое обоснование

1. Аксиомы алгебры логики.

Переменные, рассматриваемые в алгебре логики, могут принимать только два значения – 0 или 1. В алгебре логики определены: отношения эквивалентности (обозначается знаком $=$) и операции сложения (дизъюнкции), обозначается знаком $\vee$, умножения (конъюнкции), обозначается знаком $\wedge$ или точкой, и отрицания (или инверсии), обозначается надчеркиванием или апострофом.

Алгебра логики определяется следующей системой аксиом:

$$\begin{cases} x = 0, & \text{если } x \neq 1; \\ x = 1, & \text{если } x \neq 0. \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{0} = 1; \\ \bar{1} = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 \vee 1 = 1; \\ 0 \vee 0 = 0; \\ 0 \vee 1 = 1 \vee 0 = 1. \end{cases} \quad \begin{cases} 0 \wedge 0 = 0; \\ 1 \wedge 1 = 1; \\ 1 \wedge 0 = 0 \wedge 1 = 0. \end{cases}$$

2. Логические выражения.

Запись логических выражений обычно осуществляют в конъюнктивной или дизъюнктивной нормальной формах. В дизъюнктивной форме логические выражения записываются как логическая сумма логических произведений, в конъюнктивной форме – как логическое произведение логических сумм. Порядок действий такой же, как и в обычных алгебраических выражениях. Логические выражения связывают значение логической функции со значениями логических переменных.

3. Логические тождества.

При преобразованиях логических выражений используются логические

тождества:

$$\begin{aligned} \bar{\bar{x}} &= x; & x \wedge 1 &= x; & x \wedge x &= x; & (x \vee y) \wedge (x \vee \bar{y}) &= x; \\ x \vee 1 &= 1; & x \wedge 0 &= 0; & x \vee x \wedge y &= x; & x \vee \bar{x} \wedge y &= x \vee y; \\ x \vee 0 &= x; & x \vee x &= x; & x \wedge y \vee x \wedge \bar{y} &= x; & \bar{x} \wedge \bar{y} &= \overline{x \vee y}; \\ \bar{x} \vee \bar{y} &= \overline{x \wedge y}. \end{aligned}$$

4. Логические функции.

Любые логические выражения, составленные из n переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ с помощью конечного числа операций алгебры логики, можно рассматривать как некоторую функцию n переменных. Такую функцию называют логической. В соответствии с аксиомами алгебры логики функция может принимать в зависимости от значения переменных значение 0 или 1. Функция n логических переменных может быть определена для 2^n значений переменных, соответствующих всем возможным значениям n -разрядных двоичных чисел. Основным интерес представляют следующие функции двух переменных x и y :

$F_1(x, y) = x \wedge y$ – логическое умножение (конъюнкция);

$F_2(x, y) = x \vee y$ – логическое сложение (дизъюнкция);

$F_3(x, y) = \overline{x \wedge y}$ – логическое умножение с инверсией;

$F_4(x, y) = \overline{x \vee y}$ – логическое сложение с инверсией;

$F_5(x, y) = x \oplus y = x\bar{y} \vee \bar{x}y$ – суммирование по модулю 2;

$F_6(x, y) = \overline{x \oplus y} = xy \vee \bar{x}\bar{y}$ – равнозначность.

5. Логические схемы.

Физическое устройство, реализующее одну из операций алгебры логики или простейшую логическую функцию, называется логическим элементом. Схема, составленная из конечного числа логических элементов по определенным правилам, называется логической схемой. Основным логическим функциям соответствуют выполняющие их схемные элементы.

6. Таблица истинности.

Так как область определения любой функции n переменных конечна (2^n значений), такая функция может быть задана таблицей значений $f(\delta_i)$, которые она

принимает в точках δ_i , где $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$. Такие таблицы называют таблицами истинности (Таблица 7.1). В этой таблице $i = 2x + y$ – число, образованное значениями переменных.

Таблица 7.1 – Таблица истинности

i	Значения переменных		Функции					
	x	y	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
0	0	0	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	0	1	0
2	1	0	0	1	1	0	1	0
3	1	1	1	1	0	0	0	1

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Логический преобразователь;
2. Генератор слов;
3. Вольтметр;
4. Логические пробники;
5. Источник напряжения +5В;
6. Источник сигнала «Логическая единица»;
7. Двухпозиционные переключатели;
8. Двухходовые элементы И, И – НЕ, ИЛИ, ИЛИ – НЕ;
9. Микросхемы серии 74.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Исследование логической функции И.

- а) задание уровней логических сигналов.

Открыть файл `s12_01` со схемой, изображенной на рисунке 7.1. В этой схеме два двухпозиционных переключателя A и B подают на входы логической схемы И уровни 0 (контакт переключателя в нижнем положении) или 1 (контакт переключателя в верхнем положении). Включить схему, установить переключатель B в нижнее положение. Измерить вольтметром напряжение на входе B и определить уровень логического сигнала.

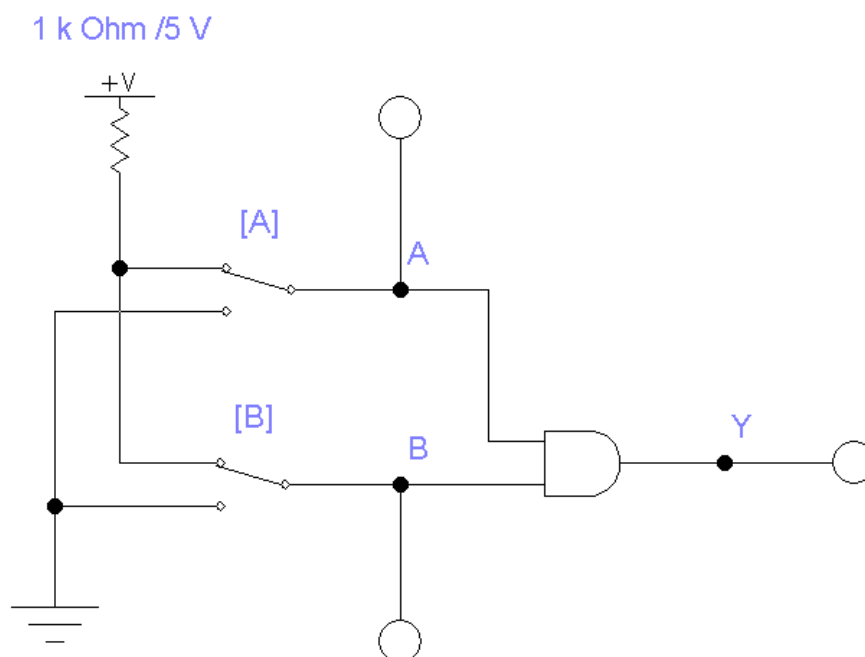


Рисунок 7.1 – Схема для исследования логической функции И

Установить переключатель B в верхнее положение. Определить уровень логического сигнала и записать показания вольтметра; указать, какой логический сигнал формируется на выходе Y .

б) Экспериментальное получение таблицы истинности элемента И.

Подать на входы схемы все возможные комбинации уровней сигналов A и B и для каждой комбинации зафиксировать уровень выходного сигнала Y . Заполнить таблицу истинности логической схемы И (Таблица 7.2).

в) Получение аналитического выражения для функции по таблице.

Таблица 7.2 – Таблица истинности логической схемы И

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Эксперимент 2. Исследование логической функции И – НЕ.

а) экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента И-НЕ, составленного из элементов И и НЕ.

Собрать схему, изображенную на рисунке 7.2. Включить схему. Подать на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая

уровни сигналов на входах и выходе, с помощью логических пробников, заполнить таблицу 7.3.

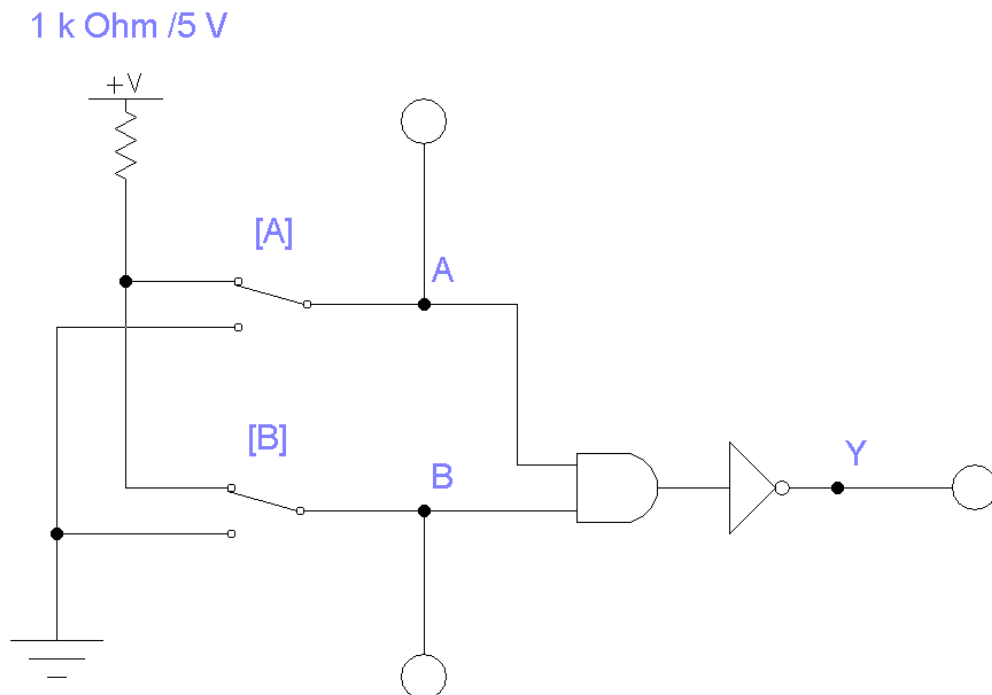


Рисунок 7.2 – Схема для исследования логической функции И – НЕ

Таблица 7.3 – Таблица истинности логического элемента И – НЕ, составленного из элементов И и НЕ

Входы		Выход
A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

б) Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2 И – НЕ.

Собрать схему, изображенную на рисунке 7.3.

Включить схему. Подать на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполнить таблицу истинности логической схемы 2И – НЕ, сравнить эту таблицу с предыдущей.

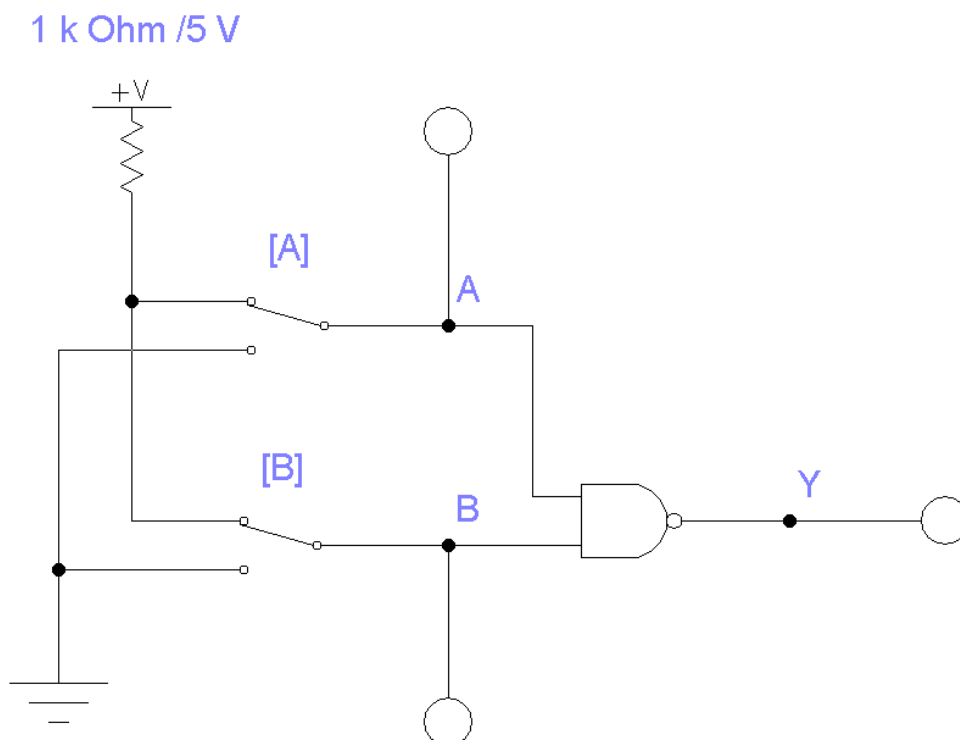


Рисунок 7.3 – Схема для исследования логической функции 2И – НЕ

Таблица 7.4 – Таблица истинности логического элемента 2И – НЕ

Входы		Выход
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Эксперимент 3. Исследование логической функции ИЛИ.

а) Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента ИЛИ.

Собрать схему, изображенную на рисунке 7.4.

Включить схему. Подать на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполнить таблицу 7.5.

Таблица 7.5 – Таблица истинности логической схемы ИЛИ.

Входы		Выход
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

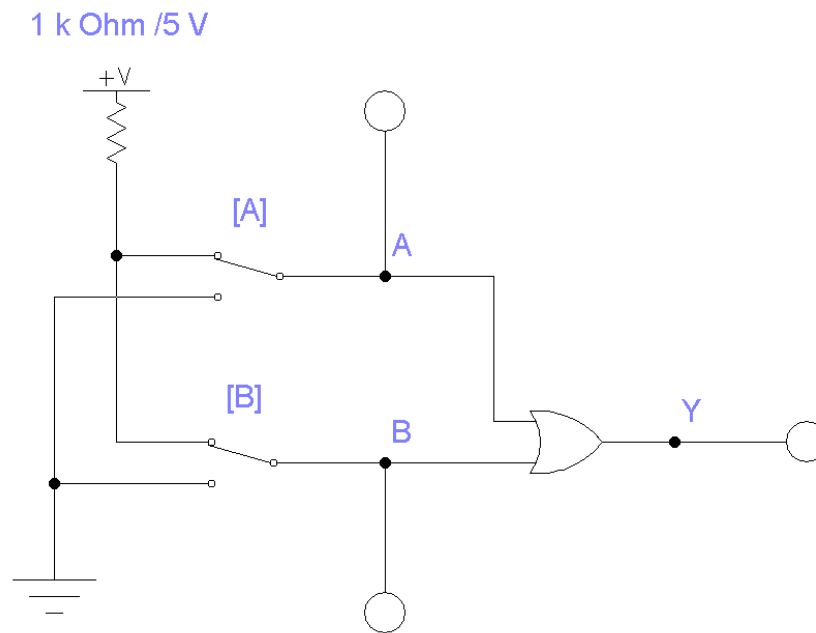


Рисунок 7.4 – Схема для исследования логической функции ИЛИ

Эксперимент 4. Исследование логической функции 2ИЛИ – НЕ.

а) Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2ИЛИ – НЕ, составленного из элементов 2ИЛИ и НЕ.

Собрать схему, изображенную на рисунке 7.5. Включить схему. Подать на входы схемы все возможные комбинации уровней входных сигналов и, наблюдая уровни сигналов на входах и выходе с помощью логических пробников, заполнить таблицу 7.6.

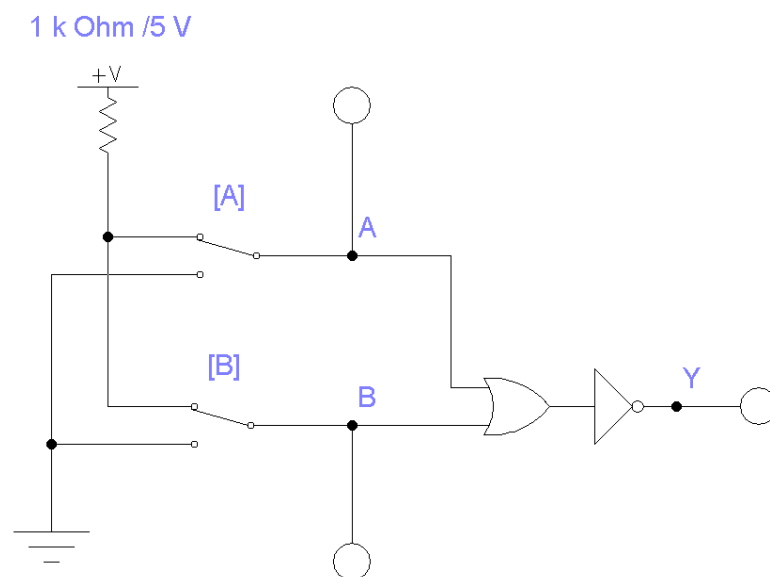


Рисунок 7.5 – Схема для исследования логической функции 2ИЛИ – НЕ

Таблица 7.6 – Таблица истинности логической схемы 2ИЛИ-НЕ.

Входы		Выход
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Эксперимент 5. Исследование логических схем с помощью генератора слов.

а) Сведения об исследуемой микросхеме.

Открыть файл 12_02 со схемой, изображенной на рисунке 7.6. Включить схему. Указать, к каким выводам микросхемы 7400 подключается источник питания, сколько элементов 2И – НЕ содержит микросхема, сколько элементов используется в данном эксперименте и как обозначены на схеме используемые входы и выходы, заполнить таблицу 7.7.

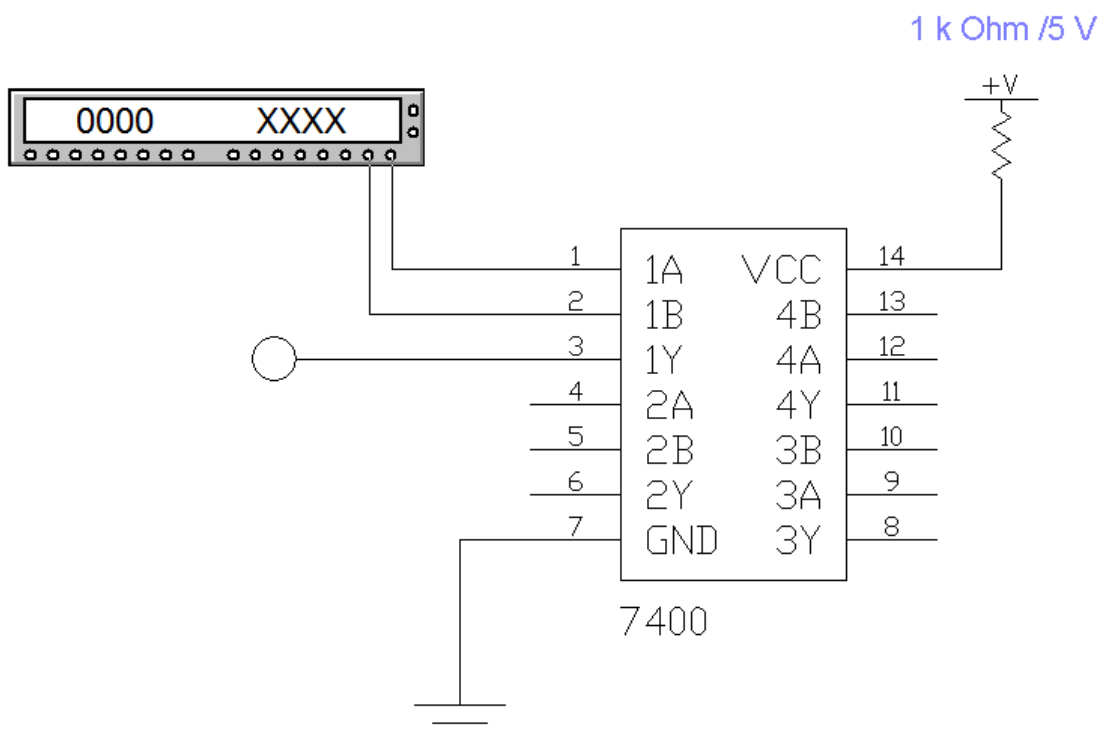


Рисунок 7.6 – Схема для исследования логической функции 2И – НЕ

Таблица 7.7 – Сведения о микросхеме.

Число элементов И – НЕ в микросхеме	
Число элементов 2И – НЕ	
Обозначения входов для подключения источника питания	
Обозначение используемых входов	
Обозначение используемого выхода	

б) Экспериментальное получение таблицы истинности логического элемента 2И – НЕ.

Запрограммировать генератор слов так, чтобы на входе генератора получать последовательно следующие комбинации: 00, 01, 10, 11. Перевести генератор в режим пошаговой работы нажатием кнопки «Step» на увеличенном изображении генератора. Каждое нажатие кнопки «Step» вызывает переход к очередному слову заданной последовательности, которое подается на выход генератора. Последовательно подавая на микросхему слова из заданной последовательности, заполнить таблицу 7.8.

Таблица 7.8 – таблица истинности элемента 2И-НЕ.

Входы		Выход
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Что такое логическая переменная и логический сигнал? Какие значения они могут принимать?
2. Что такое логическая функция?
3. Может ли быть логическим сигналом уровень напряжения? Состояние контакта? Свечение светодиода?
4. Какая логическая функция описывает поведение системы пуска трехфазного двигателя (двигатель может быть запущен, если три датчика подтверждают наличие фазных напряжений)?
5. Датчик температуры состоит из контакта, который замыкается (размыкается) при превышении температуры. При замыкании контакта вырабатывается сигнал логической единицы, при размыкании – логического нуля. Какаю схему следует

использовать для обнаружения срабатывания хотя бы одного датчика пожарной сигнализации?

- а) при повышении температуры в датчике происходит замыкание контакта;
- б) при повышении температуры в датчике происходит размыкание контакта.

6. Как будет вести себя схема ИЛИ, И, если на одном из входов, вследствие внутренней неисправности будет постоянно присутствовать логическая единица? Логический ноль?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

Комбинационные цифровые устройства (4 ч).

Цель работы: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Ознакомление с принципом работы дешифраторов.
2. Исследование влияния управляющих сигналов на работу дешифраторов.
3. Реализация и исследование функциональных модулей на основе дешифраторов.
4. Ознакомление с принципом работы мультиплексора.
5. Реализация и исследование функциональных модулей на основе мультиплексоров.

Теоретическое обоснование

1. Комбинационные схемы.

Комбинационной схемой называется логическая схема, реализующая однозначное соответствие между значениями входных и выходных сигналов. Для реализации комбинационных схем используются логические элементы, выпускаемые в виде интегральных схем. В этот класс ходят интегральные схемы дешифраторов, шифраторов, мультиплексоров, демультиплексоров, сумматоров.

2. Дешифраторы

Дешифратор – логическая комбинационная схема, которая имеет n информационных входов и 2^n выходов. Каждой комбинации логических уровней на входах будет соответствовать активный уровень на одном из 2^n выходов. Обычно n равно 2, 3 или 4. На рисунке 8.1 изображен дешифратор с $n = 3$, активным уровнем является уровень логического нуля. На входы C, B, A можно подать следующие комбинации логических уровней: 000, 001, 010...111, всего 8 комбинаций. Схема имеет 8 выходов, на одном из которых формируется низкий потенциал, на остальных – высокий. Номер этого единственного выхода, на котором формируется активный (нулевой) уровень, соответствует числу N , определяемому состоянием входов C, B, A следующим образом: $N = 2^2 C + 2^1 B + 2^0 A$.

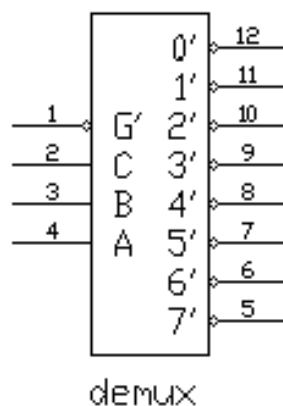


Рисунок 8.1 – Схематическое изображение дешифратора с $n = 3$

Помимо информационных входов C , B , A дешифраторы обычно имеют дополнительные входы управления G . Сигналы на этих входах, например, разрешают функционирование дешифратора или переводят его в пассивное состояние, при котором, независимо от сигналов на информационных входах, на всех выходах установится уровень логической единицы. Можно сказать, что существует некоторая функция разрешения, значение которой определяется состояниями управляющих входов.

Разрешающий вход дешифратора может быть прямым или инверсным. У дешифраторов с прямым разрешающим входом активным уровнем является уровень логической единицы, у дешифраторов с инверсным входом – уровень логического нуля.

У дешифратора с несколькими входами управления функция разрешения, как правило, представляет собой логическое произведение всех разрешающих сигналов управления. Обычно входы управления используются для каскадирования (увеличения разрядности) дешифраторов или при параллельной работе нескольких схем на общие выходные линии.

3. Использование дешифратора в качестве демультиплексора.

Дешифратор может быть использован и как демультиплексор – логический коммутатор, подключающий входной сигнал к одному из выходов. В этом случае функцию информационного входа выполняет один из входов разрешения, а состояние входов C , B , A задает номер выхода, на который передается сигнал со входа разрешения.

4. Мультиплексоры.

Мультиплексор – комбинационная логическая схема, представляющая собой управляемый переключатель, который подключает к выходу один из информационных входов данных. Номер подключаемого входа равен числу (адресу), определяемому комбинацией логических уровней на входах управления. Кроме информационных и управляющих входов, схемы мультиплексоров содержат вход разрешения, при подаче на который активного уровня мультиплексор переходит в активное состояние. При подаче на вход разрешения пассивного уровня мультиплексор перейдет в пассивное состояние, для которого сигнал на выходе сохраняет постоянное значение независимо от значений информационных и управляющих сигналов. Число информационных входов у мультиплексоров обычно 2, 4, 8 или 16.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Логический преобразователь.
2. Генератор слов.
3. Вольтметр.
4. Логические пробники.
5. Источник напряжения +5В.
6. Генератор тактовых импульсов.
7. Двухпозиционные переключатели
8. Источник сигнала «логическая единица»
9. Микросхема 74138 – дешифратор 3х8
10. Мультиплексор

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Исследование принципа работы дешифратора 3×8 в основном режиме.

Открыть файл c13_01 со схемой, изображенной на рисунке 8.2. Включить схему. Подать на вход *G* уровень логической единицы. Для этого клавишей *G* ключ

G установить в верхнее положение. Определить и записать уровни сигналов на выходах $Y_0 \dots Y_7$ в таблицу 8.1 при $G = 1$.

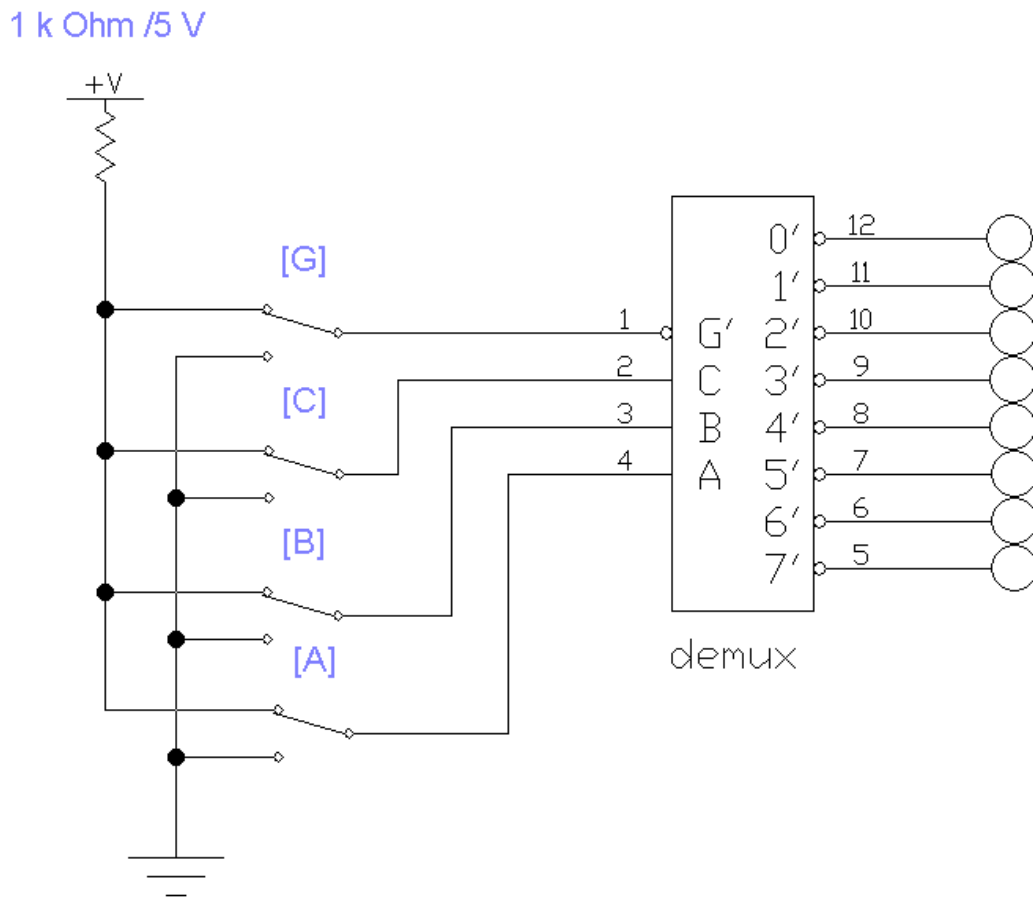


Рисунок 8.2 – Схема для исследования дешифратора 3×8

Подать на вход G уровень логического нуля (ключ G установить в нижнее положение). Убедиться, что дешифратор перешел в рабочий режим и на одном из выходов установился уровень логического нуля. Подавая все возможные комбинации уровней логических сигналов на входы C , B , A с помощью логических ключей и определяя с помощью пробников уровни логических сигналов на выходе схемы, заполнить таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Таблица истинности дешифратора.

C	B	A	G	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
0	0	0	1								
0	1	1	1								
0	0	1	0								
0	1	0	0								
0	1	1	0								
1	0	0	0								
1	0	1	0								
1	1	0	0								
1	1	1	0								

Эксперимент 2. Исследование принципа работы дешифратора 3×8 в режиме 2×4.

а) В схеме, изображенной на рисунке 8.2, подключить вход C к общему проводу (земле), задав $C = 0$. Изменяя уровни сигналов B и A и наблюдая уровни сигналов на выходах схемы с помощью пробников, заполнить таблицу 8.2. Указать выходы, на которых уровень сигнала не меняется.

Таблица 8.2 – Таблица истинности дешифратора 3×8 в режиме 2×4 (при $C=0$).

C	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
0	0	0								
0	0	1								
0	1	0								
0	0	1								

б) Прodelать пункт а) при $C = 1$, для чего вход C подключить к источнику логической единицы. Заполнить таблицу истинности 8.3.

Таблица 8.3 – Таблица истинности дешифратора 3×8 в режиме 2×4 (при $C=1$).

C	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
1	0	0								
1	0	1								
1	1	0								
1	0	1								

в) Прodelать пункт а), заземлив вход B ($B = 0$), подавая при этом на входы A и C все возможные комбинации логических уровней. Заполнить таблицу 8.4, указав номера выходов, на которых уровень логического сигнала не изменяется.

Таблица 8.4 – Таблица истинности дешифратора 3×8 в режиме 2×4 (при $B=0$).

C	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
0	0	0								
0	0	1								
1	0	0								
1	0	1								

Эксперимент 3. Исследование работы дешифратора в качестве демультиплексора.

Открыть файл c13_02 (рисунок 8.3). Включить схему. В пошаговом режиме работы генератора слов подать на входы C , B , A демультиплексора слова, эквивалентные числам от 0 до 7. Наблюдая при помощи логических пробников уровни сигналов на выходах, заполнить таблицу 8.5. Убедиться, что изменяющийся сигнал на входе G поочередно появляется на выходах дешифратора.

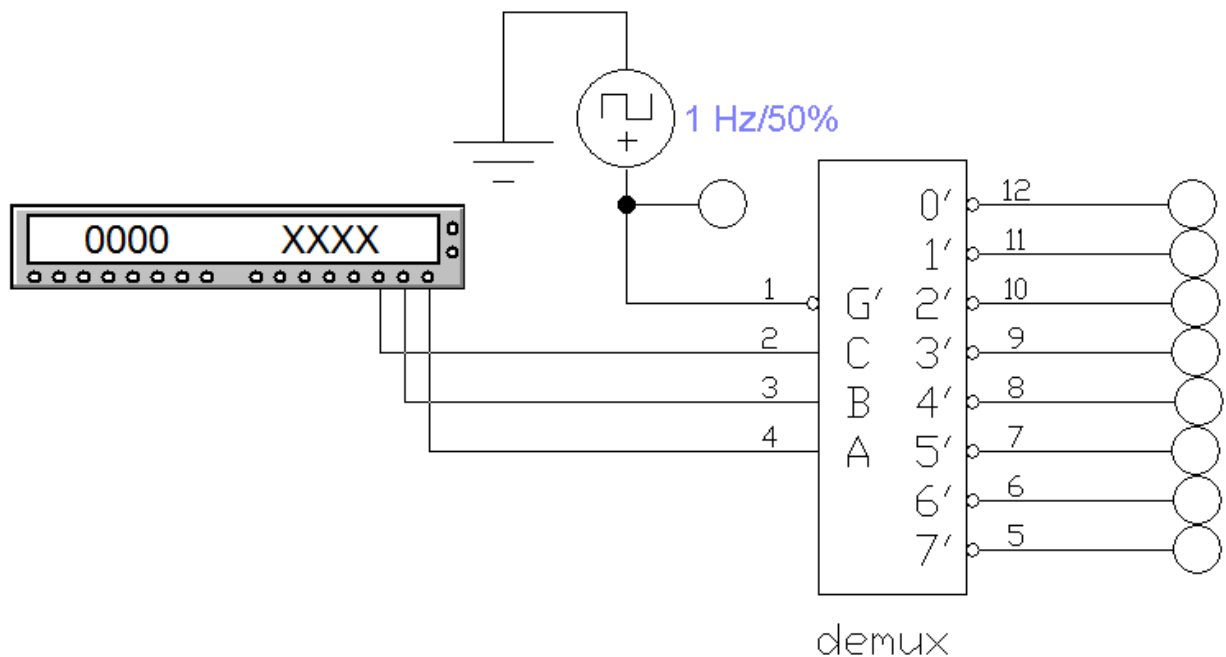


Рисунок 8.3 – Схема для исследования работы дешифратора
в качестве демультиплексора

Таблица 8.5 – Таблица истинности дешифратора, работающего в качестве демультиплексора

C	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7
0	0	0								
0	0	1								
0	1	0								
0	0	1								
0	0	1								
1	0	1								
1	0	1								
1	0	1								
1	0	1								

Эксперимент 4. Исследование дешифратора 3×8 с логической схемой на выходе.

Открыть файл c13_03 (рисунок 8.4).

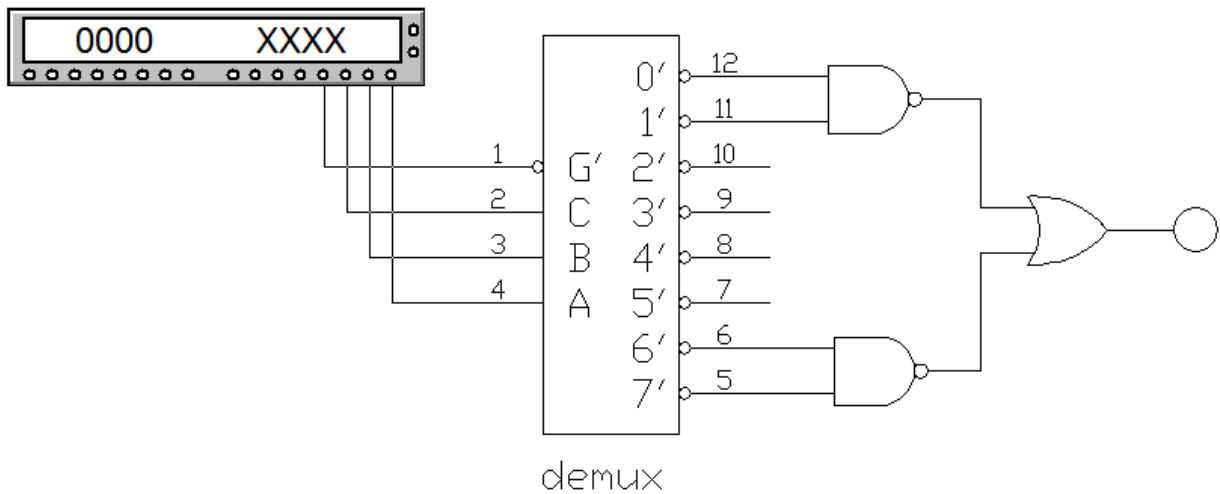


Рисунок 8.4 – Схема для исследования дешифратора 3×8 с логической схемой на выходе

Включить схему. Установить генератор слов в пошаговый режим. Последовательно подавая слова от генератора на вход схемы и наблюдая уровень логического сигнала на выходе схемы с помощью логического пробника, составить таблицу истинности функции F , реализуемой схемой на выходе (таблица 8.6). По таблице записать аналитическое выражение функции.

Таблица 8.6 – Таблица истинности дешифратора 3×8 с логической схемой на выходе.

G	C	B	A	F
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

Эксперимент 5. Исследование микросхемы 74138

а) Открыть файл c13_04 (рисунок 8.5).

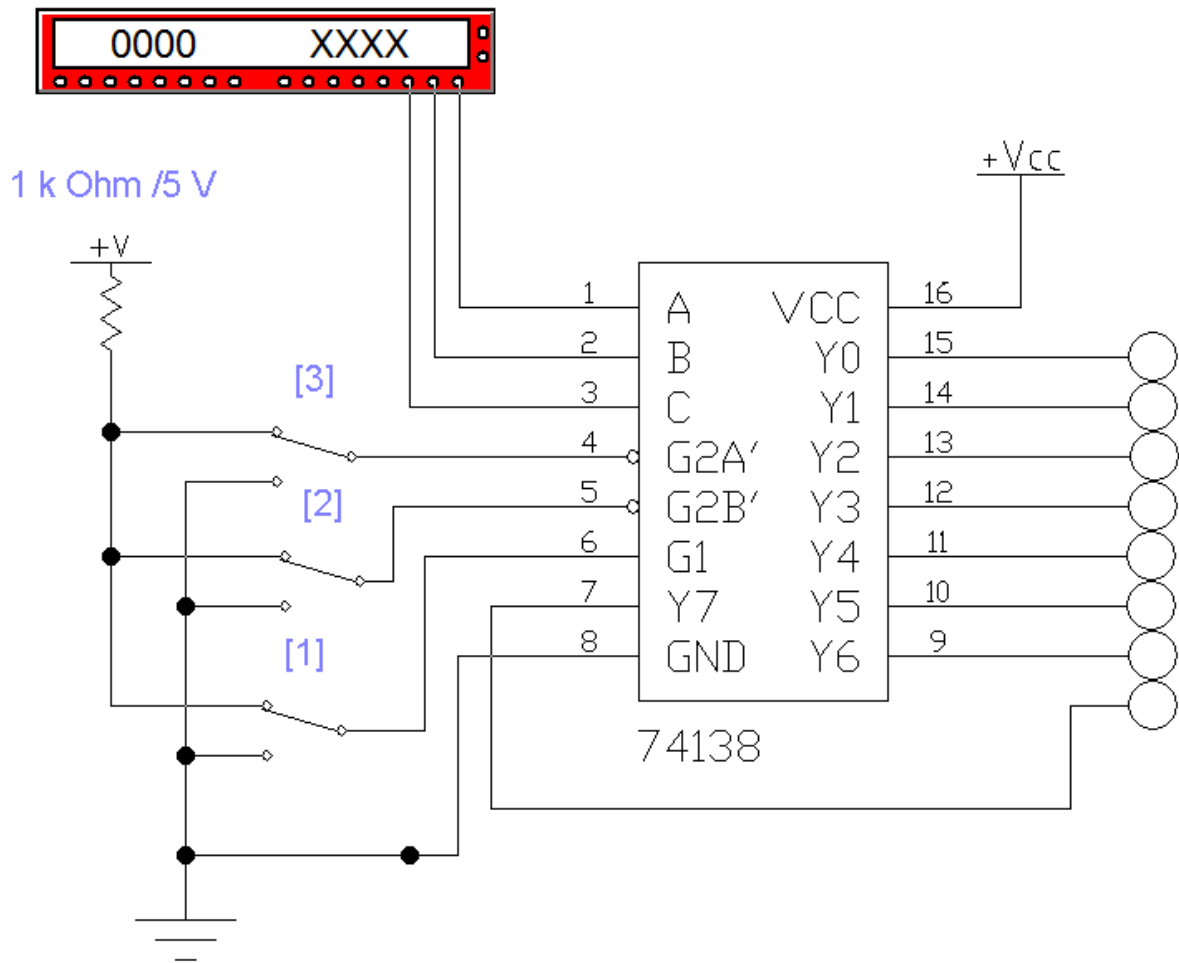


Рисунок 8.5 – Схема для исследования микросхемы 74138

Установить генератор слов в пошаговый режим. Включить схему. С помощью соответствующих ключей установить состояние управляющих входов на вход $G1 = 0$, $G2A = G2B = 1$. Подавая на входы C , B , A слова от генератора слов и наблюдая состояние выходов с помощью логических пробников, заполнить таблицу 8.7.

Таблица 8.7 – Таблица истинности микросхемы 74138 при $G1=0$, $G2A=G2B=1$

C	B	A	$Y0$	$Y1$	$Y2$	$Y3$	$Y4$	$Y5$	$Y6$	$Y7$
0	0	0								
0	0	1								
0	1	0								
0	1	1								
1	0	0								
1	0	1								
1	1	0								
1	1	1								

б) Повторить операции пункта а) при $G1 = G2A = 1$, $G2B = 0$. Заполнить таблицу 8.8.

Таблица 8.8 – Таблица истинности микросхемы 74138 при $G1 = G2A = 1$, $G2B = 0$.

C	B	A	$Y0$	$Y1$	$Y2$	$Y3$	$Y4$	$Y5$	$Y6$	$Y7$
0	0	0								
0	0	1								
0	1	0								
0	1	1								
1	0	0								
1	0	1								
1	1	0								
1	1	1								

в) Повторить операции пункта а) при $G1=1$, $G2A = G2B = 0$. Заполнить таблицу 8.9.

Таблица 8.9 – Таблица истинности микросхемы 74138 при $G1=1$, $G2A=G2B=0$.

C	B	A	$Y0$	$Y1$	$Y2$	$Y3$	$Y4$	$Y5$	$Y6$	$Y7$
0	0	0								
0	0	1								
0	1	0								
0	1	1								
1	0	0								
1	0	1								
1	1	0								
1	1	1								

Эксперимент 6. Исследование микросхемы 74138 с помощью логического анализатора

а) Открыть файл c13_05 (рисунок 8.6). Установить генератор слов в пошаговый режим. Включить схему. С помощью соответствующих ключей установить состояние управляющих входов на вход $G1 = 1$, $G2A = G2B = 0$. Подавая на входы слова от генератора слов, получить временные диаграммы работы дешифратора на экране логического анализатора и зарисовать их. Сопоставить временные диаграммы с таблицей 8.9.

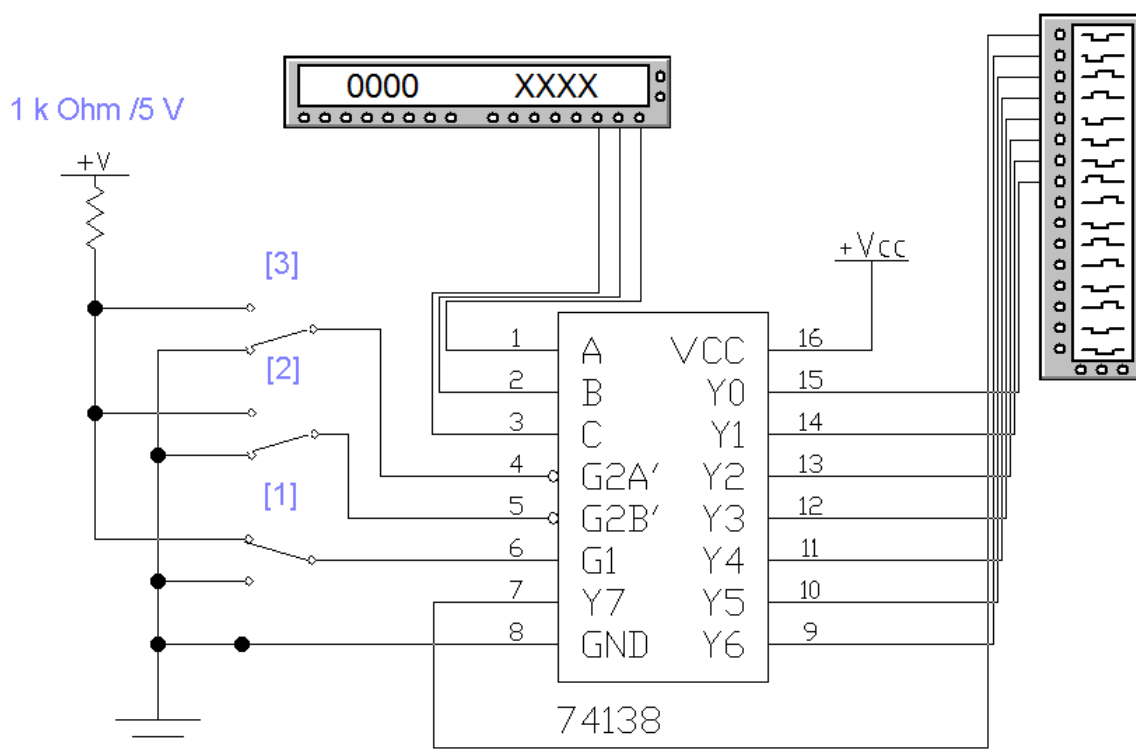


Рисунок 8.6 – Схема для исследования микросхемы 74138 с помощью логического анализатора

Эксперимент 7. Исследование мультиплексора

а) Открыть файл c13_06 (рисунок 8.7).

Включить схему. С помощью ключа G установите на входе G мультиплексора уровень логического нуля. Поочередно подавая все возможные комбинации логических уровней при помощи ключей A , B , C на соответствующие входы мультиплексора, для каждой комбинации с помощью логических пробников определить, переключение какого из ключей в левой части схемы изменяет состояние выходов мультиплексора. Обозначение соответствующего входа мультиплексора записать в таблицу 8.10, указав при этом, как передается входной сигнал на выходы мультиплексора (напрямую или с инверсией). Например, если переключение ключа 4 изменяет состояние выходов мультиплексора, в таблице в строке с соответствующей комбинацией уровней сигналов на входах A , B , C следует записать для выхода Y – $D4$, для выхода W – $\overline{D4}$.

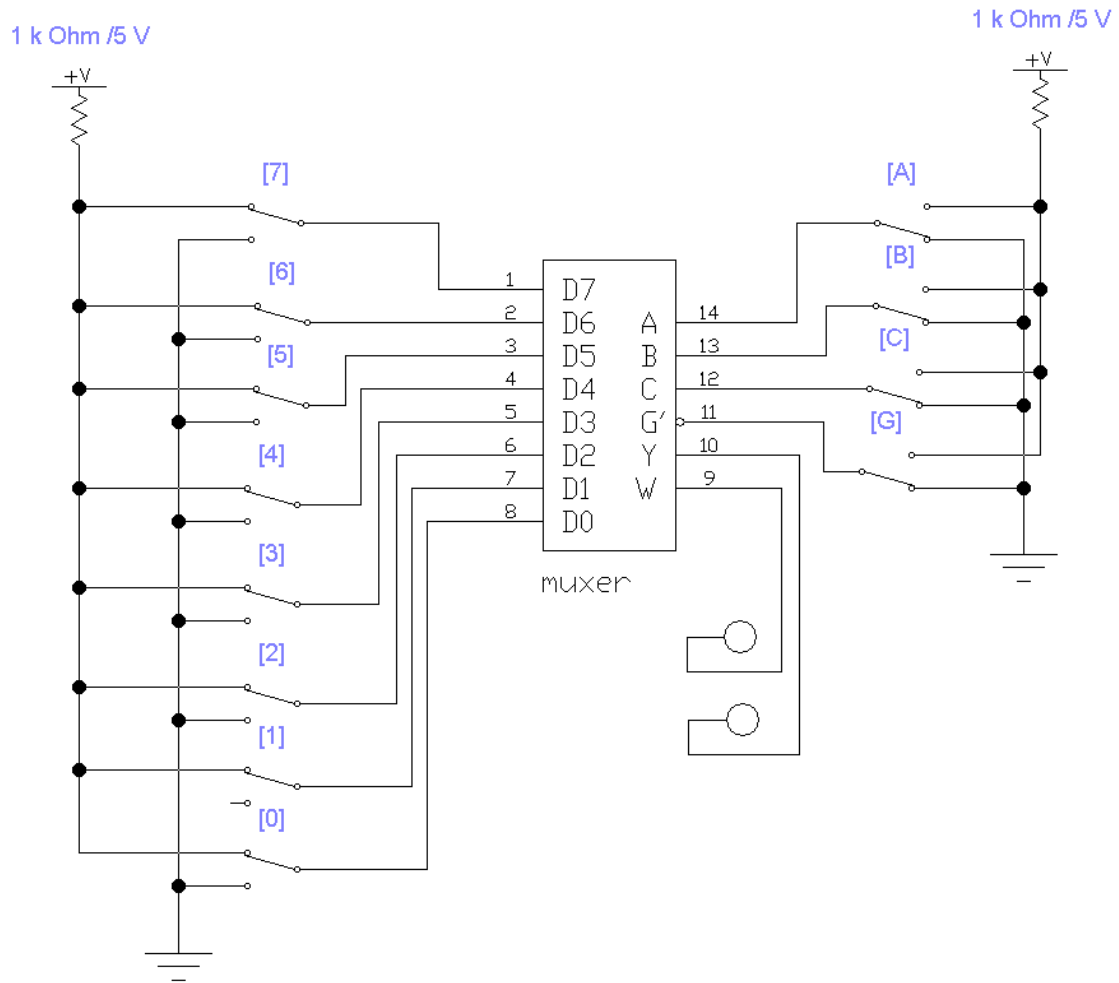


Рисунок 8.7 – Схема для исследования мультиплексора

Таблица 8.10 – Таблица истинности мультиплексора.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Y</i>	<i>W</i>
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

б). Установить при помощи ключа *G* уровень логической единицы на входе *G* микросхемы. Записать обозначения выводов, которые при переключении соответствующих ключей в левой части схемы не влияют на состояние выходов микросхемы.

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Какие логические функции выполняет дешифратор?
2. Каково назначение входов управления в дешифраторе, как влияет сигнал управления на выходные функции дешифратора?
3. Какие дополнительные логические элементы необходимы для реализации логических функций n аргументов на основе дешифратора с прямыми выходами? А с инверсными?
4. Как выглядит схема дешифратора 2×4 , выполненная в базисе И, ИЛИ, НЕ? Входы дешифратора A, B , выходы Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 . Сколько элементов каждого типа для этого требуется?
5. Как надо видоизменить схему дешифратора 2×4 в предыдущем случае, чтобы оснастить ее прямым управляющим входом? Инверсным? Обозначьте входы дешифратора A, B , управляющий вход G или $\bar{G}$, выходы Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 .
6. Как из двух дешифраторов 2×4 сделать один дешифратор 3×8 ?
7. Как на основе нескольких дешифраторов 2×4 с управляющим входом сделать дешифратор 4×16 ? Сколько дешифраторов 2×4 потребуется для решения этой задачи, если не использовать другие элементы?
8. Как на основе дешифратора 2×4 сделать схему, фиксирующую совпадение двух бит ($A = B = 1, A = B = 0$) и реализующую функцию $F = A \vee \bar{A}B$?
9. Как на основе дешифратора сделать логическую схему, реализующую функцию $F = A\bar{B} \vee \bar{A}B$?
10. Функцию какого электрического устройства выполняет мультиплексор для логических сигналов?
11. Каким аналитическим уравнением описывается работа мультиплексора 2×1 с управляющим входом? В уравнении используйте следующие обозначения: входы – A, B , выход – Y , разрешающий вход – G ? Какие и в каком количестве логические элементы требуются для реализации этого уравнения.

12. Как реализовать схему мультиплексора 2×1 с управляющим входом на элементах И–НЕ?

13. Как можно на основе двух мультиплексоров 2×1 сделать один мультиплексор 4×1 ? Какие дополнительные элементы понадобятся для этого?

14. Функцию скольких переменных можно реализовать без дополнительных элементов (за исключением инверторов) на одном мультиплексоре 4×1 ? На мультиплексоре 8×1 ? На мультиплексоре 16×1 ?

15. При какой форме аналитического представления логической функции, предназначенной для реализации на мультиплексоре, управляющий вход G может быть использован для подачи одного из входных сигналов?

16. Какими логическими уравнениями описывается работа микросхемы сдвоенного мультиплексора 74153?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

Триггеры и счетчики (4 ч)

Цель работы: Формирование у студента компетенций ОПК-4, ПК-4. В связи с этим выполняются следующие задачи:

1. Изучение структуры и алгоритмов работы асинхронных и синхронных триггеров.
2. Исследование функций переходов и возбуждения основных типов триггеров.
3. Изучение взаимозаменяемости триггеров различных типов.
4. Изучение структуры и исследование работы суммирующих и вычитающих счетчиков.
5. Изучение способов изменения коэффициента пересчета счетчиков.
6. Исследование работы счетчиков с коэффициентом пересчета, отличным от 2^n .

Теоретическое обоснование

1. Триггеры.

Триггер – простейшая цифровая схема последовательностного типа. У рассмотренных в предыдущих разделах комбинационных схем состояние выхода Y в любой момент времени определяется только текущим состоянием входа X : $Y = F(X)$. В отличие от них, состояние выхода последовательностной схемы (цифрового автомата) зависит еще и от внутреннего состояния схемы Q : $Y = F(X, Q)$.

Другими словами, цифровой автомат является не только преобразователем, но и хранителем предшествующей и источником текущей информации (состояния). Это свойство обеспечивается наличием в схемах обратных связей.

Основой последовательностных схем являются триггеры. Триггер имеет два устойчивых состояния: $Q = 1$ и $Q = 0$, поэтому его иногда называют бистабильной схемой. В каком из этих состояний окажется триггер, зависит от сигналов на входах триггера и от его предыдущего состояния, т. е. он имеет память. Можно сказать, что триггер является элементарной ячейкой памяти.

Тип триггера определяется алгоритмом его работы. В зависимости от алгоритма работы, триггер может иметь установочные, информационные и управляющие входы. Установочные входы устанавливают состояние триггера

независимо от состояния других входов. Входы управления разрешают запись данных, подающихся на информационные входы. Наиболее распространенными являются триггеры RS , JK , D и T -типов.

RS-триггер – простейший автомат с памятью, который может находиться в двух состояниях. Триггер имеет два установочных входа: установки S (set – установка) и сброса R (reset – сброс), на которые подаются входные сигналы от внешних источников. При подаче на вход установки активного логического уровня триггер устанавливается в 1 ($Q = 1$, $\bar{Q} = 0$), при подаче активного уровня на вход сброса триггер устанавливается в 0 ($Q = 0$, $\bar{Q} = 1$). Если подать на оба входа установки (возбуждения) пассивный уровень, то триггер будет сохранять предыдущее состояние выходов: $Q=0$ ($\bar{Q} = 1$) либо $Q = 1$ ($\bar{Q} = 0$). Каждое состояние устойчиво и поддерживается за счет действия обратных связей.

Для триггеров этого типа является недопустимой одновременная подача активного уровня на оба входа установки, т.к. триггер по определению не может одновременно быть установлен в ноль и единицу. На практике подача активного уровня на установочные входы приводит к тому, что это состояние не может быть сохранено, и невозможно определить, в каком состоянии будет находиться триггер при последующей подаче на установочные входы сигналов пассивного уровня.

RS -триггер является основным узлом для построения последовательностных схем. Название схем такого типа «последовательностные» означает, что состояние выхода зависит от того, в какой последовательности на входы подаются входные наборы, и каково было предшествующее внутреннее состояние.

Триггер JK-типа имеет более сложную, по сравнению с RS -триггером, структуру и более широкие функциональные возможности. Помимо информационных входов J и K и прямого и инверсного выходов Q и $\bar{Q}$, JK -триггер имеет вход управления C (этот вход также называют тактирующим или счетным), а также асинхронные установочные R и S -входы. Обычно активными уровнями установочных сигналов являются нули. Установочные входы имеют приоритет над остальными. Активный уровень сигнала на входе S устанавливают триггер в

состояние $Q = 1$, а активный уровень сигнала на входе R – в состояние $Q = 0$, независимо от сигналов на остальных входах.

D-триггер имеет один информационный вход D (data – данные). Информация с входа D заносится в триггер по положительному перепаду импульса на счетном входе C и сохраняется до следующего положительного перепада на счетном входе триггера. Помимо счетного C и информационного D входов, триггер снабжен асинхронными установочными R и S входами. Установочные входы приоритетны. Они устанавливают триггер независимо от сигналов на входах C и D .

На основе *JK*-триггеров и *D*-триггеров можно построить схемы, осуществляющие так называемый счетный режим. Такие схемы называют *T-триггерами* или счетными триггерами, связывая с этим способ их функционирования.

В *JK*-триггере со входами установки логическим нулем счетный режим реализуется путем подачи констант $J = K = 1$ и $R = S = 1$ и входного сигнала T на вход C . При каждом отрицательном перепаде входного сигнала T состояние триггера изменяет свое значение на противоположное.

В *D*-триггере счетный режим реализуется при помощи обратной связи (на вход D подается сигнал с инверсного выхода). Таким образом, всегда существует неравенство сигнала на входе D и сигнала на выходе Q : если $Q = 1$, $D = 0$. Следовательно, при каждом положительном перепаде сигнала на счетном входе C , в соответствии с принципом действия *D*-триггера состояние выхода будет изменяться на противоположное.

Таким образом, на каждые два входных тактовых импульса *T*-триггер формирует один период выходного сигнала Q . Следовательно, триггер осуществляет деление частоты на его входе на 2: $f_Q = f_T/2$, где f_Q – частота следования импульсов на выходе триггера.

2. Счетчики.

Счетчик – устройство для подсчета числа входных импульсов. Число, представляемое стоянием его выходов по фронту каждого входного импульса, изменяется на единицу. Счетчик можно реализовать на нескольких триггерах. В

суммирующих счетчиках каждый входной импульс увеличивает число на его выходе на единицу, в вычитающих счетчиках каждый входной импульс уменьшает это число на единицу. Наиболее простые счетчики – двоичные.

Как уже говорилось ранее, счетчики можно реализовать на триггерах. При этом триггеры соединяют последовательно. Выход каждого триггера непосредственно действует на тактовый вход следующего. Для того чтобы реализовать суммирующий счетчик, необходимо счетный вход очередного триггера подключать к инверсному выходу предыдущего. Для того чтобы изменить направление счета (реализовать вычитающий счетчик), можно следующие способы:

а) Считывать выходные сигналы счетчика не с прямых, а с инверсных выходов триггеров. Число, образуемое состоянием инверсных выходов триггеров счетчика, связано с числом, образованным состоянием прямых выходов триггеров следующим соотношением:

$$N_{\text{пр}} = 2^n - N_{\text{инв}} - 1, \quad (9.1)$$

где n – разрядность выхода счетчика.

б) Изменить структуру связей в счетчике: подавать на счетный вход следующего триггера сигнал не с инверсного, а с прямого выхода предыдущего. В этом случае изменяется последовательность переключения триггеров.

Счетчики характеризуются числом состояний в течение одного периода (цикла). Часто число состояний называют коэффициентом пересчета $K_{\text{сч}}$, который равен отношению числа импульсов N_c на входе к числу импульсов $N_{\text{сет}}$ на выходе старшего разряда за период:

$$K_{\text{сч}} = N_c / N_{\text{сет}}. \quad (9.2)$$

Если на вход счетчика подавать периодическую последовательность импульсов с частотой f_c , то частота f_q на выходе старшего разряда счетчика будет меньше в $K_{\text{сч}}$ раз: $K_{\text{сч}} = f_c / f_q$. Поэтому счетчики также называют делителями частоты, а величину $K_{\text{сч}}$ – коэффициентом деления. Для увеличения величины $K_{\text{сч}}$ приходится увеличивать число триггеров в цепочке. Каждый дополнительный триггер удваивает число состояний счетчика и число $K_{\text{сч}}$. Для уменьшения коэффициента $K_{\text{сч}}$ можно в качестве выхода счетчика рассматривать выходы триггеров промежуточных

каскадов. Например, для счетчика на трех триггерах $K_{сч} = 8$, если взять выход 2-го триггера, то $K_{сч} = 4$.

Аппаратура, оборудование и материалы

1. Генератор слов;
2. Вольтметр;
3. Логические пробники;
4. Источник напряжения + 5 В;
5. Источник сигнала «логическая единица»;
6. Двухпозиционные переключатели;
7. Двухвходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ;
8. *RS*-триггеры;
9. *JK*-триггер;
10. *D*-триггер;
11. Логический анализатор;
12. Генератор тактовых импульсов.

Указания по технике безопасности

Аналогично лабораторной работы №1.

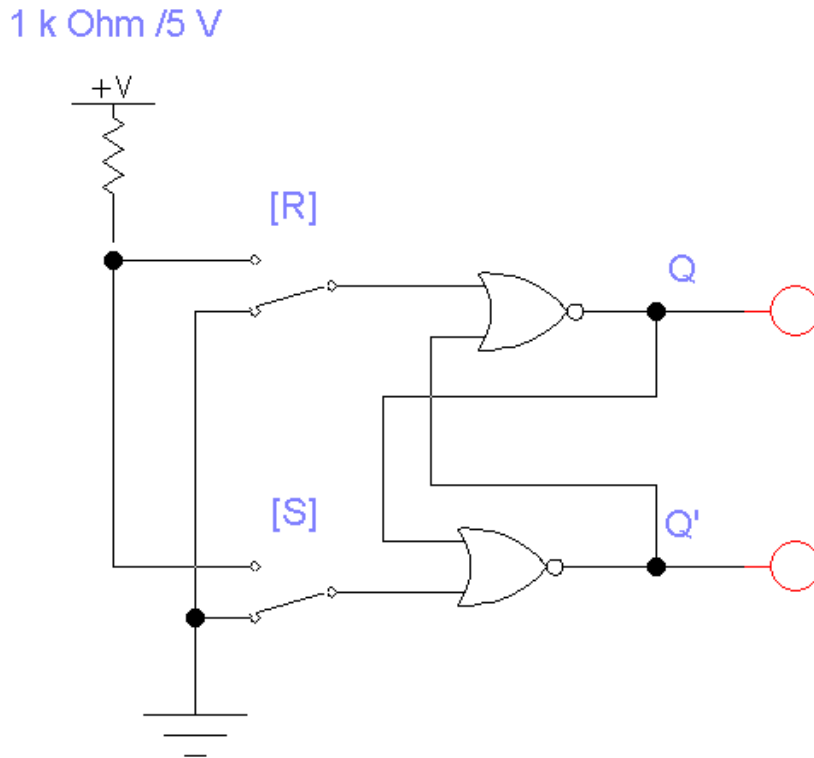
Методика и порядок выполнения работы

Эксперимент 1. Исследование *RS*-триггера.

а) Открыть файл *s14_01* со схемой, изображенной на рисунке 9.1.

Включить схему. Последовательно подать на схему следующие сигналы: $S = 0$, $R = 1$; $S = 0$, $R = 0$; $S = 1$, $R = 0$; $S = 0$, $R = 0$. Убедиться в том, что:

- при $S = 0$, $R = 1$ триггер устанавливается в состояние $Q = 0$;
- при переходе к $S = 0$, $R = 0$ триггер сохраняет прежнее состояние выхода $Q = 0$;
- при $S = 1$, $R = 0$ триггер устанавливается в состояние $Q = 1$;
- при переходе к $S = 0$, $R = 0$ триггер сохраняет прежнее состояние выхода $Q = 1$.

Рисунок 9.1 – Схема для исследования RS -триггера

б) Для каждого перехода (изменения состояния или сохранения предыдущего) нарисовать граф перехода.

в). По результатам эксперимента заполнить таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Таблица функций возбуждения для RS -триггера

Q	Q_{t+1}	R	S
0		0	0
0		1	0
0		0	1
1		1	0
1		0	0
1		0	1

Эксперимент 2. Исследование JK -триггера.

а) Открыть файл c14_03 со схемой, изображенной на рисунке 9.2. Включить схему. Убедиться в том, что:

- при $R' = 1$, $S' = 0$ триггер устанавливается в 1 ($Q = 1$, $Q' = 0$) независимо от состояния остальных входов;
- при $R' = 0$, $S' = 1$ триггер устанавливается в 0 ($Q = 0$, $Q' = 1$) независимо от состояния остальных входов.

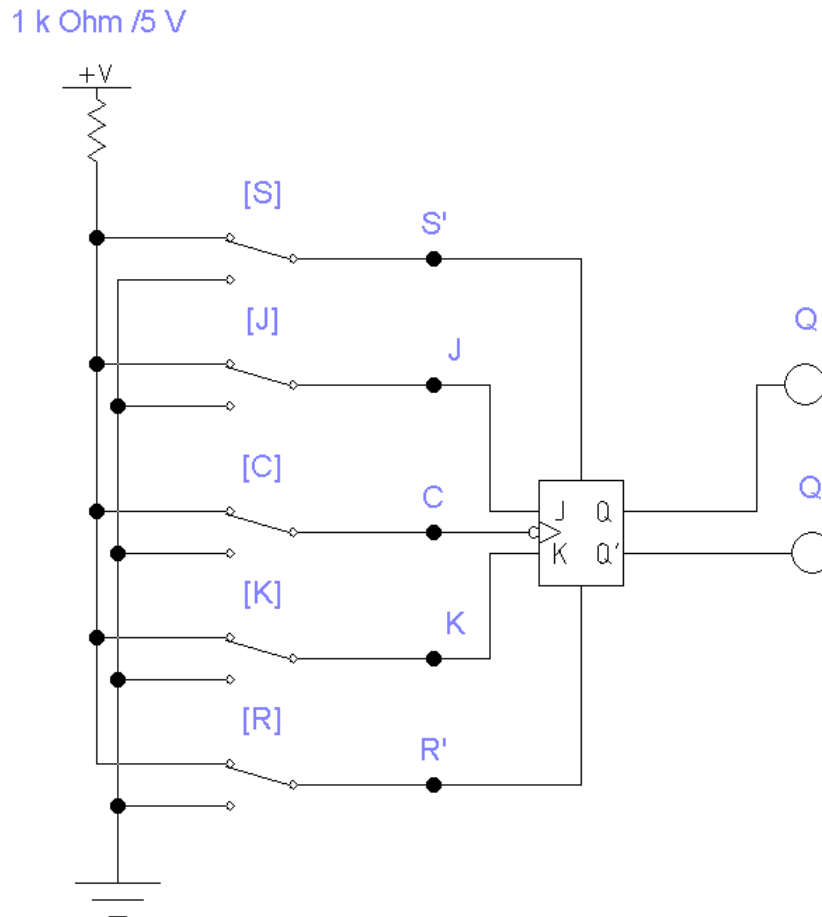


Рисунок 9.2 – Схема для исследования JK-триггера

б) Установить $S' = R' = 1$, проверить истинность таблицы функций возбуждения, по результатам эксперимента заполнить таблицу 9.2.

Указание: начальное состояние триггера устанавливать кратковременной подачей сигнала $S' = 0$ для получения $Q_t = 1$ и сигнала $R' = 0$ для получения $Q_t = 0$. Переход триггера в состояние Q_{t+1} происходит только по отрицательному фронту импульса на счетном входе C , сформированном соответствующим ключом.

в) Составить временные диаграммы работы триггера для всех возможных комбинаций Q_t , J_t , K_t и зарисовать их.

Таблица 9.2 – Таблица функций возбуждения для JK-триггера

Q	Q_{t+1}	J	K
0		0	0
0		0	1
0		1	0
0		1	1
1		0	0
1		0	1
1		1	0
1		1	1

Эксперимент 3. Исследование JK -триггера в счетном режиме (T -триггер).

Собрать схему, изображенную на рисунке 9.3.

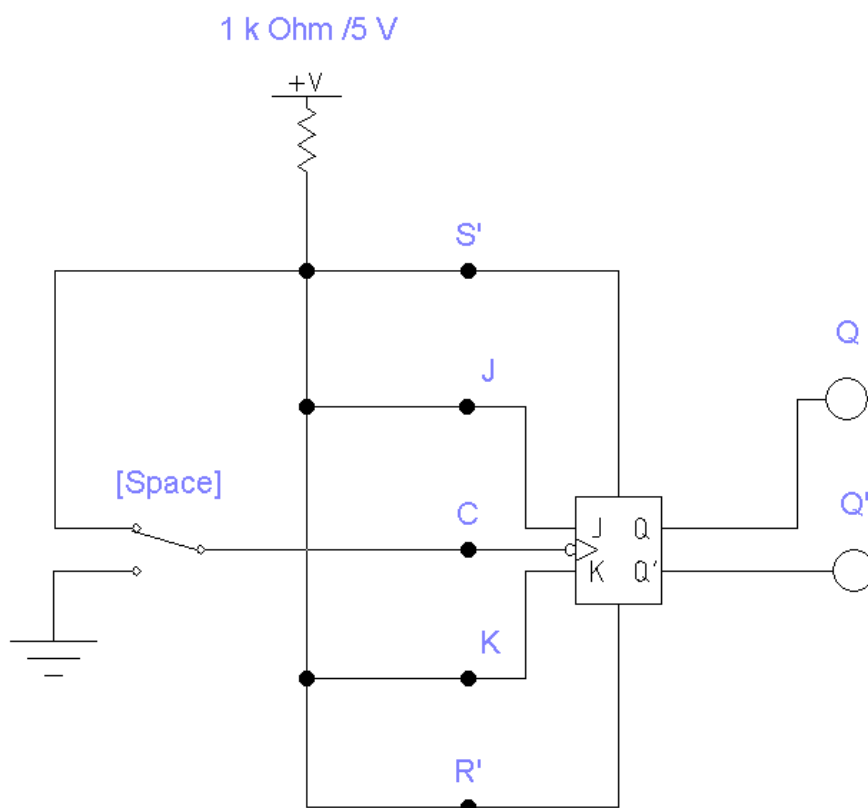


Рисунок 9.3 – Схема для исследования JK -триггера в счетном режиме

Включить схему. Изменяя состояние входа C соответствующим ключом, зарисовать диаграммы работы триггера в счетном режиме.

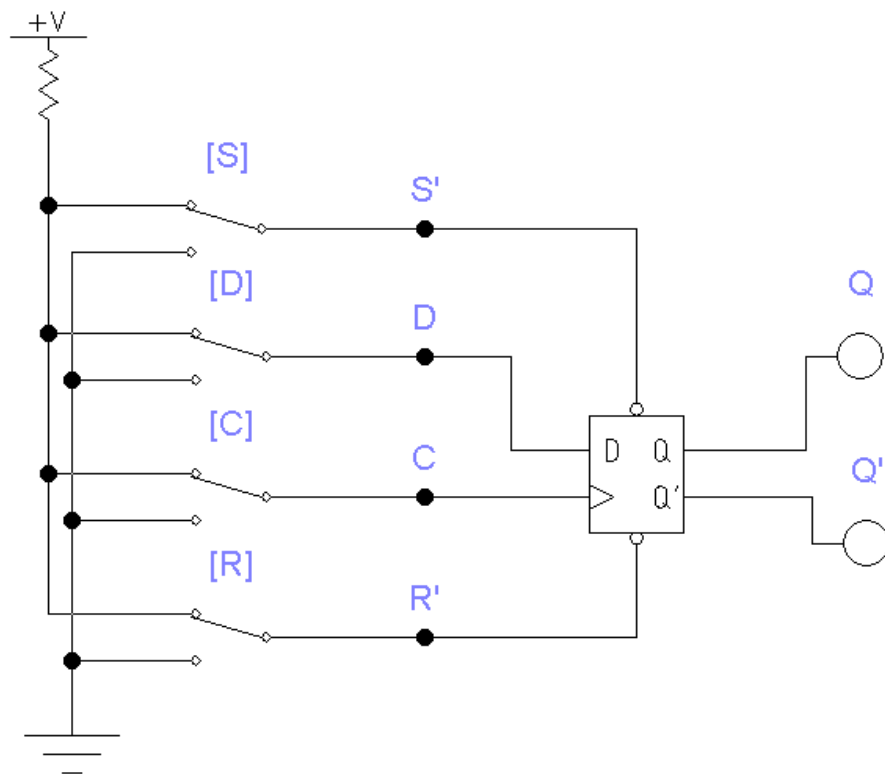
Эксперимент 4. Исследование D -триггера.

а) Открыть файл `s14_05` со схемой, изображенной на рисунке 9.4. Включить схему. Убедиться в том, что:

- при $R' = 1$, $S' = 0$ триггер устанавливается в 1 ($Q = 1$, $Q' = 0$) независимо от состояния остальных входов;
- при $R' = 0$, $S' = 1$ триггер устанавливается в 0 ($Q = 0$, $Q' = 1$) независимо от состояния остальных входов.

б). Установить $S' = R' = 1$, проверить истинность таблицы функций возбуждения, по результатам эксперимента заполнить таблицу 9.3.

1 k Ohm /5 V

Рисунок 9.4 – Схема для исследования D -триггераТаблица 9.3 – Таблица функций возбуждения для D -триггера

O	O_{t+1}	J	K
0		0	0
0		0	1
0		1	0
0		1	1
1		0	0
1		0	1
1		1	0
1		1	1

в). Составить временные диаграммы работы триггера для всех возможных комбинаций Q_t , D_t и зарисовать их.

Эксперимент 5. Исследование работы D -триггера в счетном режиме.

Собрать схему, изображенную на рисунке 9.5. Подавая на счетный вход C тактовые импульсы с помощью ключа $[C]$ и определяя состояние выходов триггера при помощи пробников, составить временные диаграммы работы триггера в счетном режиме и зарисовать их.

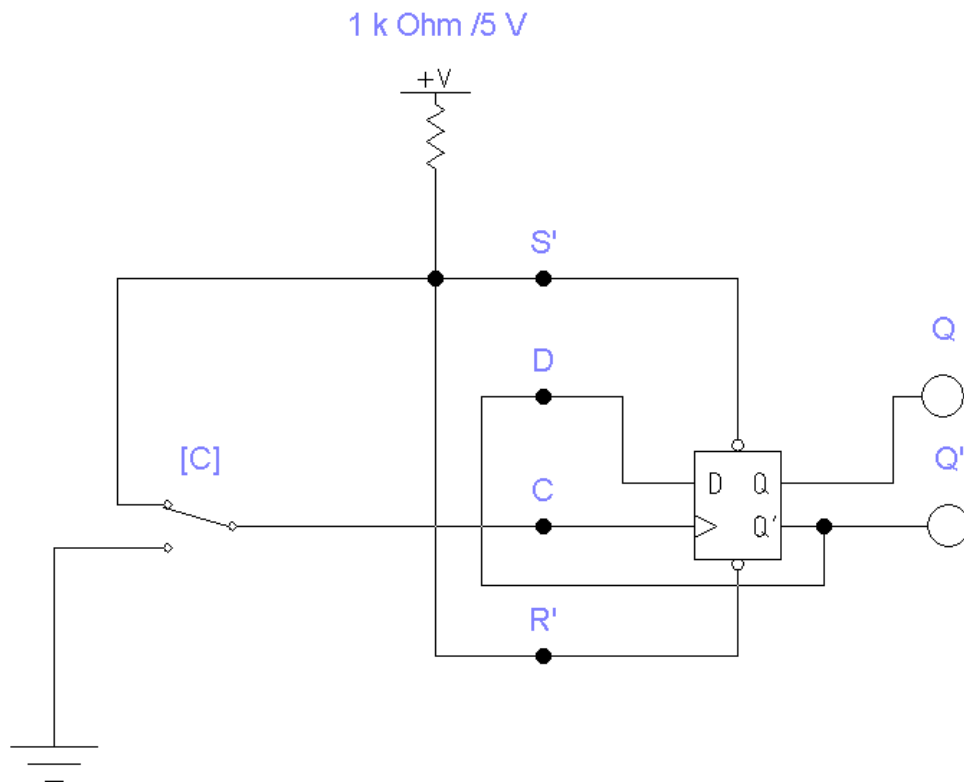


Рисунок 9.5 – Схема для исследования *D*-триггера

Эксперимент 6. Исследование суммирующего счетчика.

Открыть файл c14_06 со схемой, изображенной на рисунке 9.6.

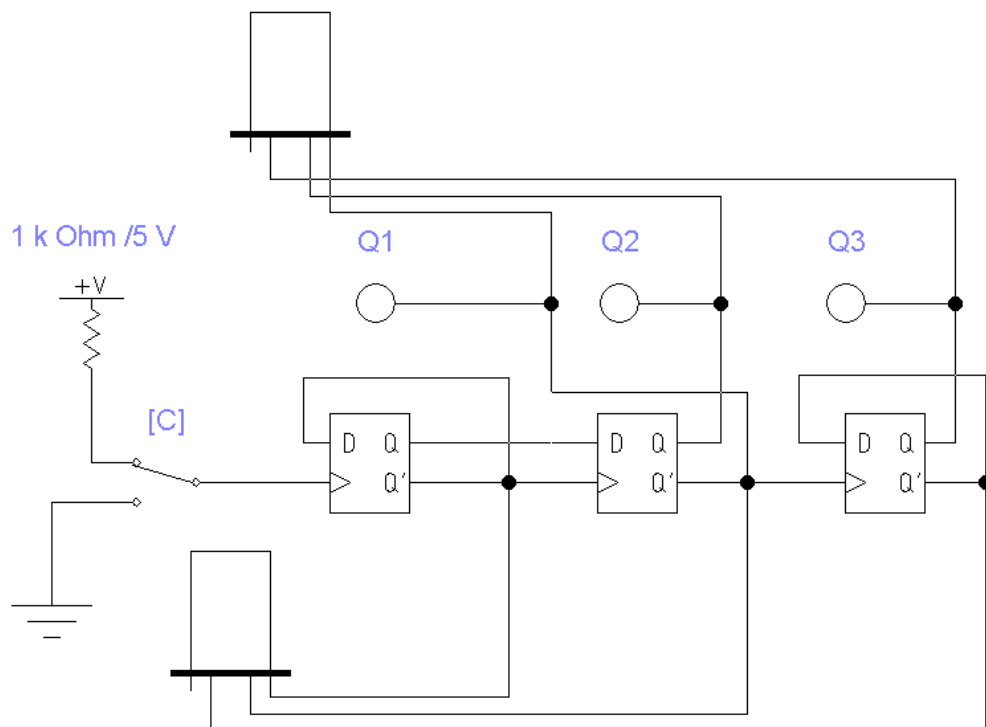


Рисунок 9.6 – Схема для исследования суммирующего счетчика

Включить схему. Подавая на вход схемы тактовые импульсы при помощи ключа *С* и наблюдая состояние выходов счетчика при помощи логических пробников, составить временные диаграммы работы суммирующего счетчика. Определить коэффициент пересчета счетчика. Результаты записать. Обратит внимание на числа, формируемые состояниями инверсных выходов счетчика.

Эксперимент 7. Исследование вычитающего счетчика.

а) Открыть файл *s14_07* со схемой, изображенной на рисунке 9.7. Включить схему. Зарисовать временные диаграммы работы вычитающего счетчика.

б) В схеме на рисунке 9.7 входы логического анализатора подключить к инверсным входам триггеров. Включить схему. Зарисовать полученные временные диаграммы и сравнить их с диаграммами, полученными в эксперименте 7.

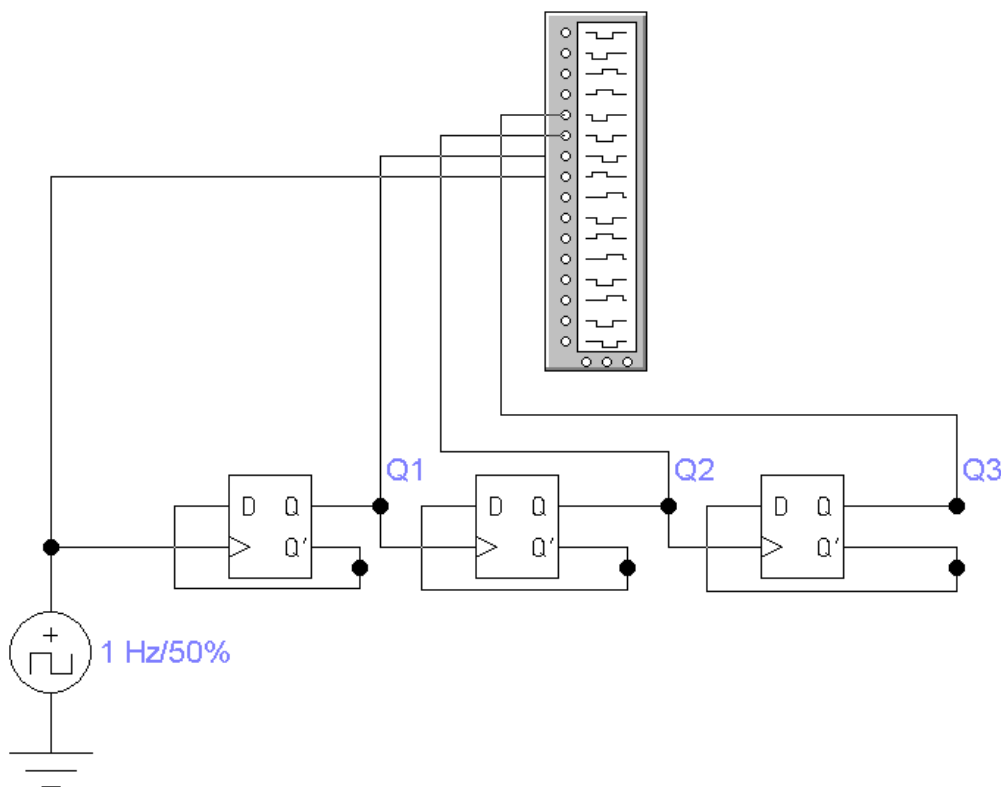


Рисунок 9.7 – Схема для исследования вычитающего счетчика

Содержание, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

Аналогично лабораторной работы №1.

Вопросы для защиты работы:

1. Является ли элементом памяти выключатель настольной лампы?
2. Если продолжить предыдущий вопрос, то как можно охарактеризовать:

а) кнопочный выключатель (один раз нажал – лампа горит; второй раз нажал – лампа погасла);

б) клавишный переключатель-коромысло: нажал на одно плечо – лампа зажглась или продолжает оставаться горячей; нажал на другое плечо – погасла.

Аналогия с какими видами триггеров напрашивается?

3. Чем отличается работа RS -триггера с прямыми входами от работы RS -триггера с инверсными входами?

4. Почему комбинация сигналов 11 на входах RS -триггера называется «запрещенной»?

5. В чём отличие таблицы переходов триггера от таблицы функций возбуждения?

6. Как свойство запоминания отражается в характеристических уравнениях триггеров?

7. В чём принципиальное отличие работы синхронных триггеров от асинхронных?

8. Какова приоритетность информационных и установочных входов в синхронных триггерах?

9. Почему JK -триггер при $J = K = 1$ не превращается в автогенератор?

10. Почему T -триггер получил название счетного? Какое число импульсов он может сосчитать?

11. Как работает D -триггер, если $D = Q$?

12. Почему при подключении счетных входов триггеров к инверсным выходам предыдущих каскадов счетчик на D -триггерах работает как суммирующий, а при подключении к прямым – как вычитающий?

13. В каком режиме будет работать счетчик на JK -триггерах при подключении счетных входов триггеров к прямым выходам предыдущих каскадов? Как изменится режим работы счетчика при подключении счетных входов триггеров к инверсным выходам?

14. Какой коэффициент пересчета имеет регистр Джонсона?

15. Какими способами можно изменить коэффициент пересчета счетчика?

16. Сколько триггеров должен содержать счетчик с коэффициентом пересчета $K_{\text{сч}} = \{3, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 24, 30\}$?

17. В двоичном счетчике коэффициент пересчета равен 8, число триггеров – 3. При поступлении тактовых импульсов на счетный вход счетчик изменяет своё состояние в следующей последовательности: 000-001-010-011-100-101-110-111-000. Сколько триггеров в счетчике изменяют свое состояние одновременно на каждом из переходов? Действительно ли триггеры меняют своё состояние одновременно? Как происходит переход счетчика из состояния 111 в состояние 000? Какой из триггеров первым изменит своё состояние? Что послужит причиной переключения второго триггера? Как развивается процесс изменения состояния триггеров при переходе счетчика из состояния 011 в состояние 100?

18. Цифровые часы в метро реализованы на основе счетчиков. Иногда можно заметить, что четное число секунд на табло часов сохраняется заметно дольше, чем нечетное (возможна и обратная закономерность). Почему это происходит?

19. Какую разрядность должен иметь счетчик, отсчитывающий секунды и десятки секунд при наличии генератора импульсов частотой 10 кГц?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная учебная литература

1 Информационно-измерительная техника и электроника: учебник для студ. высш.учеб. заведений / [Г.Г. Раннев, В.А. Суроги́на, В.И. Калашников и др.]; под ред. Г.Г. Раннева. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 512 с.

Дополнительная литература

2 Панфилов Д.И., Иванов В.С., Чепурин И.Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т. / Под общей ред. Д.И. Панфилова – Т.2: Электроника. – М.: ДОДЕКА, 1999. – 304 с.

3 Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств Design Lab 8.0 М.: Солон, 1999.

4 Прянишников В.А. Электроника: Курс лекций.СПб.: Политехника, 1995.

5 Electronic Workbench Professional Edition. Version 5. Interactive Image Technologies Ltd. Toronto, Ontario, Canada, 1996.

6 Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Workbench и ее применение. М.: Солон-Р, 1999.

7 Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 496 с.

8 Полупроводниковые приборы: транзисторы справочник / под ред. Н.Н. Горюнова. –М.: Энергоатомиздат, 1983. – 904 с.

9 Лачин В.И. Электроника: учебник / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 440 с.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника»
для студентов направления подготовки / специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Электроснабжение

СОДЕРЖАНИЕ

Самостоятельное занятие 1	6
Общие сведения об измерении неэлектрических величин	6
Самостоятельное занятие 2	7
Основные характеристики измерительных преобразователей. Схемы включения преобразователей в мостовые схемы.	7
Самостоятельное занятие 3	10
Динамические свойства преобразователей. Классификация преобразователей.	10
Самостоятельное занятие 4	12
Параметрические преобразователи. Фотоэлектрические, емкостные, тепловые ионизационные, реостатные тензорезисторные, индуктивные, магнитоупругие преобразователи.	12
Самостоятельное занятие 5	13
Генераторные преобразователи. Пьезоэлектрические, гальванические, обращенные, индукционные, термоэлектрические преобразователи. Пирометры.	13
Самостоятельное занятие 6	15
Усилители переменного и постоянного токов. Обратная связь в усилителях. ..	15
Самостоятельное занятие 7	17
Дифференциальные каскады усилителей постоянного тока. Преобразователи на базе операционных усилителей.	17
Самостоятельное занятие 8	19
Системы счисления, используемые в цифровой технике. Карты Карно. Транзисторные ключи.....	19
Самостоятельное занятие 9	21
Расчетно-графическая работа. Расчет параметрического стабилизатора напряжения. Графоаналитический расчет усилительного каскада на транзисторе включенного по схеме с общим эмиттером.....	21
1 ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ	21

2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ РАСЧЕТНО- ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	27
3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ	28
4 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	34
ПРИЛОЖЕНИЕ А	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	36
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	54

Самостоятельное занятие 1

Общие сведения об измерении неэлектрических величин

Цель занятия: изучить особенности и общие сведения измерения физических величин

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям «измерение», «физическая величина», «средство измерений», «погрешность результата измерений».
2. Перечислите основные виды и методы измерений.
3. Какие основные измерительные операции выполняются при измерении?
4. Какие унифицированные сигналы имеют измерительные преобразователи?
5. В чем отличие прямых измерений от косвенных?
6. Приведите классификацию погрешностей измерений.
7. Как определить цену деления шкалы прибора?
8. В чем отличие диапазона измерений от диапазона показаний?
9. Что характеризует класс точности прибора и как он обозначается для различных средств измерений?
10. Перечислите классы точности электромеханических измерительных приборов.

Самостоятельное занятие 2

Основные характеристики измерительных преобразователей. Схемы включения преобразователей в мостовые схемы.

Цель занятия: изучить основные характеристики измерительных преобразователей и способы включения преобразователей в мостовые схемы.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию измерительных приборов.
2. Сравните по точности электромеханические приборы различных систем.
3. Сравните по защищенности от воздействия внешнего магнитного поля электромеханические приборы различных систем.
- Выведите уравнение шкалы прибора магнитоэлектрической системы- I
4. Как создается противодействующий момент у приборов различных систем?
5. Назовите метрологические характеристики гальванометров магнитоэлектрической системы.
6. Назовите режимы движения подвижной части гальванометра.
7. Что такое логометр?
8. Для измерения каких физических величин используются логометры?
9. Сравните по точности приборы магнитоэлектрической и электромагнитной систем.
10. Выведите уравнение шкалы прибора электродинамической системы.
11. Как расширяют диапазон измерений по току и напряжению у приборов электродинамической системы?
12. В чем отличие приборов электродинамической системы от приборов ферродинамической системы?

13. Отличаются ли показания приборов электродинамической системы при измерении постоянного и переменного токов?
14. Назовите достоинства и недостатки электростатических приборов.
15. Объясните устройство и работу приборов индукционной системы. В чем отличие номинальной постоянной счетчика от действительной?
16. Как осуществляется температурная и частотная коррекция у приборов выпрямительной системы?
17. Перечислите основные достоинства термоэлектрических приборов.
18. Приведите схемы включения измерительных приборов через трансформаторы переменного тока и напряжения.
19. Приведите основные характеристики измерительных трансформаторов.
20. На какие группы подразделяются электронные аналоговые приборы?
21. Перечислите основные функциональные узлы цифровых измерительных приборов.
22. Как изменяются характеристики цифровых измерительных приборов при применении в них микропроцессоров?
23. Объясните принцип работы компенсатора постоянного тока.
24. Какие существуют виды компенсаторов переменного тока и в чем их отличие?
25. Сформулируйте отличительные признаки мостов постоянного и переменного токов.
26. Приборы каких систем можно использовать для измерения постоянного тока и напряжения?
27. Какими приборами осуществляются:
 - а) прямые измерения малых токов и напряжений;
 - б) косвенные измерения малых токов и напряжений;
 - в) прямые измерения малых количеств электричества;
 - г) прямые измерения больших количеств электричества;
 - д) прямые измерения больших постоянных токов и напряжений?

28. Приборы каких систем можно использовать для измерения переменного тока и напряжения?

29. В чем сущность прямых и косвенных измерений:

- а) малых и больших переменных токов;
- б) малых и больших переменных напряжений;
- в) мощности в цепях постоянного тока;
- г) мощности в цепях переменного тока;
- д) фазы;
- е) частоты?

30. Приведите схемы включения индукционных счетчиков электрической энергии в однофазных и трехфазных цепях.

31. Как подразделяется диапазон измеряемых сопротивлений?

32. Назовите прямые и косвенные виды измерения сопротивлений.

33. Что лежит в основе выбора метода измерения сопротивлений?

34. Назовите область использования:

- а) метода амперметра и вольтметра;
- б) мостового метода;
- в) электронного логометра;
- г) цифровых омметров.

35. Как подразделяется диапазон измеряемой емкости?

36. Что представляют собой прямые измерения:

- а) малых значений емкости и тангенса угла потерь;
- б) индуктивности, добротности и взаимной индуктивности?

Что представляют собой косвенные измерения индуктивности, добротности и взаимной индуктивности?

Самостоятельное занятие 3

Динамические свойства преобразователей. Классификация преобразователей.

Цель занятия: изучить динамические свойства преобразователей и признаки по которым производится классификация преобразователей.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите достоинства электрических методов измерения неэлектрических величин.
2. Изобразите графически структурную схему:
 - а) прибора прямого преобразования;
 - б) уравнивающего преобразования;
 - в) с отрицательной обратной связью.
3. Запишите аналитическое выражение:
 - а) для определения чувствительности прибора;
 - б) эффективности преобразования прибора.
4. Изобразите графически эквивалентную схему измерительной цепи прибора.
5. Дайте определение следующих понятий: эффективность преобразования, характеристическое сопротивление, обобщенное входное и выходное сопротивления преобразователя.
6. Сформулируйте преимущества равновесных мостовых схем.
7. Сформулируйте основное отличие равновесных мостовых схем от неравновесных.

8. Приведите способы включения преобразователей в мостовые схемы.
9. Перечислите основные виды симметрии мостовых схем и условия оптимального выбора параметров.
10. Как осуществляется выбор индикаторов к мостовым и компенсационным схемам?
11. Приведите классификацию первичных преобразователей.
12. Какие преобразователи относятся к генераторным?
13. Какие преобразователи относятся к параметрическим?
14. Назовите погрешности преобразователей в динамическом режиме их работы.
15. Приведите физическую модель измерительного преобразователя.
16. Опишите основные источники погрешности приборов для измерения неэлектрических величин.
17. Как находится общая погрешность системы преобразования?
18. Приведите примеры использования датчиков для различных областей применения.

Самостоятельное занятие 4

Параметрические преобразователи. Фотоэлектрические, емкостные, тепловые ионизационные, реостатные тензорезисторные, индуктивные, магнитоупругие преобразователи.

Цель занятия: изучить параметрические преобразователи.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каково устройство следующих преобразователей:

- а) фотоэлектрических;
- б) емкостных;
- в) тепловых;
- г) ионизационных;
- д) реостатных;
- е) тензорезисторных;
- ж) индуктивных;
- з) магнитоупругих?

2. Каковы принципы работы и применение следующих преобразователей:

- а) фотоэлектрических;
- б) емкостных;
- в) тепловых;
- г) ионизационных;
- д) реостатных;
- е) тензорезисторных;
- ж) индуктивных;
- з) магнитоупругих?

Самостоятельное занятие 5

Генераторные преобразователи. Пьезоэлектрические, гальванические, обращенные, индукционные, термоэлектрические преобразователи.

Пирометры.

Цель занятия: изучить генераторные преобразователи.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и устройство пьезоэлектрических преобразователей.
2. Объясните применение и источники погрешностей ионизационных преобразователей.
3. Объясните принцип действия и устройство гальванических преобразователей.
4. Рассмотрите применение и погрешности гальванических преобразователей.
5. Каковы принцип действия и устройство обращённых преобразователей?
6. Какие существуют типы обращенных преобразователей?
7. Каковы принцип действия и устройство индукционных преобразователей?
8. Рассмотрите погрешности индукционных преобразователей и пути их уменьшения.
9. Объясните принцип действия и устройство термоэлектрических преобразователей.
10. Назовите источники погрешностей термоэлектрических преобразователей и пути их уменьшения.

11. Объясните принцип действия и устройство радиационных пирометров.
12. Назовите источники погрешностей радиационных пирометров.
13. Рассмотрите принцип действия и устройство цветowych фотоэлектрических пирометров.

Самостоятельное занятие 6

Усилители переменного и постоянного токов. Обратная связь в усилителях.

Цель занятия: изучить особенности усилителей переменного и постоянного токов.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные параметры и характеристики усилителей.
2. Как влияет отрицательная обратная связь на параметры усилителей?
3. Почему один из типов усилителей называется резистивно-емкостным?
4. Для чего необходим начальный режим в транзисторных усилителях?
5. На чем основан графоаналитический метод расчета транзисторных Усилителей?
6. Какими параметрами характеризуется рабочий режим транзисторного усилителя?
7. Как влияют разделительные конденсаторы на частотную характеристику усилителя?
8. Какие погрешности характерны для усилителей переменного тока?
9. В чем особенности эмиттерного повторителя?
10. Каковы особенности транзисторного усилителя по схеме с общей базой?
11. Какими свойствами обладает токостабилизирующий двухполосник?
12. Для чего применяется каскадное включение транзисторов?
13. В каком классе работают транзисторы в двухтактном усилителе . мощности?
14. В чем основные особенности работы усилительных каскадов на полевых транзисторах?
15. Как выглядит частотная характеристика усилителя постоянного тока?

16. Что понимается под дрейфом УПТ?

17. Каковы недостатки простейших схем УПТ прямого усиления?

Самостоятельное занятие 7

Дифференциальные каскады усилителей постоянного тока.

Преобразователи на базе операционных усилителей.

Цель занятия: изучить дифференциальные каскады и преобразователи на базе операционных усилителей.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каковы характерные особенности операционных усилителей?
2. Почему дифференциальные каскады имеют малый дрейф выходного напряжения?
3. В чем основные особенности схемотехники балансного УПТ?
4. Какой сигнал в УПТ называется синфазным?
5. Какие типовые каскады присутствуют в структурной схеме операционного усилителя?
6. Какие специфические параметры имеет операционный усилитель?
7. В чем разница между инвертирующим и неинвертирующим операционными усилителями?
8. Охарактеризуйте понятие «идеальный ОУ». Как оно используется на практике?
9. Какой тип обратной связи используется в операционных усилителях?
10. Какие погрешности характерны для ОУ?
11. Какие методы минимизации погрешностей ОУ используются в схемах измерительных усилителей?
12. Каковы основные свойства повторителя на базе ОУ?
13. На чем основан принцип работы интегратора на базе ОУ?
14. Для чего в активных фильтрах используется ОУ?

15. Для каких цепей применяется третий провод при дистанционном измерении сопротивления?
16. Какие условия необходимы для перевода ОУ в режим гармонического автогенератора?
17. Какими элементами схемы определяются временные характеристики выходной последовательности импульсов релаксационного генератора на базе ОУ?
18. Каково назначение ждущего мультивибратора?
19. В каком режиме работает ОУ в релаксационных генераторах и формирователях?
20. В чем заключаются достоинства УПТ типа МДМ?
21. В каких случаях целесообразно использование двухканального измерительного усилителя?
22. Приведите примеры нескольких современных серий ОУ в интегральном исполнении.

Самостоятельное занятие 8

Системы счисления, используемые в цифровой технике. Карты Карно. Транзисторные ключи.

Цель занятия: изучить системы счисления, используемые в цифровой технике, карты Карно, транзисторные ключи.

В результате изучения представленной темы необходимо знать ответы на следующие контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуются одиночный импульс и импульсная последовательность?
2. Какие методы применяются при анализе линейных импульсных цепей?
3. В каких случаях RC-цепь является интегрирующей или разделительной?
4. Как определяется качество интегрирования и от чего оно зависит?
5. От чего зависит «завал» вершины импульса в разделительной цепи?
6. Дайте определение системы счисления и приведите примеры используемых в цифровой технике систем счисления.
7. Отнимите из числа 57_{10} число 83_{10} и из числа 83_{10} число 57_{10} по правилам двоичной арифметики, используя дополнительные коды и операцию сложения.
8. Дайте определение функции алгебры логики. Приведите различные формы записи для произвольной логической функции трех переменных
9. Выполните минимизацию логической функции из предыдущего вопроса, используя диаграммы Вейча и метод Квайна и Мак-Класки.
10. Изобразите кубические комплексы произвольной логической функции двух переменных геометрической фигурой.

11. Что понимается под базовыми логическими элементами?
12. В каких режимах работает транзисторный ключ?
13. Какие методы используются для ускорения переходных процессов в транзисторном ключе?
14. В чем заключаются особенности ключа на полевых транзисторах?
15. Какие активные элементы используются в ИС серий ТТЛ и ТТЛШ?
16. Какие уровни помех допустимы для ИС серий ТТЛ, ТТЛШ?
17. В чем заключаются преимущества и недостатки ИС серии КМОП по сравнению с серией ТТЛ?
18. Какие уровни помех допустимы для ИС серии КМОП?
19. С какой целью применена отрицательная полярность напряжений логических уровней в ИС серии ЭСЛ?
20. В каком режиме работают транзисторы в ИС серии ЭСЛ?
21. Какие уровни помех допустимы для ИС серии ЭСЛ?

Самостоятельное занятие 9

Расчетно-графическая работа. Расчет параметрического стабилизатора напряжения. Графоаналитический расчет усилительного каскада на транзисторе включенного по схеме с общим эмиттером

1 ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ

Расчетно-графическая работа состоит из двух заданий. Исходные данные для расчетов по заданиям выдаются преподавателем студенту индивидуально.

Задание 1. Тема: Расчет параметрического стабилизатора напряжения.

Цель: на основе заданных характеристик стабилитрона, параметров входного напряжения на входе стабилизатора, используя аналитические и графоаналитические методы рассчитать режимы работы параметрического стабилизатора напряжения совместно с нагрузкой и сделать заключение о допустимых режимах работы.

Задача 1.1 На рисунке 1.1 задана ВАХ стабилитрона, включенного в схему параметрического стабилизатора (рисунок 1.2).

Координаты точек «m» и «n», значение R_H , напряжение на входе стабилизатора U_1 задаются индивидуально каждому студенту и берутся из таблицы 1.1.

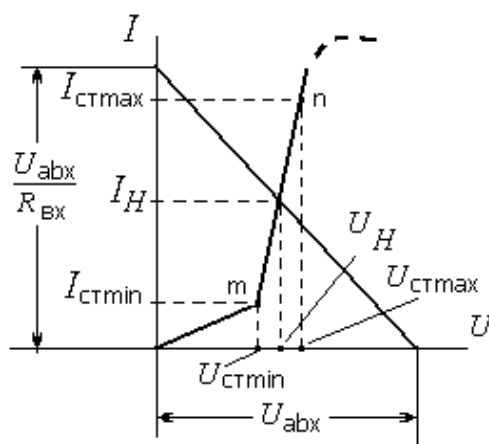


Рисунок 1.1

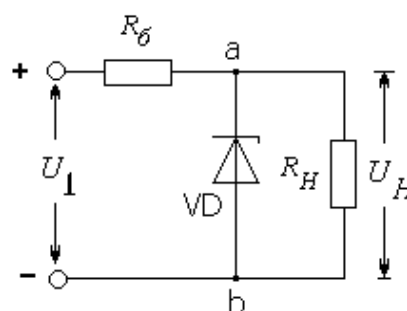


Рисунок 1.2

При условии, что номинальное напряжение на нагрузке равно $U_H = (U_{CT \min} + U_{CT \max})/2$, для заданного значения сопротивления нагрузки определить величину балластного сопротивления R_δ , обеспечивающего требуемый режим в точке пересечения ВАХ стабилитрона и зеркального изображения ВАХ входного сопротивления линейной части схемы по отношению к зажимам, к которым подключен стабилитрон.

Принять $U_{abx} = (0,7 \dots 0,8) \cdot U_1$.

Задача 1.2 Для параметрического стабилизатора с полученным в задаче значением R_δ определить границы допустимого изменения U_1 , при котором напряжение на нагрузке будет изменяться в пределах от $U_{CT \min}$ до $U_{CT \max}$.

Задача 1.3 Для параметрического стабилизатора с полученным в задаче значением R_δ определить диапазон изменения сопротивления нагрузки R_H , чтобы стабилизатор мог выполнять свои функции.

Задача 1.4 Определить абсолютное $\pm \Delta U_H$ и относительное изменение $\Delta U_H \% = \pm 100 \cdot \Delta U / U_H \%$ напряжения на нагрузке R_H при условии изменения питающего напряжения на $\pm 10\%$, т.е. $\Delta U = U_1'' - U_1' = 1,1 \cdot U_1 - 0,9 \cdot U_1 = 0,2 \cdot U_1$.

Изменение напряжения на нагрузочном резисторе можно определить по формуле

$$\Delta U_H = \frac{\pm \Delta U}{\left(1 + \frac{R_\delta}{R_H} + \frac{R_\delta}{R_\delta}\right)}.$$

Значения U_1 , R_H , R_δ принять по данным задачи 1.1, значение дифференциального сопротивления R_δ стабилитрона на рабочем участке ВАХ определяется по заданным параметрам в точках «т» и «п» (рисунок 1.1)

Таблица 1.1 – Варианты заданий к заданию 1

Примечание. Данные приведены как пример. Они могут меняться преподавателем.

Ф. И. О.	$I_{\text{ст.мин,}}$ мА	$U_{\text{ст.мин,}}$ В	$I_{\text{ст.мак,}}$ мА	$U_{\text{ст.мак,}}$ В	U_1 , В	R_H , кОм	Подпись
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	6	5	35	5,5	20	2,0	
2.	7	6	40	6,5	15	2,5	
3	8	7	45	7,5	20	3,0	
4	5	6	45	6,5	10	4,0	
5.	6	6	35	6,5	20	2,5	
6.	7	7	40	7,5	25	3,0	
7	8	6	35	6,5	20	3,5	
8	5	5	40	5,5	15	3,0	
9.	6	7	45	7,5	25	3,0	
10.	7	6	40	6,5	20	4,0	
11.	8	7	45	7,5	30	2,5	
12.	7	5	35	5,5	20	2,5	
13.	6	5	30	5,5	15	2,0	
14.	5	5	35	5,5	25	2,5	
15.	6	6	40	6,5	25	3,0	
16.	7	7	45	7,5	30	3,0	
17.	6	5	40	5,5	25	3,0	
18.	7	6	45	6,5	25	3,0	
19.	5	6	30	6,5	20	2,5	
20.	6	7	35	7,5	30	3,5	
21.	7	6	45	6,5	25	2,0	
22.	6	5	35	5,5	25	2,5	
23.	6	7	40	7,5	30	3,5	
24.	7	5	40	6	25	2,0	
25.	5	5	45	6	20	3,0	
26.	6	6	35	6	25	3,5	
27.	8	8	40	8	35	2,5	

Задание 2. Тема: Графоаналитический расчет усилительного каскада на транзисторе включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ).

Цель: С помощью графоаналитических построений и аналитических расчетов на основе заданных параметров источника входного сигнала, коэффициента усиления каскада по напряжению и сопротивления нагрузки выполнить расчет усилительного каскада на транзисторе и подобрать пассивные элементы усилительного каскада.

Задача 2.1 Варианты задания студент получает индивидуально на основе использования двух последних чисел номера зачетки. Тип биполярного транзистора для каскада взять по последней цифре номера зачетки из таблицы 2.1. Недостающие параметры транзистора, приведены в справочнике [7].

Таблица 2.1 – Варианты выбора типа транзистора

№ вар.	Название и тип транзистора	Предельные Эксплуат. данные			Электрические параметры	
		$U_{КЭmax},$ В	$I_{Кmax},$ мА	$P_{Кmax},$ мВт	β	Указаны в [7] на странице
0	МП111, (n-p-n)	20	20	150	10-25	44
1	МП113А, (n-p-n)	10	20	150	35-105	44
2	МП116, (p-n-p)	15	10	150	15-100	109
3	МП111Б, (n-p-n)	20	20	150	15-45	44
4	КТ201Б, (n-p-n)	20	30	150	30-90	51
5	КТ104В, (p-n-p)	15	50	150	40-160	114
6	КТ201Г, (n-p-n)	10	30	150	70-210	51
7	КТ203В, (p-n-p)	15	10	150	30-200	137
8	КТ503А, (n-p-n)	25	150	350	40-120	65
9	КТ503Г, (n-p-n)	40	150	350	80-240	65

Исходными данными для расчета усилительного каскада являются:
 $e_{вх} = E_m \sin \omega t$ – ЭДС входного сигнала; $R_{и}$ – внутренне сопротивление источника входного сигнала; K_{yc} – коэффициент усиления по напряжению; $R_{н}$ – сопротивление нагрузки. Выбор которых осуществляется по

предпоследней цифре номера зачетки из таблиц 2.2–2.4 согласно типу транзистора.

Таблица 2.2 – Варианты исходных данных для транзисторов

МП111, МП111Б, МП113А, МП116

№ вар.	ЭДС входного сигнала $e_{\text{вх}} = E_m \sin \omega t$	Внутренне сопротивление источника входного сигнала	Коэффициент усиления по напряжению	Сопротивление нагрузки
	$E_m, \text{В}$	$R_{\text{и}}, \text{Ом}$	$K_{\text{ус}}$	$R_{\text{н}}$
0	0,5	100	3	2000
1	0,45	90	3,5	2200
2	0,4	80	4	2400
3	0,35	70	4,5	2600
4	0,3	60	5	2800
5	0,5	100	3	1800
6	0,45	90	3,5	2000
7	0,4	80	4	2200
8	0,35	70	4,5	2400
9	0,3	60	5	2600

Таблица 2.3 – Варианты исходных данных для транзисторов

КТ104В, КТ503А, КТ503Г

№ вар.	ЭДС входного сигнала $e_{\text{вх}} = E_m \sin \omega t$	Внутренне сопротивление источника входного сигнала	Коэффициент усиления по напряжению	Сопротивление нагрузки
	$E_m, \text{В}$	$R_{\text{и}}, \text{Ом}$	$K_{\text{ус}}$	$R_{\text{н}}$
0	0,35	100	10	2000
1	0,3	90	11	2200
2	0,25	80	12	2400
3	0,2	70	13	2600
4	0,15	60	14	2800
5	0,35	100	10	1800
6	0,3	90	11	2000
7	0,25	80	12	2200
8	0,2	70	13	2400
9	0,15	60	10	2600

Таблица 2.4 – Варианты исходных данных для транзисторов
КТ201Б, КТ201Г, КТ203В

№ вар.	ЭДС входного сигнала $e_{\text{вх}} = E_m \sin \omega t$	Внутренне сопротивление источника входного сигнала	Коэффициент усиления по напряжению	Сопротивление нагрузки
	$E_m, \text{В}$	$R_{\text{и}}, \text{Ом}$	$K_{\text{ус}}$	$R_{\text{н}}$
0	0,5	100	10	2000
1	0,45	90	11	2200
2	0,4	80	12	2400
3	0,35	70	13	2600
4	0,3	60	14	2800
5	0,5	100	10	1800
6	0,45	90	11	2000
7	0,4	80	12	2200
8	0,35	70	13	2400
9	0,3	60	10	2600

Для всех вариантов принять частоту усиливаемого сигнала $f = 1000 \text{ Гц}$,
а рабочую температуру $T_{\text{раб}} = 20 - 30^\circ \text{ С}$.

2 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчетно-графическая работа выполняется на листах стандартных размеров формата А4 ($297 \times 210 \text{ мм}^2$), заполненных с одной стороны. Листы нумеруются и оставляются поля: слева для подшивки – 30 мм, справа – 15 мм, снизу и сверху – 20 мм. При оформлении отчета условные обозначения всех элементов схем изображать по действующим ГОСТ. При этом можно ориентироваться на принятые в учебной литературе изображения элементов электронных схем. Рисунки должны быть выполнены аккуратно. Титульный лист оформляется по прилагаемому образцу (приложение А) и выполняется черной пастой или отпечатывается.

Первые листы содержат текст задания, схемы и исходные данные расчетного варианта. Расчеты и необходимые пояснения выполняются на остальных листах отчета.

Структура должна соответствовать пунктам задания. Отдельные части должны иметь заголовки, комментарии и выводы. Записи и формулировки должны быть точными и ясными. При численных значениях должны быть обязательно указаны единицы измерения. Вычисления производить с точностью до второго знака для токов и напряжений. Рассчитанные значения параметров резисторов и конденсаторов округлять до ближайших значений, определяемых стандартизованными рядами (приложение Б) или в [7]. В конце работы обязательно указать используемую литературу, дату и поставить свою подпись. Небрежно оформленная работа может быть возвращена студенту на доработку.

3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, ПРИМЕРНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ

3.1 Последовательность решения задания 1

Последовательность решения задания 1 соответствует последовательности решения задач 1.1-1-4. При этом целесообразно использовать материал [1] §§13.9-13.13 учебника ТОЭ, ч. I (Электрические цепи), 2002 г. (Л.А.Бессонов), или раздел «Нелинейные электрические цепи постоянного тока» в аналогичном учебнике, но других лет издания. Пример решения задания 1 в MathCad В представлен в приложение В.

При решении задач допускается корректировка условий с тем, чтобы решение соответствовало физическому смыслу. Принятое Вами решение должно быть согласовано с преподавателем.

3.2 Последовательность решения задания 2

На основе выбранных данных необходимо провести расчет [2] в следующей последовательности:

1. Изобразить схему усилительного каскада на транзисторе, работающий в классе А с одним источником питания E_K , автоматическим смещением и эмиттерной стабилизацией рабочего режима (см. рисунок 2.1 на котором использован транзистор n-p-n типа). Объяснить назначения всех элементов на схеме.

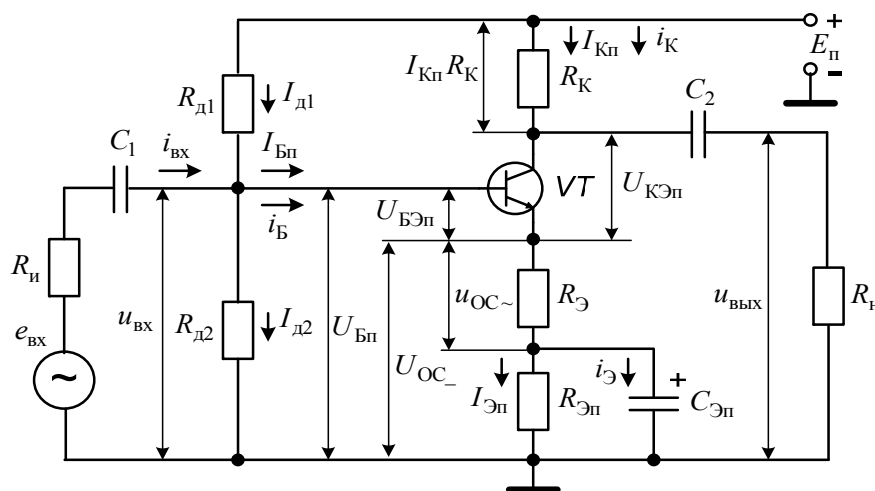


Рисунок 2.1 – Схема усилительного каскада с ОЭ на транзисторе n-p-n типа

Расчет режима покоя $e_{\text{вх}} = 0$.

2. Определить амплитудное значение тока I_{Hm} и напряжения U_{Hm} на нагрузке, а также выбрать напряжение коллекторного питания E_{Π} используя условия $U_{KЭ\text{max}} > E_{\Pi} > 2 \cdot U_{Hm} + U_{OC-}$, где $U_{OC-} \approx (0.2 \dots 0.3) \cdot E_{\Pi}$, $U_{OC-} = I_{Э\Pi} \cdot (R_{Э} + R_{Э\Pi})$.

3. Определить коллекторный $I_{K\Pi}$, эмиттерный $I_{Э\Pi}$ и базовый $I_{А\Pi}$ токи в рабочей точке: $I_{K\Pi} = (1.5 \dots 5) \cdot I_{Hm}$, $I_{Э\Pi} = I_{K\Pi} \cdot \frac{\beta + 1}{\beta}$, $I_{А\Pi} = \frac{I_{K\Pi}}{\beta}$.

4. На основе п.2 и 3 определить $(R_{Э} + R_{Э\Pi}) = \frac{U_{OC-}}{I_{Э\Pi}}$, где $R_{Э\Pi} > 10 \cdot R_{Э}$, округляя при этом параметры резисторов до ближайших значений, определяемых стандартизованными рядами (приложение А).

5. Построить графики допустимого напряжения $U_{KЭ\text{max}}$ тока $I_{K\text{max}}$ и мощности $I(U) = \frac{P_{K\text{max}}}{U}$ (рисунок 2.2).

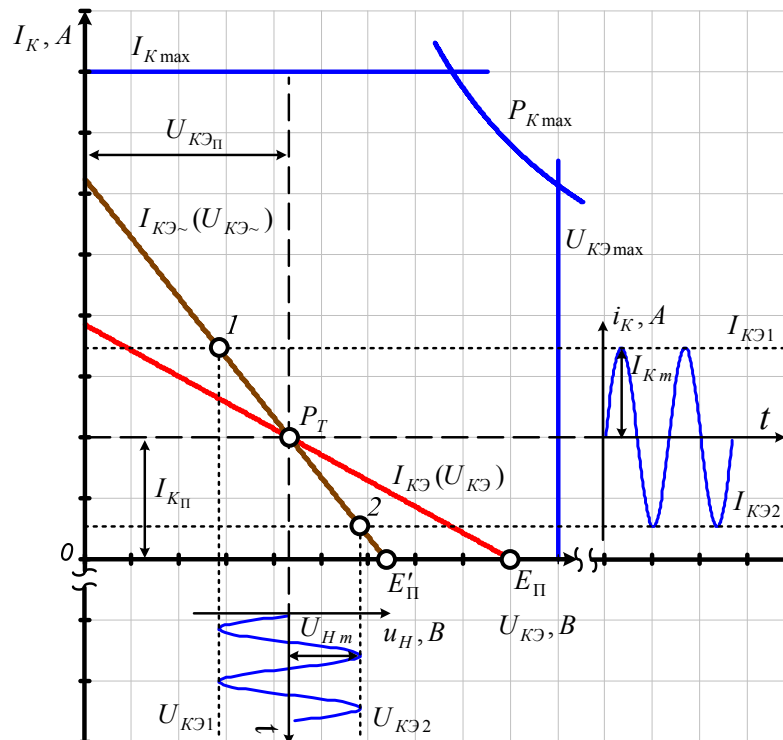


Рисунок 2.2 – Графические построения в координатах выходных параметрах транзистора

Исходя из наиболее подходящего угла наклона нагрузочной прямой по постоянному току

$$I_{KЭ}(U_{KЭ}) = \frac{(E_{\Pi} - U_{KЭ})}{R_K + (R_{Э} + R_{Э\Pi}) \cdot \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \right)}$$

рассчитать сопротивление $R_K = \frac{E_{\Pi} - U_{OC-}}{(2...4) \cdot I_{K\Pi}}$. Принять его согласно рядам сопротивлений.

Определить и построить напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ\Pi}$ и ток коллектора $I_{K\Pi}$ в рабочей точке $U_{KЭ\Pi} = E_{\Pi} - I_{K\Pi} \cdot R_K - U_{OC-}$.

6. Построить нагрузочную прямую по переменному току

$$I_{KЭ\sim}(U_{KЭ\sim}) = \frac{(E'_{\Pi} - U_{KЭ\sim})}{R'_H}, \text{ где } R'_H = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H} = \frac{\Delta U_{KЭ}}{\Delta I_K}, E'_{\Pi} = U_{KЭ\Pi} + I_{K\Pi} \cdot R'_H.$$

Найти и построить $U_{KЭ\min} = U_{KЭ\Pi} - U_{Hm}$, $U_{KЭ\max} = U_{KЭ\Pi} + U_{Hm}$,

$$I_{KЭ\max} = I_{KЭ\sim}(U_{KЭ\min}), I_{KЭ\min} = I_{KЭ\sim}(U_{KЭ\max})$$

7. Определить положение рабочей точки на входной характеристики транзистора $I_{A\Pi}$ и $U_{БЭ\Pi}$ (рисунок 2.3). Далее представлен один из способов определения напряжения по h-параметрам транзистора $U_{БЭ\Pi} = U_{KЭ\Pi} \cdot h_{12Э} + I_{A\Pi} \cdot h_{11Э}$. Это напряжение, также может определяться и другими способами из справочных данных и составляет для кремниевых транзисторов $U_{БЭ\Pi} = 0.5...0.7$ В.

С точки зрения температурной стабильности режима покоя нужно, чтобы изменение тока базы покоя $I_{A\Pi}$ (вследствие температурной нестабильности напряжения $U_{БЭ\Pi}$) слабо отражалось на изменении напряжения $U_{Б\Pi}$. Поэтому требуется, чтобы токи $I_{д1}$ и $I_{д2}$ превышали ток $I_{A\Pi}$, а также нельзя чтобы резисторы $R_{д1}$ и $R_{д2}$ были слишком малыми и оказывали сильное шунтирующее действие на входную цепь. В результате

при расчете элементов входного делителя токи $I_{д1}$ и $I_{д2}$ принимают равными

$$(2...4) \cdot I_{АП}. \text{ Тогда } R_{д2} = \frac{U_{OC-} + U_{БЭП}}{I_{д2}}, \quad R_{д1} = \frac{E_{П} - U_{OC-} - U_{БЭП}}{I_{д2} + I_{АП}}. \text{ Принять}$$

полученные сопротивления согласно стандартным рядам и условиям п.7.

Расчет рабочего режима $e_{вх} \neq 0$.

8. В этом режиме рассчитываются параметры остальных элементов схемы с использованием физической эквивалентной схемы замещения каскада усиления для низких и средних частот. Тогда величина

$$\text{эквивалентного сопротивления базовой цепи } R_6 = \frac{R_{д1} \cdot R_{д2}}{R_{д1} + R_{д2}} \text{ и выходное}$$

сопротивления каскада $R_{вых.ус} = R'_H$ для переменной составляющей тока.

Представленные соотношения справедливы, если на частоте рабочего сигнала обеспечиваются условия: $X_{C1} = X_{C2} \approx 0$ и $X_{CЭП} \ll R_{ЭП}$.

Затем найти входное сопротивление транзистора $R_{вх.тр} = h_{11Э}$ (по справочным данным), входное сопротивление транзистора с обратной связью $R_{вх.трОС} = h_{11Э} + R_{Э} \cdot (\beta + 1)$ и входное сопротивление каскада

$$R_{вх.ус} = \frac{R_{вх.трОС} \cdot R_6}{R_{вх.трОС} + R_6}, \text{ причем необходимо соблюдать условие } R_{вх.ус} \geq 10 \cdot R_{и}$$

9. Определить полученный коэффициент усиления по напряжению для

$$\text{каскада } K_{Ус} = \frac{U_{Hm}}{U_{вхm}}, \text{ где } U_{вхm} = \frac{E_m \cdot R_{вх.ус}}{R_{и} + R_{вх.ус}} - \text{амплитуда напряжения на}$$

$$\text{входе усилителя и транзистора } K_{Утр} = \frac{\beta \cdot R'_H}{R_{вх.трОС}}, \text{ если эти коэффициенты}$$

приблизительно не равны необходимо брать транзистор с большим β .

10. Найти для каскада коэффициент усиления по току

$$K_{Iyc} = \frac{\beta \cdot R_6}{R_6 + R_{вх.трОС}} \text{ и мощности } K_{Pyc} = K_{Ус} \cdot K_{Iyc}, \text{ а также } \beta_{AC} = \frac{I_{Km}}{i_B}, \text{ где}$$

$i_B = \frac{U_{Bxm}}{R_{вх.трОС}}$. Выполнить все построения в входных параметрах транзистора

(Рисунок 2.3).

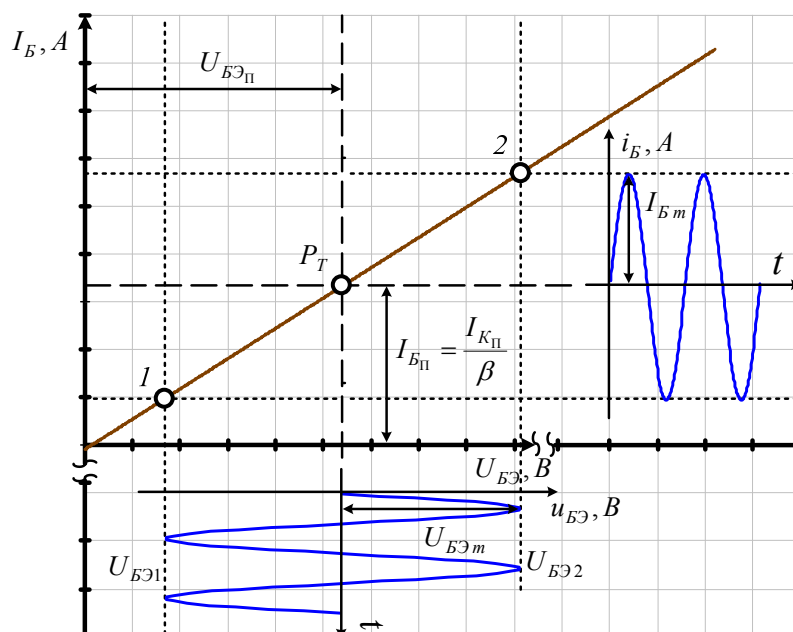


Рисунок 2.3 – Графические построения в координатах входных параметрах транзистора

11. Определить параметры C_1 , C_2 при потере сигнала на X_{C1} не более

1%: $C_1 \approx \frac{1}{f(R_{вх.ус} + R_H)}$, $C_2 \approx \frac{1}{f(R_H + R_H)}$. Величину $C_{ЭП}$ находят из

соотношения $X_{CЭП} \ll R_{ЭП}$ (обычно в 10..100 раз):

$C_{ЭП} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R_{ЭП} \cdot (10...100)}$. Принять полученные значения согласно

стандартным рядам.

12. Рассчитать расходуемую источником питания мощность $P_{П}$, полезную выходную мощность $P_{ВЫХ}$ и КПД каскада η :

$$P_{П} = E_{П} \cdot (I_{КП} + I_{БП} + I_{д2}), P_{ВЫХ} = \frac{U_{Hm}^2}{2 \cdot R_H}, \eta = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{П}} \cdot 100\%.$$

13. Для нормальной работы каскада коэффициент неустойчивости S не должен превышать нескольких единиц ($\sim 7 \dots 10$). Коэффициент

неустойчивости работы каскада: $S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \cdot \gamma}$, где $\gamma = \frac{(R_{\text{Э}} + R_{\text{ЭП}})}{\left(R_{\text{Э}} + R_{\text{ЭП}} + \frac{R_{\text{д1}} \cdot R_{\text{д2}}}{R_{\text{д1}} + R_{\text{д2}}} \right)}$.

Проведя анализ усилительного каскада необходимо: чтобы все указанные условия выполнялись. Если какое-то условие не выполняется, то необходимо изменять (подбирать) пассивные элементы каскада или брать другой транзистор с большим β . Выбор транзистора с большим β обязательно должен быть согласован с преподавателем. Пример решения задания 2 в MathCad В представлен в приложение Г.

Успешное выполнение Расчетно-графической работа во многом зависит от систематического и планомерного выполнения студентом графика календарного плана его выполнения (таблица 3.1). После представления Расчетно-графической работа она защищается студентом.

Таблица 3.1 – Примерных план (график) выполнения Расчетно-графической работа

№	Наименование выполненного задания	Объем выполненной работы в %	Сроки выполнения	
			Плановый	Досрочный
1	Получение и оформление задания по варианту	5	1 неделя	-
2	Решение не менее 50% задания	40	4-5 неделя	3 неделя
3	Оформление и предоставление на проверку задания	45	8-9 неделя	7 неделя
4	Защита работы	10	10 неделя	8 неделя
ИТОГО		100		

4 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

4.1 Студент допускается к защите Расчетно-графической работы, если в ней не содержится ошибок принципиального характера и соблюдены все требования, предъявляемые к оформлению.

4.2 Защита Расчетно-графической работы осуществляется в форме собеседования по теме работы после ее проверки преподавателем и отметки о разрешении к защите.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Северо-Кавказский государственный технический университет»

Кафедра теоретической и общей электротехники

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по курсу Информационно-измерительной техники и электроники

Выполнил:

Студент ФИО

группы

Работу принял:

Ставрополь, 2026

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Номинальные значения сопротивления резисторов и емкости конденсаторов стандартизированы. Они выбираются из определенных рядов чисел путем умножения или деления их на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число [7].

Таблица Б.1 – Номинальные сопротивления постоянных резисторов по рядам

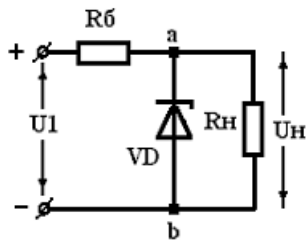
Ряд	Числовые коэффициенты											
E6	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8						
E12	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
E24	1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,7	3
	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	7,5	8,2	9,1	

Таблица Б.2 – Наиболее употребляемые ряды номинальных значений емкостей постоянных конденсаторов

E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24
1	1	1	1		3,3	3,3	3,3
			1,1				3,6
		1,2	1,2			3,9	3,9
			1,3				4,3
	1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7	4,7
			1,6				5,1
		1,8	1,8			5,6	5,6
			2				6,2
2,2	2,2	2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
	2,7		2,7			8,2	8,2
			3				9,1

Пример расчета задания 1 в MathCad**Задача 1.1**

Для заданного сопротивления нагрузки определить величину балластного сопротивления R_b , обеспечивающего требуемый режим в точке пересечения ВАХ стабилитрона и зеркального изображения ВАХ входного сопротивления линейной части схемы по отношению к зажимам, к которым подключается стабилитрон.

Дано:

$$I_{СТ_{мин}} := 5 \cdot 10^{-3} \quad (\text{A})$$

$$U_{СТ_{мин}} := 10 \quad (\text{В})$$

$$I_{СТ_{маx}} := 45 \cdot 10^{-3} \quad (\text{A})$$

$$U_{СТ_{маx}} := 12 \quad (\text{В})$$

$$U1 := 20 \quad (\text{В})$$

$$R_n := 1500 \quad (\text{Ом})$$

Решение.

Разомкнем ветвь стабилитрона и найдем напряжение холостого хода:

$$U_{ab_{xx}} = U1 \cdot \frac{R_n}{R_n + R_b} \quad (1)$$

Так как (по условию)

$$U_{ab_{xx}} := 0.7 \cdot U1$$

Найдем из уравнения (1) R_b :

$$R_b := \frac{3}{7} \cdot R_n \quad R_b = 642.857 \quad (\text{Ом})$$

Примем согласно стандартного ряда

$$R_b := 680 \quad (\text{Ом})$$

Задача 1.2

Для параметрического стабилизатора с полученным в задаче значением R_b . Определить границы допустимого значения $U1$, при котором напряжение на нагрузке будет изменяться в пределах от $U_{СТ_{мин}}$ до $U_{СТ_{маx}}$.

Определим входное сопротивление линейной части схемы по отношению к зажимам ab :

$$R_{вх} := \frac{R_n \cdot R_b}{R_n + R_b} \quad R_{вх} = 467.89 \quad (\text{Ом})$$

Зададим ВАХ стабилитрона и проведем две прямые (сплошные) линии через граничные точки так, чтобы тангенс угла (образованного ими с вертикалью), равнялся $R_{ВХ}$.

$$U := \begin{pmatrix} 0 \\ U_{СТ_{мин}} \\ U_{СТ_{маx}} \\ 100 \end{pmatrix} \quad I := \begin{pmatrix} 0 \\ I_{СТ_{мин}} \\ I_{СТ_{маx}} \\ 100 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} y(x) &:= \left[-\frac{1}{R_{ВХ}} \cdot (x - U_{СТ_{мин}}) \right] + I_{СТ_{мин}} \\ y1(x1) &:= \left[-\frac{1}{R_{ВХ}} \cdot (x1 - U_{СТ_{маx}}) \right] + I_{СТ_{маx}} \end{aligned}$$

Определим отрезки отсекаемые этими прямыми на оси абсцисс, это $U_{ab_{xx1}}$ и $U_{ab_{xx2}}$.

$$\text{Given} \quad 0 = \left[-\frac{1}{R_{ВХ}} \cdot (x - U_{СТ_{мин}}) \right] + I_{СТ_{мин}}$$

$$0 = \left[-\frac{1}{R_{ВХ}} \cdot (x1 - U_{СТ_{маx}}) \right] + I_{СТ_{маx}}$$

$$\text{Find}(x, x1) \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1345}{109} \\ \frac{3603}{109} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12.339 \\ 33.055 \end{pmatrix}$$

$$U_{ab_{xx1}} := 12.339 \quad (B)$$

$$U_{ab_{xx2}} := 33.055 \quad (B)$$

Из рисунка находим $0.7 \cdot U_{1_{мин}} = U_{ab_{xx1}}$.

Аналогично, находим $0.7 \cdot U_{1_{маx}} = U_{ab_{xx2}}$.

$$U_{1_{мин}} := \frac{U_{ab_{xx1}}}{0.7}$$

$$U_{1_{маx}} := \frac{U_{ab_{xx2}}}{0.7}$$

$$U_{1_{мин}} = 17.627 \quad (B)$$

$$U_{1_{маx}} = 47.221 \quad (B)$$

Задача 1.3

Для параметрического стабилизатора с полученным в задаче значением R_6 . Определить диапазон изменения сопротивления нагрузки R_n , чтобы стабилизатор мог выполнять свои функции.

Воспользовавшись методом эквивалентного генератора, определим U_{xx} и R_{vx} . Задаемся R_{n1} и подсчитываем соответствующие им U_{xx} и R_{vx} . При которых прямые, характеризующие R_{vx} , будут проходить через граничные точки ВАХ стабилитрона.

$$R_{n1} := \begin{pmatrix} 200 \\ 1800 \end{pmatrix} \quad i := 0..1$$

$$U_{xx_i} := U_{1_{\max}} \cdot \frac{R_{n1_i}}{R_{n1_i} + R_6} \quad R_{vx1_i} := \frac{R_6 \cdot R_{n1_i}}{R_{n1_i} + R_6}$$

$$U_{xx_i} = \begin{array}{|c|} \hline 10.732 \\ \hline 34.274 \\ \hline \end{array} \quad R_{vx1_i} = \begin{array}{|c|} \hline 154.545 \\ \hline 493.548 \\ \hline \end{array}$$

$$p_0(q) := -\frac{1}{R_{vx1_0}} \cdot (q - U_{xx_0}) \quad p_1(q_1) := -\frac{1}{R_{vx1_1}} \cdot (q_1 - U_{xx_1})$$

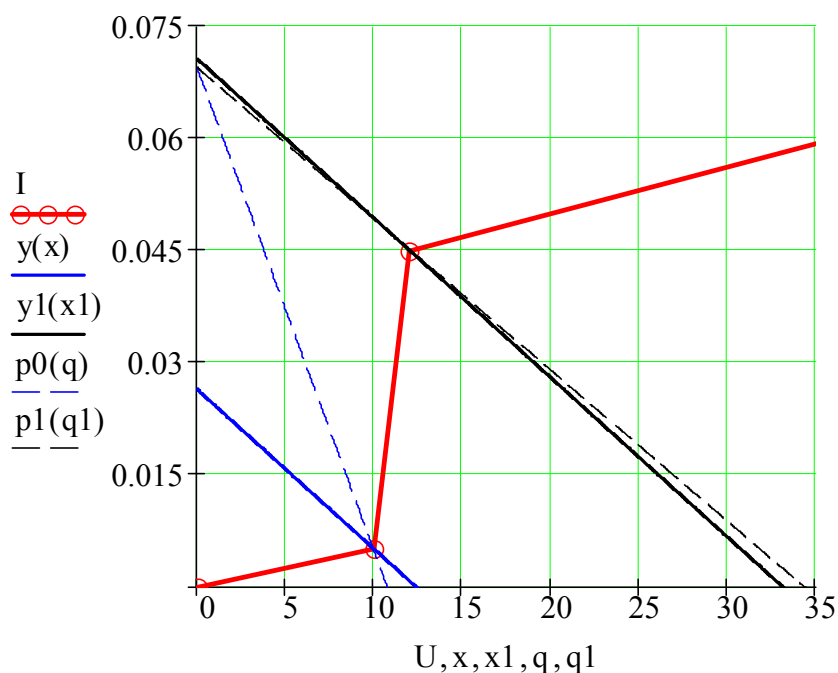
Находим, что прямые (пунктирные прямые) пройдут через граничные точки ВАХ стабилитрона соответственно при R_{n1_0} и R_{n1_1} .

$$R_{n_{\min}} := R_{n1_0}$$

$$R_{n_{\max}} := R_{n1_1}$$

$$R_{n_{\min}} = 200 \quad (\text{Ом})$$

$$R_{n_{\max}} = 1.8 \times 10^3 \quad (\text{Ом})$$



Задача 1.4

Определить абсолютное и относительное изменение напряжения на нагрузке R_n при условии изменения питающего напряжения на 10%. Изменение напряжения на нагрузочном резисторе.

Значения U_1 , R_n , R_b принять равными по данным задачи 1, значение дифференциального сопротивления R_d стабилитрона на рабочем участке ВАХ определяется по заданным параметрам в граничных точках.

Определим абсолютное изменение напряжения на нагрузке R_n при условии изменения питающего напряжения на 10%.

$$U_{1\min1} := U_1 - 0.1 \cdot U_1 \quad U_{1\max2} := U_1 + 0.1 \cdot U_1$$

$$U_{ab_{xx11}} := U_{1\min1} \cdot 0.7 \quad U_{ab_{xx22}} := U_{1\max2} \cdot 0.7$$

$$U_{ab_{xx11}} = 12.6 \quad U_{ab_{xx22}} = 15.4$$

$$y(x) := \left[-\frac{1}{R_{BX}} \cdot (x - U_{ab_{xx11}}) \right]$$

$$Y(X) := \left[\frac{(I_{CT\max} - I_{CT\min})}{(U_{CT\max} - U_{CT\min})} \cdot (X - U_{CT\min}) \right] + I_{CT\min}$$

$$y1(x1) := \left[-\frac{1}{R_{BX}} \cdot (x1 - U_{ab_{xx22}}) \right]$$

$$Y1(X1) := \left[-\frac{1}{R_{BX}} \cdot (X1 - U_1 \cdot 0.7) \right]$$

Given

$$-\frac{1}{R_{BX}} \cdot (x - U_{ab_{xx11}}) = \left[\frac{(I_{CT\max} - I_{CT\min})}{(U_{CT\max} - U_{CT\min})} \cdot (x - U_{CT\min}) \right] + I_{CT\min}$$

$$-\frac{1}{R_{BX}} \cdot (x1 - U_{ab_{xx22}}) = \left[\frac{(I_{CT\max} - I_{CT\min})}{(U_{CT\max} - U_{CT\min})} \cdot (x1 - U_{CT\min}) \right] + I_{CT\min}$$

$$-\frac{1}{R_{BX}} \cdot (X1 - U_1 \cdot 0.7) = \left[\frac{(I_{CT\max} - I_{CT\min})}{(U_{CT\max} - U_{CT\min})} \cdot (X1 - U_{CT\min}) \right] + I_{CT\min}$$

$$\text{Find}(x, x1, X1) \rightarrow \begin{pmatrix} 10.025155004428697963 \\ 10.295482728077945084 \\ 10.160318866253321523 \end{pmatrix}$$

$$U_{H_{\min}} := 10.025 \quad (\text{В}) \quad U_{H_{\max}} := 10.295 \quad (\text{В}) \quad U_{H_{\text{ср.}}} := 10.160 \quad (\text{В})$$

$$\Delta U_H := (U_{H_{\text{ср.}}} - U_{H_{\min}}) \quad \Delta U_H = 0.135$$

$$\Delta U_H := (U_{H_{\text{ср.}}} - U_{H_{\max}}) \quad \Delta U_H = -0.135$$

Относительное изменение напряжения на нагрузке R_H при условии изменения питающего напряжения на 10%.

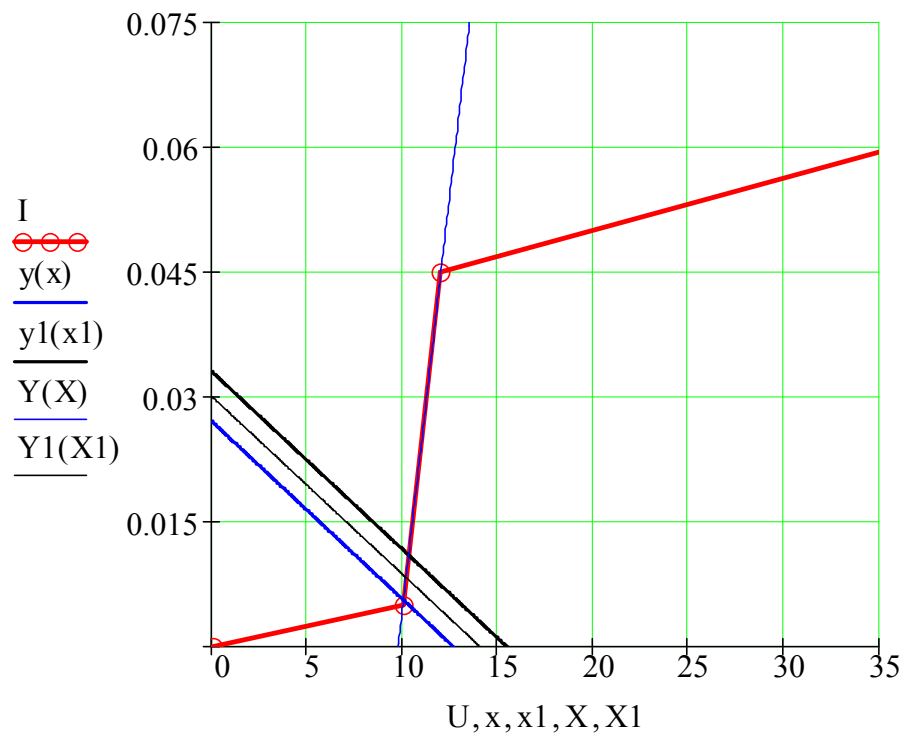
$$\Delta U_H\% := \frac{|2 \cdot \Delta U_H|}{(U_{H_{\text{ср.}}})} \cdot 100 \quad \Delta U_H\% = 2.657$$

Изменение напряжения на нагрузочном резисторе при условии изменения питающего напряжения на 10%.

Определим дифференциальное сопротивление R_d стабилитрона на рабочем участке ВАХ:

$$R_d := \frac{(U_{\text{СТ}_{\max}} - U_{\text{СТ}_{\min}})}{(I_{\text{СТ}_{\max}} - I_{\text{СТ}_{\min}})} \quad R_d = 50 \quad (\text{В})$$

$$\Delta U_H := \frac{0.2 \cdot U_1}{\left(1 + \frac{R_6}{R_H} + \frac{R_6}{R_d}\right)} \quad \Delta U_H = 0.266$$



Пример решения задания 2 в MathCad**Задача 2.1****1. Выбор исходных данных**

Тип транзистора: МП113(n-p-n).

Примем согласно [7 стр.44-47]

$$\beta := 15$$

Предельные эксплуатационные данные [7]

Постоянное напряжение коллектор-эмиттер при

$$U_{KЭmax} := 10V$$

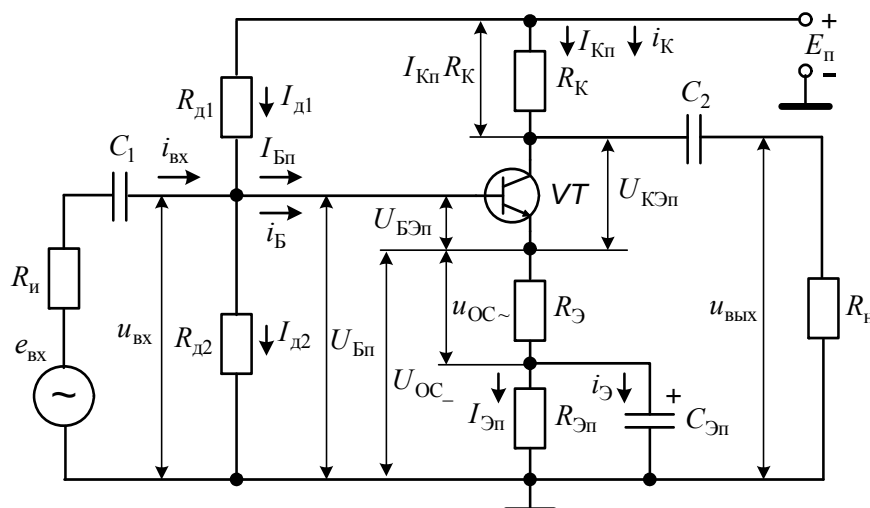
$R_{ЭБ} \leq 2k\Omega$:

$$I_{Kmax} := 20 \cdot 10^{-3} A$$

Постоянный ток коллектора:

$$P_{Kmax} := 150 \cdot 10^{-3} \text{ watt}$$

Постоянная рассеиваемая мощность:



Амплитудное значение источника входного сигнала:

$$E_m := 0.5V$$

Внутреннее сопротивление источника входного сигнала:

$$R_и := 100\text{ohm}$$

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_{Uyc} := 3$$

Сопротивление нагрузки:

$$R_н := 1500\text{ohm}$$

Режим покоя $e_{вх} = 0$.

2. Амплитудное значение тока и напряжения нагрузки без учета входного сопротивления каскада

$$I_{н.m} := \frac{K_{Uyc} \cdot E_m}{R_н} \quad I_{н.m} = 1 \times 10^{-3} A$$

$$U_{н.m} := (K_{Uyc} \cdot E_m) \quad U_{н.m} = 1.5 V$$

Выбираем напряжение коллекторного питания так чтобы $2 \cdot (U_{H.m}) + U_{oc._} \leq E_{\Pi} \leq U_{KЭmax}$. С учетом того, что напряжение отрицательной обратной связи по постоянной составляющей эмитерного тока $U_{oc._}$ образуется на суммарном сопротивлении $(R_{Э} + R_{ЭП})$, обычно его величина выбирается равной 20...30% от напряжения коллекторного питания E_{Π} : $U_{oc._} = I_{ЭП} \cdot (R_{Э} + R_{ЭП}) = (0.2..0.3) \cdot E_{\Pi}$

Примем $U_{oc._} = 0.2 \cdot E_{\Pi}$ и

$E_{\Pi} > 2 \cdot (U_{H.m}) + U_{oc._}$ тогда

Given

$$U_{oc._} = 0.2 \cdot E_{\Pi} \quad U_{H.m} = E_m \cdot K_{Uyc}$$

$$E_{\Pi} = 2 \cdot (U_{H.m}) + U_{oc._}$$

$$\begin{pmatrix} E_{\Pi} \\ U_{oc._} \\ U_{H.m} \end{pmatrix} := \text{Find}(E_{\Pi}, U_{oc._}, U_{H.m}) \rightarrow \begin{pmatrix} 3.7500000000000000000V \\ .7500000000000000000V \\ 1.5000000000000000000V \end{pmatrix}$$

так как $U_{KЭmax} = 10V$, то E_{Π} может лежать в диапазоне 3.75..10 V

примем $E_{\Pi} := 9.0V$ тогда

$$U_{oc._} := 0.20 \cdot E_{\Pi} \quad U_{oc._} = 1.8V$$

$$2 \cdot (U_{H.m}) + U_{oc._} = 4.8V$$

3. Примем, что ток коллектора в рабочей точке $I_{KП} = 1.5...5 \cdot I_{H.m}$

$$I_{KП} := 5 \cdot I_{H.m} \quad I_{KП} = 5 \times 10^{-3} A$$

Определим эмитерный ток в рабочей точке $I_{ЭП}$:

$$I_{ЭП} := I_{KП} \cdot \frac{(\beta + 1)}{\beta} \quad I_{ЭП} = 5.333 \times 10^{-3} A$$

Определим базовый ток в рабочей точке $I_{БП}$:

$$I_{БП} := \frac{I_{KП}}{\beta} \quad I_{БП} = 3.333 \times 10^{-4} A$$

4. Определим параметры резисторов $R_{Э}$ и $R_{ЭП}$:

$$RR_{ЭЭП} := \frac{U_{ос.}}{I_{ЭП}} \quad RR_{ЭЭП} = 337.5 \Omega$$

Примем согласно рядом сопротивлений

$$R_{Э} := 220 \Omega \quad R_{ЭП} := 330 \Omega$$

$$RR_{ЭЭП} := R_{Э} + R_{ЭП} \quad RR_{ЭЭП} = 352 \Omega$$

$$U_{ос.} := I_{ЭП} \cdot RR_{ЭЭП} \quad U_{ос.} = 1.877 V \quad \frac{U_{ос.}}{E_{П}} = 0.209$$

5. Построим графики допустимого напряжения $U_{КЭmax}$, тока $I_{Кmax}$ и мощности $P_{Кmax} = U \cdot I$

$$I(U) := \frac{P_{Кmax}}{U}$$

Определим сопротивление коллектора (исходя из наиболее подходящего угла прямой по постоянному току)

$$R_K := \frac{(E_{П} - U_{ос.})}{2.546 \cdot I_{КП}} \quad R_K = 559.518 \Omega$$

Примем согласно рядом сопротивлений $R_K := 560 \Omega$

Построим нагрузочную прямую по постоянному току

$$I_{КЭ}(U_{КЭ}) := \frac{(E_{П} - U_{КЭ} \cdot V)}{\left[R_K + \left[RR_{ЭЭП} \cdot \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \right) \right] \right]}$$

Определим и построим напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭП}$ и ток коллектора $I_{КП}$ в рабочей точке

$$U_{КЭП} := E_{П} - I_{КП} \cdot R_K - U_{ос.} \quad U_{КЭП} = 4.323 V$$

6. Поскольку при наличии входного сигнала напряжение и ток транзистора представляют собой суммы постоянных и переменных составляющих, линия нагрузки по переменному току проходит через рабочую точку покоя. Наклон линии нагрузки по переменному току будет больше, чем по постоянному току. Линию нагрузки по переменному току строят по

отношению приращений напряжения к току:
$$\frac{\Delta U_{KЭ}}{\Delta I_K} = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}.$$

Построим нагрузочную прямую по переменному току $I_{KЭ}(U_{1KЭ})$

$$R'_H := \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H} \quad R'_H = 407.767 \Omega$$

$$E'_H := U_{KЭП} + I_{KП} \cdot \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}$$

$$I_{KЭ}(U_{1KЭ}) := \frac{(E'_H - U_{1KЭ} \cdot V)}{(R'_H)}$$

$$U_{KЭ1} := U_{KЭП} + U_{H.m} \quad U_{KЭ2} := U_{KЭП} - U_{H.m}$$

$$I_{KЭmin} := I_{KЭ} \left(\frac{U_{KЭП} + U_{H.m}}{V} \right) \quad I_{KЭmin} = 1.321 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{KЭmax} := I_{KЭ} \left(\frac{U_{KЭП} - U_{H.m}}{V} \right) \quad I_{KЭmax} = 8.679 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$\Delta I_{Km} := \frac{I_{KЭmax} - I_{KЭmin}}{2} \quad \Delta I_{Km} = 3.679 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$i_K(wt) := I_{KП} + \Delta I_{Km} \cdot \sin \left(\frac{wt}{0.25} \right)$$

Блок вычислений необходимый для графических построений в координатах выходных параметрах транзистора

$$i_K(wt) := \begin{cases} I_{K\Pi} + \Delta I_{Km} \cdot \sin\left(\frac{wt}{0.25}\right) & \text{if } \frac{U_{KЭ\max}}{V} + 1 \leq wt < \frac{U_{KЭ\max}}{V} + 4.140 \\ 0 & \text{if } -6.28 \leq wt < -12 \end{cases}$$

$$u_{\text{ВЫХ}}(wt) := U_{KЭ\Pi} - U_{H.m} \cdot \sin\left(\frac{wt}{0.5}\right)$$

$$wt1 := -0.022, -0.02195.. 0$$

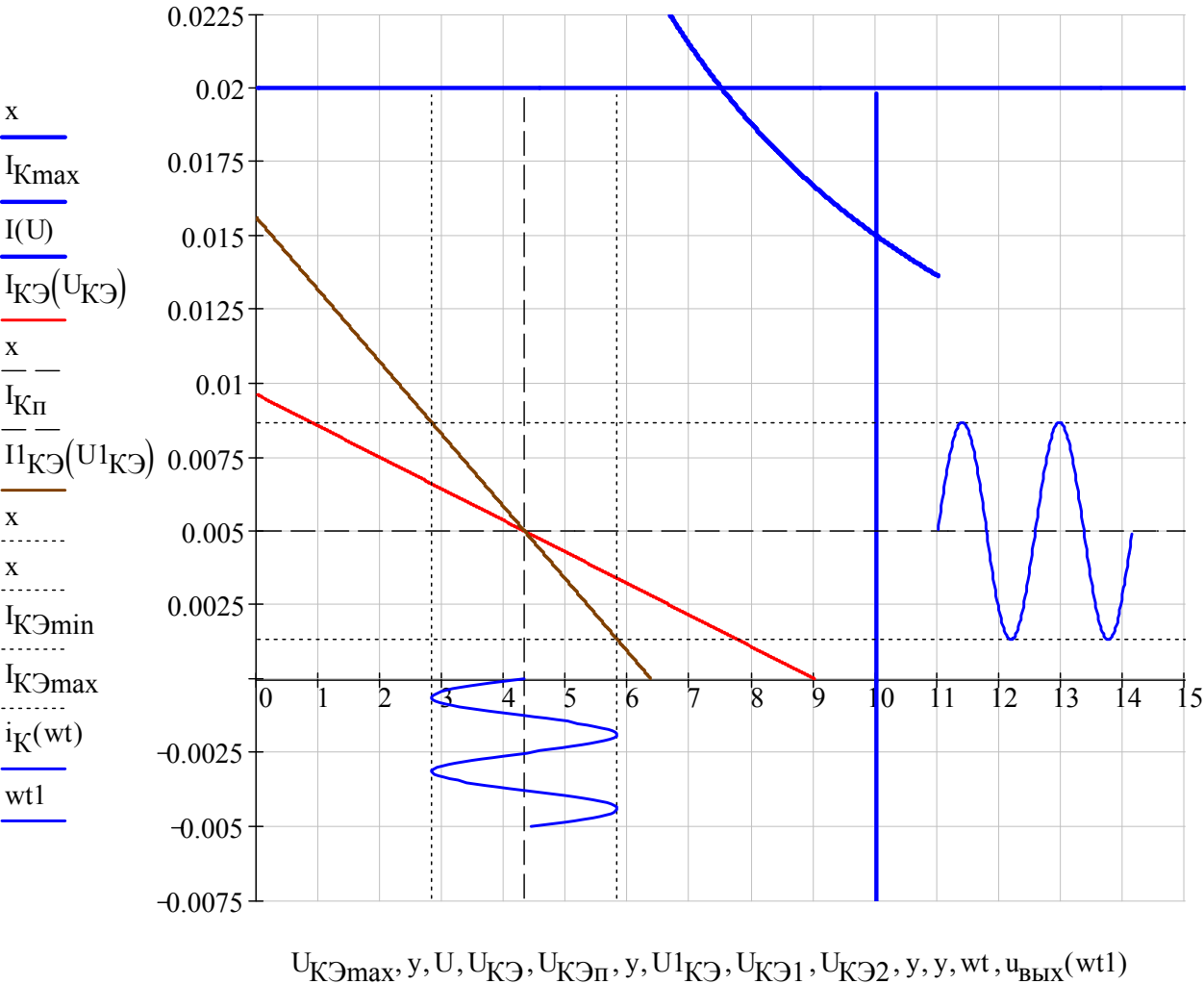
$$u_{\text{ВЫХ}}(wt1) := \begin{cases} U_{KЭ\Pi} + U_{H.m} \cdot \sin\left(\frac{wt1}{0.0004}\right) & \text{if } -0.005 \leq wt1 < 0 \\ 0 & \text{if } 0 \leq wt1 < 0.025 \end{cases}$$

$$U := \frac{P_{K\max}}{I_{K\max} \cdot V} - 1, \frac{P_{K\max}}{I_{K\max} \cdot V} - 1 + 0.0005.. \frac{U_{KЭ\max}}{V} + 1$$

$$x := -\left(\frac{I_{K\max}}{A}\right), -0.0001.. \frac{I_{K\max}}{A}$$

$$U1_{KЭ} := 0, 0.0005.. \frac{E'_{\Pi}}{V}$$

$$U_{KЭ} := 0, 0.0005.. \frac{E_{\Pi}}{V}$$



7. Определим положение рабочей точки на входной характеристике транзистора

Характеристики транзистора МП113 [7, стр.44-47]:

Коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала при $U_{КБ} = 5V$,

$I_{\mathcal{O}} = 5\text{ mA}$, $f = 1\text{ kHz}$: при $T = 298\text{ K}$

$$\beta := 15 \quad h_{21\mathcal{O}} := \beta \quad h_{21\mathcal{O}} = 15$$

Выходная полная проводимость в режиме малого сигнала при холостом ходе при $U_{КБ} = 5V$, $I_{\mathcal{O}} = 5\text{ mA}$, $f = 1\text{ kHz}$: при $T = 298\text{ K}$ не более

$$h_{22Б} := 2 \cdot 10^{-6} S \quad \frac{1}{h_{22Б} \cdot (\beta + 1)} = 3.125 \times 10^4 \Omega$$

$$h_{22\mathcal{O}} := h_{22Б} \cdot (\beta + 1) \quad h_{22\mathcal{O}} = 3.2 \times 10^{-5} S$$

Коэффициент обратной связи по напряжению в режиме малого сигнала в схеме с общей базой при $U_{КБ} = 5V$, $I_{\mathcal{O}} = 5\text{ mA}$, $f = 1\text{ kHz}$: при $T = 298\text{ K}$ не более

$$h_{12Б} := 3 \cdot 10^{-3}$$

Определим параметры схемы замещения транзистора по переменному току [2, стр.60-61; 6 стр.56; 8, стр.112;]:

$$r_{\mathcal{B}} := \frac{h_{12Б}}{h_{22Б}} \quad r_{\mathcal{B}} = 1.5 \times 10^3 \Omega$$

$$r_{\mathcal{O}} := \frac{0.025V}{I_{КП} \cdot \frac{(\beta + 1)}{\beta}} \quad r_{\mathcal{O}} = 4.688 \Omega$$

$$h_{11\mathcal{O}} := r_{\mathcal{B}} + (\beta + 1) \cdot (r_{\mathcal{O}}) \quad h_{11\mathcal{O}} = 1.575 \times 10^3 \Omega \quad R_{вх_тр} := h_{11\mathcal{O}}$$

$$h_{22\mathcal{O}} := \frac{1}{\frac{(\beta + 1)}{\beta} \cdot r_{\mathcal{O}} + \frac{1}{h_{22Б} \cdot (\beta + 1)}} \quad h_{22\mathcal{O}} = 3.199 \times 10^{-5} S$$

$$h_{12\mathcal{O}} := \frac{h_{11\mathcal{O}} \cdot h_{22\mathcal{O}}}{\beta} \quad h_{12\mathcal{O}} = 3.359 \times 10^{-3}$$

Уравнение следует из уравнений h параметров транзистора

$$U_{БЭп} := (U_{КЭп}) \cdot h_{12Э} + \frac{I_{Кп}}{\beta} \cdot h_{11Э} \quad U_{БЭп} = 0.54 \text{ V}$$

С точки зрения температурной стабильности режима покоя нужно, чтобы изменение тока базы покоя $I_{Бп}$ (вследствие температурной нестабильности напряжения $U_{БЭп}$) слабо отражалось на изменении напряжения $U_{Бп}$.

Для этого требуется, чтобы токи делителя $I_{д1}$ и $I_{д2}$, протекающие через резисторы $R_{д1}$ и $R_{д2}$ превышали ток $I_{Бп}$. Однако при условии $I_{д1}$ и $I_{д2}$ во много раз больше $I_{Бп}$ сопротивления $R_{д2}$ и $R_{д1}$ получаются малыми и оказывают сильное шунтирующее действие на входную цепь транзистора. Поэтому при расчете элементов входного делителя токи $I_{д1}$ и $I_{д2}$ принимаются равными $2..4 \cdot I_{Бп}$

$$I_{д2} := 2.17 \cdot I_{Бп} \quad I_{д2} = 7.233 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$R_{д2} := \frac{U_{ос.} + U_{БЭп}}{I_{д2}} \quad R_{д2} = 3.341 \times 10^3 \Omega$$

Примем согласно рядом сопротивлений

$$R_{д2} := 3.3 \times 10^3 \Omega$$

$$I_{д2} := \frac{U_{ос.} + U_{БЭп}}{R_{д2}} \quad I_{д2} = 7.324 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$R_{д1} := \frac{E_{п} - U_{ос.} - U_{БЭп}}{I_{д2} + I_{Бп}} \quad R_{д1} = 6.177 \times 10^3 \Omega$$

Примем согласно рядом сопротивлений

$$R_{д1} := 6.2 \times 10^3 \Omega$$

Рабочий режим $e_{вх} \neq 0$.

8. В этом режиме рассчитываются параметры остальных элементов схемы с использованием физической эквивалентной схемы замещения каскада усиления для низких и средних частот.

Представленные соотношения справедливы, если на частоте рабочего сигнала обеспечиваются условия:

$$X_{C1} = X_{C2} \approx 0 \quad X_{CЭп} \ll R_{Эп}$$

Величина эквивалентного сопротивления базовой цепи R_6 и выходное сопротивление каскада $R_{\text{вых.ус}}$ для переменной составляющей входного тока

$$R_6 = 2.154 \times 10^3 \Omega$$

$$R_{\text{вых.ус}} := R'_H$$

$$R_{\text{вых.ус}} = 407.767 \Omega$$

Далее находим входное сопротивление транзистора с обратной связью $R_{\text{вх.тр.ОС}}$ и входное сопротивление каскада $R_{\text{вх.ус}}$, причем необходимо соблюдать условие $R_{\text{вх.ус}} \geq 10 \cdot R_H$:

$$R_{\text{вх.тр.ОС}} := h_{11Э} + R_Э \cdot (\beta + 1)$$

$$R_{\text{вх.тр.ОС}} = 1.927 \times 10^3 \Omega$$

$$R_{\text{вх.ус}} := \frac{R_{\text{вх.тр.ОС}} \cdot R_6}{R_{\text{вх.тр.ОС}} + R_6}$$

$$R_{\text{вх.ус}} = 1.017 \times 10^3 \Omega$$

9. Определим полученный коэффициент усиления по напряжению для каскада $K_{\text{Уус}}$ и транзистора $K_{\text{Утр}}$, если эти коэффициенты приблизительно не равны необходимо брать транзистор с большим β .

Определим амплитуду напряжения на входе усилителя $U_{\text{вхм}}$:

$$U_{\text{вхм}} := \frac{E_m \cdot R_{\text{вх.ус}}}{R_H + R_{\text{вх.ус}}}$$

$$U_{\text{вхм}} = 0.455 \text{ V}$$

$$R_6 := \frac{R_{д1} \cdot R_{д2}}{R_{д1} + R_{д2}}$$

$$K_{\text{Уус1}} := \frac{U_{\text{н.м}}}{U_{\text{вхм}}}$$

$$K_{\text{Уус1}} = 3.295$$

$$K_{\text{Утр}} := \frac{\beta \cdot R'_H}{R_{\text{вх.тр.ОС}}}$$

$$K_{\text{Утр}} = 3.174$$

10. Определим коэффициент усиления по току

$$K_{\text{Iус}} := \frac{\beta \cdot R_6}{R_6 + R_{\text{вх.тр.ОС}}}$$

$$K_{\text{Iус}} = 7.917$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_{Pyc} := K_{Uyc} \cdot K_{Iyc} \quad K_{Pyc} = 23.75$$

$$i_B := \frac{U_{Bxm}}{R_{Bx.тр.OC}}$$

$$\beta_{AC} := \frac{\Delta I_{Km}}{i_B} \quad \beta_{AC} = 15.571$$

Блок вычислений необходимый для построения в координатах входных параметрах транзистора

$$E_m = 0.5 V$$

$$U_{Bxm} = 0.455 V$$

$$U_{BЭ1} := (I_{Bп} - i_B) \cdot h_{11Э} + (U_{КЭп}) \cdot h_{12Э} \quad U_{BЭ1} = 0.167 V$$

$$U_{BЭ2} := (I_{Bп} + i_B) \cdot h_{11Э} + (U_{КЭп}) \cdot h_{12Э} \quad U_{BЭ2} = 0.912 V$$

$$\frac{U_{BЭ2} - U_{BЭ1}}{2} = 0.372 V$$

$$R_{Э} \cdot (\beta + 1) \cdot i_B = 0.083 V$$

$$R_{Э} \cdot (\beta + 1) \cdot \frac{U_{Bxm}}{R_{Bx.тр.OC}} + \frac{U_{BЭ2} - U_{BЭ1}}{2} = 0.455 V$$

$$I_p(U_p) := \frac{U_p \cdot V - (U_{КЭп}) \cdot h_{12Э}}{h_{11Э}}$$

$$ii_B(wt) := I_{Bп} + i_B \cdot \sin\left(\frac{wt}{0.025}\right)$$

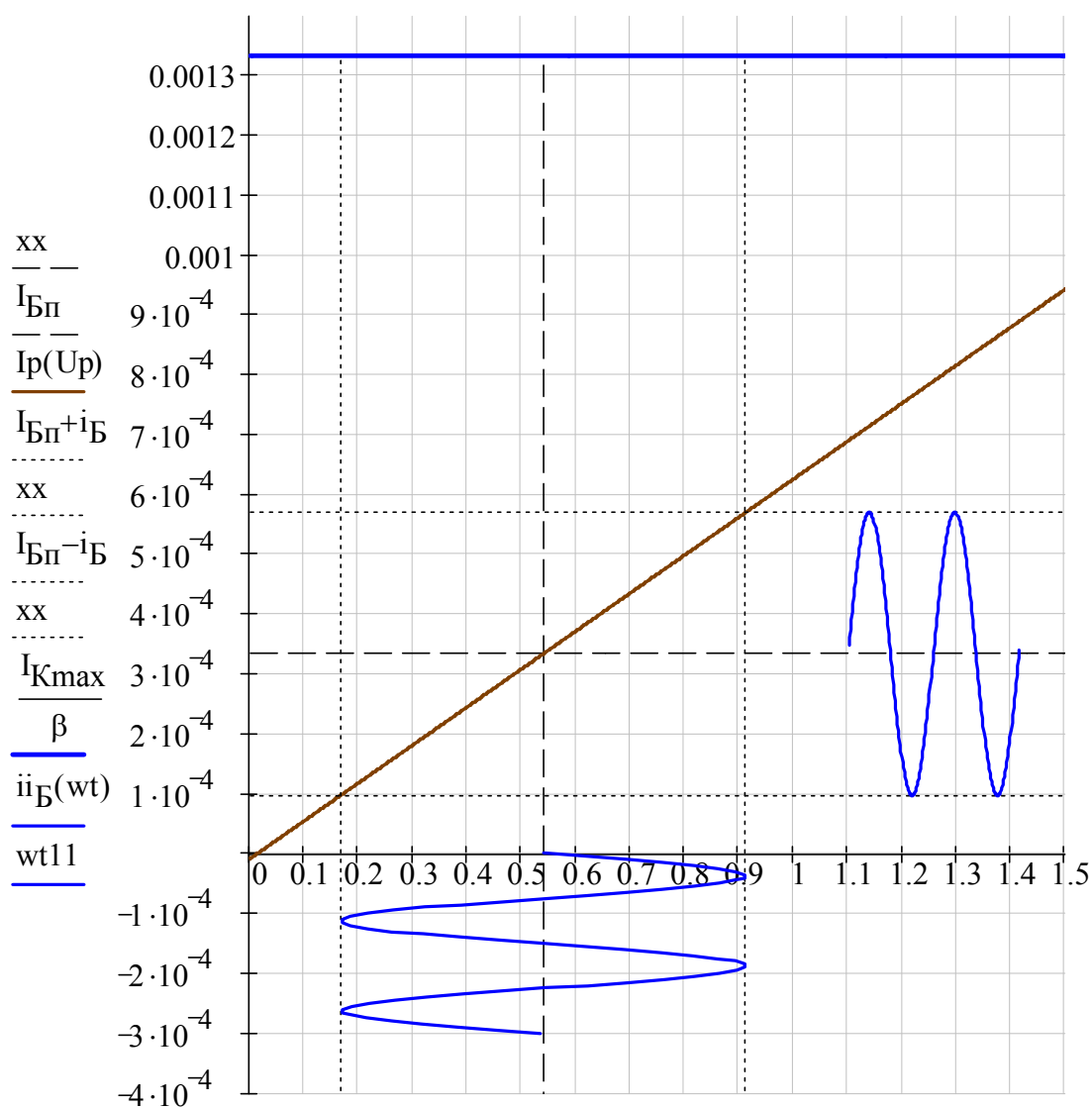
$$ii_B(wt) := \begin{cases} I_{Bп} + i_B \cdot \sin\left(\frac{wt}{0.025}\right) & \text{if } 1.1 \leq wt < 1.415 \\ 0 & \text{if } -6.28 \leq wt < -12 \end{cases}$$

$$\text{uu}_{\text{BX}}(\text{wt11}) := U_{\text{B}\Theta\Pi} - U_{\text{BXm}} \cdot \sin\left(\frac{\text{wt11}}{0.005}\right)$$

$$\text{uu}_{\text{BX}}(\text{wt11}) := \begin{cases} U_{\text{B}\Theta\Pi} - \frac{U_{\text{B}\Theta 2} - U_{\text{B}\Theta 1}}{2} \cdot \sin\left(\frac{\text{wt11}}{0.0000239}\right) & \text{if } -0.00042 \leq \text{wt11} < 0 \\ U_{\text{B}\Theta\Pi} & \text{if } 0 \leq \text{wt11} < 0.0000000025 \end{cases}$$

$$x_x := -\left(\frac{I_{Kmax}}{\beta \cdot A}\right), -0.000001.. \frac{I_{Kmax}}{\beta \cdot A}$$

Up := 0, 0.0005.. 1.5 wt11 := -0.0003, -0.000295.. 0


$$U_{B\bar{A}II}, yp, Up, yp, U_{B\bar{A}I}, yp, U_{B\bar{A}2}, yp, wt, uu_{BX}(wt11)$$

11. Определим параметры конденсаторов

$$f := 1 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$C1 := \frac{1}{f \cdot (R_{\text{ВХ.УС}} + R_{\text{И}})} \quad C1 = 8.952 \times 10^{-7} \text{ F}$$

$$C2 := \frac{1}{f \cdot (R_{\text{И}} + R_{\text{Н}})} \quad C2 = 6.25 \times 10^{-7} \text{ F}$$

$$C_{\text{ЭП}} := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\text{ЭП}} \cdot 100} \quad C_{\text{ЭП}} = 4.823 \times 10^{-9} \text{ F}$$

Примем согласно рядам

$$C1 := 1 \cdot 10^{-6} \cdot \text{F} \quad C2 := 1 \cdot 10^{-6} \cdot \text{F} \quad C_{\text{ЭП}} := 5.1 \cdot 10^{-9} \cdot \text{F}$$

12. Определим КПД каскада

$$P_{\text{П}} := (I_{\text{Д2}} + I_{\text{БП}} + I_{\text{КП}}) \cdot E_{\text{П}} \quad P_{\text{П}} = 0.055 \text{ W}$$

$$P_{\text{ВЫХ}} := \frac{U_{\text{Н.м}}^2}{2 \cdot R_{\text{Н}}} \quad P_{\text{ВЫХ}} = 7.5 \times 10^{-4} \text{ W}$$

$$\eta := \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{П}}} \cdot 100 \quad \eta = 1.374$$

13. Коэффициент неустойчивости работы каскада

$$\gamma := \frac{RR_{\text{ЭЭП}}}{RR_{\text{ЭЭП}} + \frac{R_{\text{Д1}} \cdot R_{\text{Д2}}}{R_{\text{Д1}} + R_{\text{Д2}}}}$$

$$S := \frac{1 + \beta}{1 + \beta \cdot \gamma} \quad S = 5.149$$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Брятов, А. С. Информационно-измерительная техника и электроника : учеб. пособие / А. С. Брятов, В. А. Данилушкин ; Самар. гос. технический ун-т. - Самара : СГТУ, 2008. - 101 с. : ил. - Библиогр.: с. 101. - ISBN 978-5-7964-1113-1, экземпляров неограничено

2. Информационно-измерительная техника и электроника : учебник / [Г.Г. Раннев, В.А. Суроги́на, В.И. Калашников и др.] ; под ред. Г.Г. Раннева. - 2-е изд., стер. - М. : Академия, 2007. - 512 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование). - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр.: с. 505-506. - ISBN 978-5-7695-4535-1, экземпляров 14

3. Данилов, М. И. (СКФУ). Информационно-измерительная техника и электроника : учеб. пособие : Направление подготовки 140400.62 - Электроэнергетика и электротехника. Профиль подготовки - Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем, Электроснабжение, Электроэнергетические системы и сети. Бакалавриат / М. И. Данилов, И. Г. Романенко, В. А. Мамаев ; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь : СКФУ, 2014. - 336 с., экземпляров неограничено.

Дополнительная литература

4. Информационно-измерительная техника и электроника : учебник / [Г.Г. Раннев, В.А. Суроги́на, В.И. Калашников и др.] ; под ред. Г.Г. Раннева. - М. : Академия, 2006. - 512 с. : ил. - (Высшее профессиональное образование). - На учебнике гриф: Доп.МО. - Библиогр.: с. 505-506. - ISBN 5-7695-2221-6, экземпляров 2

5. Информационно-измерительная техника и технологии : [учебник] / В.И. Калашников, С.В. Нефедов, А.Б. Путилин и др. ; под ред. Г.Г. Раннева. - М. : Высшая школа, 2002. - 454 с. : ил. - На учебнике гриф: Рек.МО. - Библиогр.: с. 450-452. - ISBN 5-06-004071-2, экземпляров 5

6. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров ; под ред. Н. Н. Евтихийев. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 350 с. - Гриф: Рек. МО для специальности "Информационно-измерительная техника". - Библиогр.: с. 348. - ISBN 5-283-00624-7, экземпляров неограничено