

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

**Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине "Цифровая метрология"**
Направление подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология
Профиль подготовки «Стандартизация, метрология и управление качеством»

РАЗРАБОТАНО:

Доцент кафедры АЭСиЭ Данилов М.И.,

Ставрополь
2026

Содержание

Практическое занятие 1	5
Тема: Расчет двухполупериодного выпрямителя	5
Практическое занятие 2.....	9
Тема: Определение показаний цифровых амперметров и амперметров с выпрямительной схемой на входе в цепях несинусоидального тока	9
Практическое занятие 3.....	13
Тема: Расчет делителей напряжения и их использование при измерениях.....	13
Практическое занятие 4.....	21
Тема: Определение измерительных шунтов и добавочных сопротивлений для расширения диапазона измерений	21
Практическое занятие 5	27
Тема: Определение показаний вольтметров с преобразователями, реагирующими на различные параметры входного напряжения в цепях несинусоидального тока	27
Практическое занятие 6.....	35
Тема: Определение показаний магнитоэлектрических, электромагнитных и электродинамических вольтметров в цепях несинусоидального тока.....	35
Практическое занятие 7.....	37
Тема: Определение показаний электродинамических ваттметров в цепях несинусоидального тока	37
Практическое занятие 8	41
Тема: Измерение сопротивления, емкости и индуктивности.....	41
Практическое занятие 9.....	46
Тема: Измерения осциллографом и определение параметров сигнала на их основе.....	46
Практическое занятие 10.....	51
Тема: Расчет положения рабочей точки усилителя переменного напряжения	51
Практическое занятие 11.....	57

Тема: Расчет преобразователей на базе операционных усилителей	57
Практическое занятие 12	60
Тема: Основы алгебры логики и примеры ее использования при расчетах в энергосистемах.....	60
Практическое занятие 13	65
Тема: Позиционные системы исчисления.....	65
Практическое занятие 14.....	68
Тема: Режимы работы триггеров	68
Практическое занятие 15	74
Тема: Цифровые устройства: дешифраторы, регистры, счетчики	74
Практическое занятие 16.....	78
Тема: АЦП, ЦАП, микропроцессоры и микро ЭВМ.....	78
Список рекомендуемой литературы	87

Тема: Расчет двухполупериодного выпрямителя

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-18, ПК-45

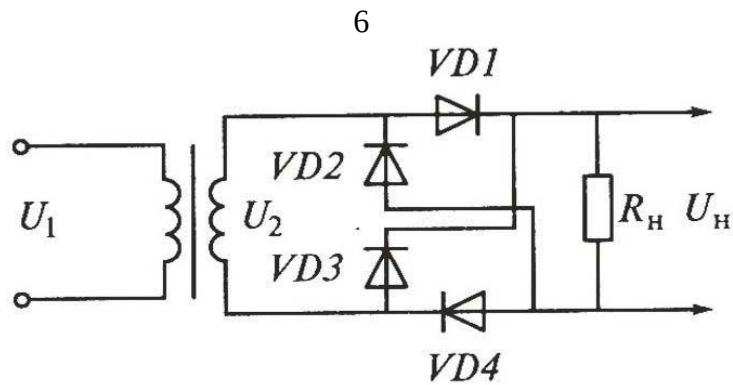
1. Теоретическая часть

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.

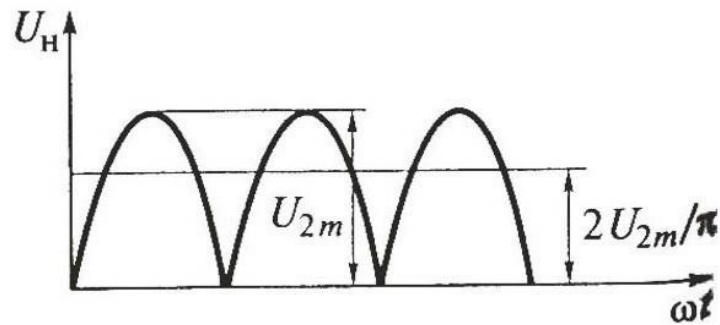
Наибольшее распространение получил *двухполупериодный мостовой выпрямитель* (рисунок 3.1а). Он состоит из трансформатора и четырех диодов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора по мостовой схеме. К одной из диагоналей моста подсоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой – нагрузочный 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.



a)



б)

Рисунок 3.1

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

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

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

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

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

Максимальный прямой ток диода

$$I_{VD \text{ макс}} = \frac{U_2}{R_H} \cdot \frac{\pi \cdot U_H}{2 \cdot R_H} \approx \frac{1.57 \cdot U_{H \text{ ср}}}{R_H}.$$

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

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

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

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 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 $U_{2m} = 282 \text{ В}$.

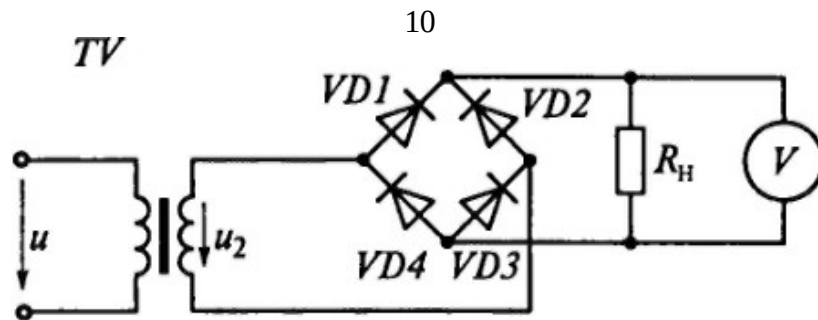


Рисунок 3.2

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

3. Определить ток $I_{H\text{ ср}}$ 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 2

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

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-20

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:

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

При измерении несинусоидального напряжения ЦМ обычно показывает действующее значение несинусоидального напряжения, структура выражения которого соответствует выражению (1.6), но при этом не учитывается постоянная 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 $u(t) = (12 + 50 \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t))$ 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

$I_m = 28 \text{ мА}$ частотой $f = 50 \text{ Гц}$.

Решить задачу при токе указанном на рисунке 4.2 а.

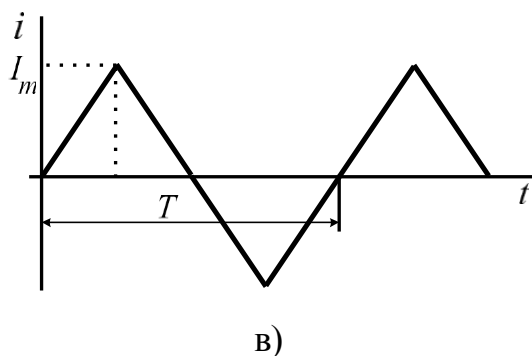
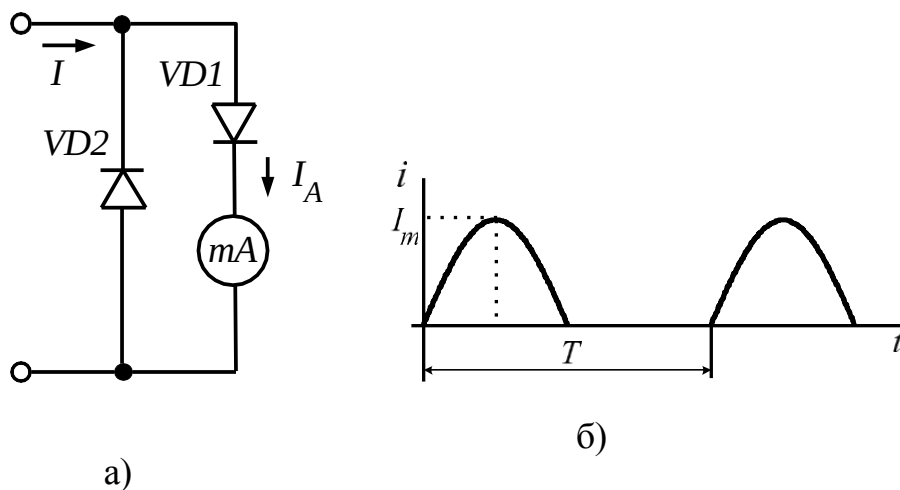
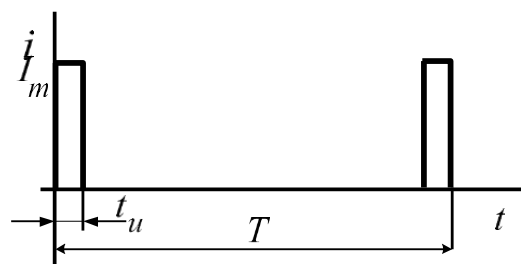
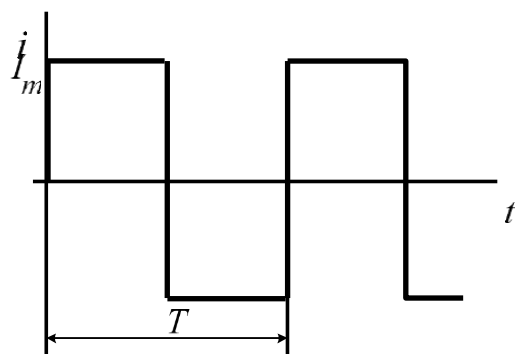


Рисунок 4.1

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

$I_m = 100 \text{ мА}$ длительностью

$t_{\text{и}} = 10 \text{ мкс}$ и периодом повторения $T = 1 \text{ мс}$.



а)

б)

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 3

Тема: Расчет делителей напряжения и их использование при измерениях

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-12

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.

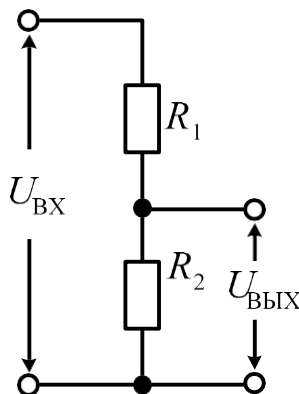


Рисунок 5.1

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:

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

$$2. \text{ Ток замкнутой накоротко цепи: } I_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1 + R_2}$$

Тогда эквивалентная схема представляет собой источник напряжения $U_{\text{ЭКВ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, 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.

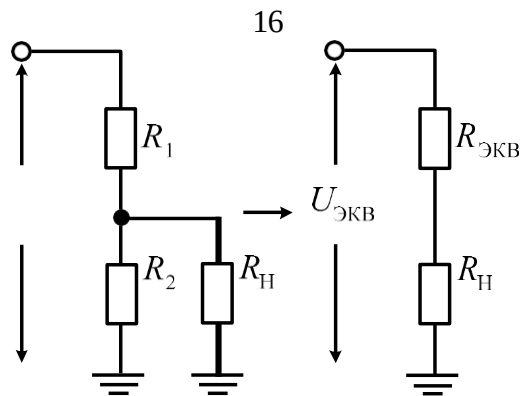


Рисунок 5.2

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 $R_n \gg R_{n \text{ внутр}}$, 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.

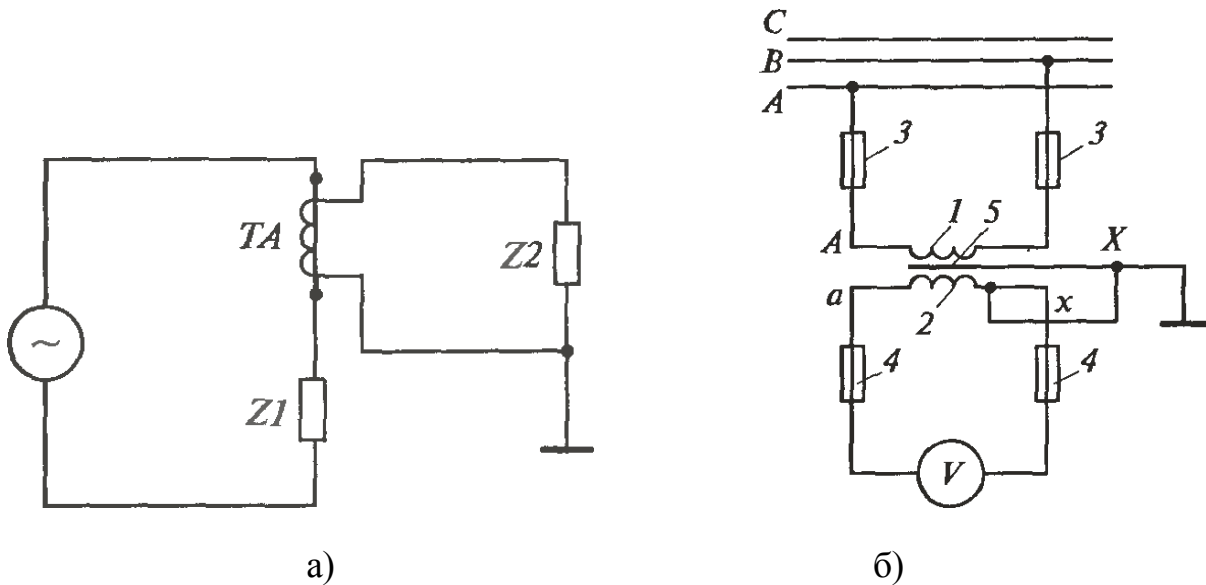


Рисунок 5.3

Стационарные измерительные трансформаторы переменного тока имеют следующие эксплуатационные характеристики: частота 50 Гц; номинальное напряжение $U_{1\text{ном}}$ трансформаторов напряжения – от 0,38 до 750 кВ, вторичное напряжение $U_{2\text{ном}}$ – 150; 100; $100\sqrt{3}$ В; классы точности трансформаторов напряжения – 0,05; 0,01; 0,2; 0, 5; 1,0; 3,0; номинальный первичный ток $I_{1\text{ном}}$ трансформаторов тока – 1 А...40 кА, номинальный вторичный ток $I_{2\text{ном}}$ – 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 5А 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, $U_{вх} = 30$ В, $R_1 = R_2 = 10$ 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_n 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 $C_V = 6$ пФ, емкость параллельно включенного конденсатора $C_1 = 374$ пФ.

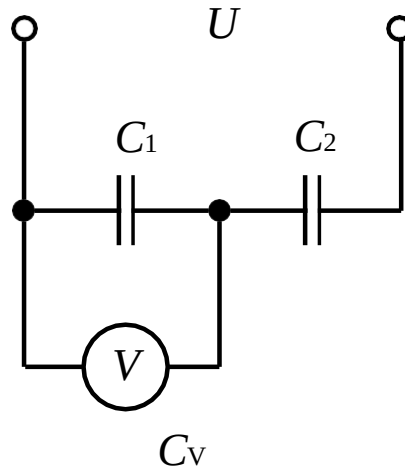


Рисунок 5.4

5. Определить входную емкость электростатического вольтметра с емкостным делителем, используемого для измерения высокого напряжения, если $C_V = 4$ пФ, $C_1 = 40$ пФ, $C_2 = 20$ 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 4

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

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-17

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 $R_{ш}$ решается вопрос расширения пределов измерения амперметра μA (рисунок 6.1 а). Выпускаемые промышленностью шунты имеют такое сопротивление $R_{ш}$, чтобы падение напряжения на нем от номинального тока

шунта $I_1 = I_{1\text{ш}}$ равнялось 75 мВ, т. е. было равно $U_{\text{ш}} = I_{1\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}} = 75 \text{ мВ}$.

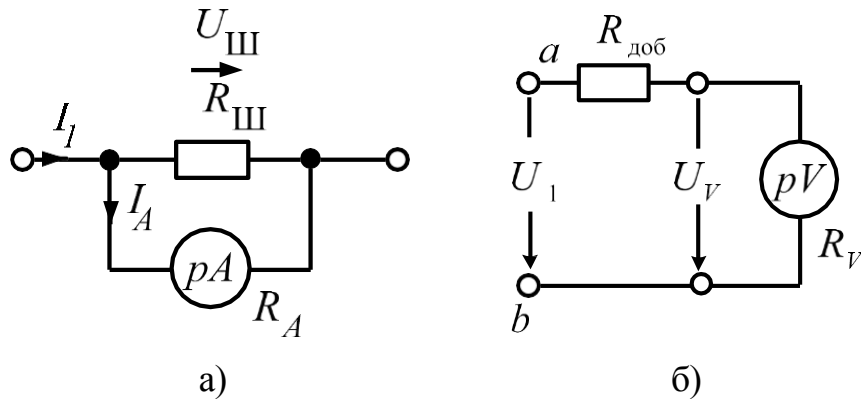


Рисунок 6.1

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

Измерительные трансформаторы²⁵ 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.

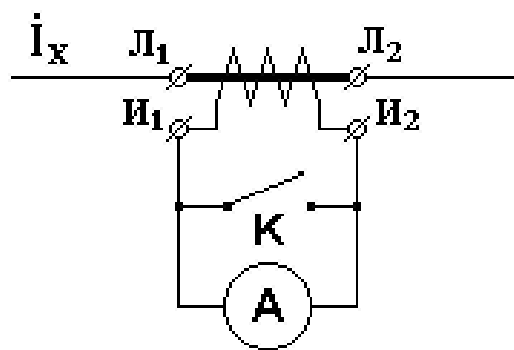


Рисунок 6.2

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 K .

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 $I_A = 5$ мА: внутренним сопротивлением $R_A = 15$ Ом до значений $I_1 = 100$ мА, $I_2 = 5$ А.

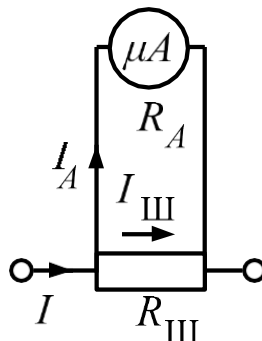


Рисунок 6.2

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 $I_A = 50$ мкА, внутренним сопротивлением $R_A = 1.0$ кОм. Значения сопротивлений резисторов ступенчатого шунта $R_1 = 0.9$ Ом, $R_2 = 0.1$ Ом.

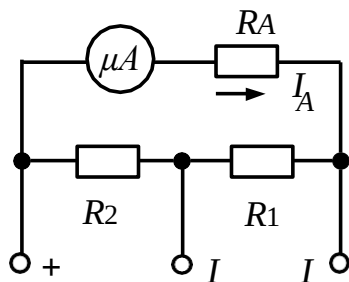


Рисунок 6.3

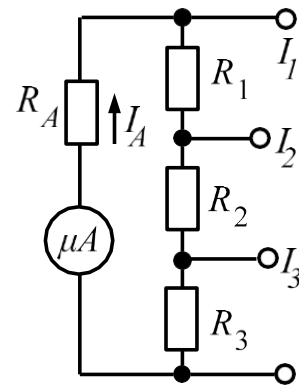


Рисунок 6.4

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 5

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

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-12

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.

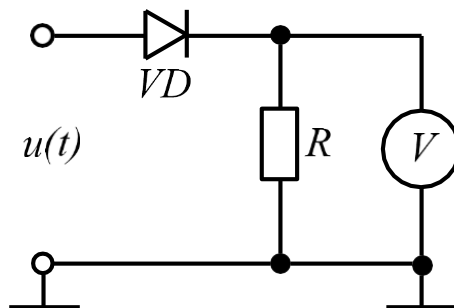


Рисунок 7.1

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

$$U_R^0 = \frac{U}{\pi} = \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 4,5 \text{ В.}$$

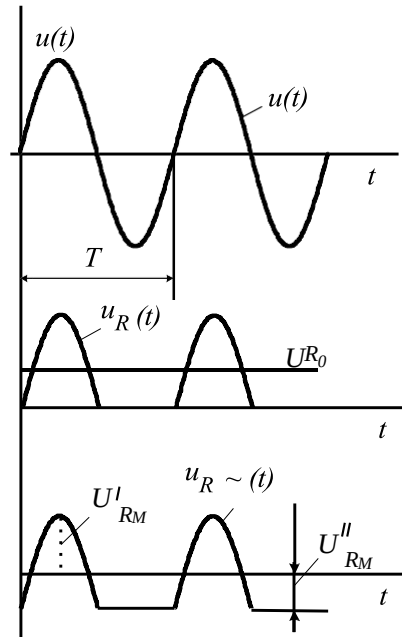


Рисунок 7.2

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

$$\alpha V' = \frac{U_{R'}^m}{\sqrt{2}} = \frac{U_R - U_R^0}{\sqrt{2}} = \frac{10 \cdot \sqrt{2} - 10 \cdot \sqrt{2} / 3,14}{\sqrt{2}} = 6,8 \text{ В.}$$

В формуле учтено, что преобразователь реагирует только на максимальное значение U_{Rm}' 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

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

Пример 2. Определить максимальное U_m , среднеквадратичное U значения напряжения импульса по показанию $\alpha v' = 20$ 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 $t_{\text{и}} = 1$ мкс и периодом следования $T = 100$ 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 $U_m' = U_m - U_0 = U_m \cdot \frac{t_{\text{и}}}{T} = 20 \cdot \sqrt{2} \approx 28,2$ В – максимальное

значение переменной составляющей.

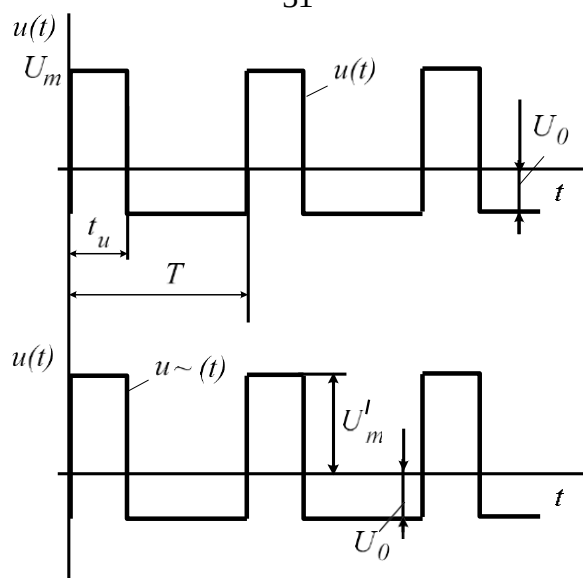


Рисунок 7.3

Максимальное значение измеряемых импульсов

$$U_m = U_m \cdot \left| \frac{t_u}{T - t_u} \right| = 28,2 \cdot \frac{100}{100 - 1} = 28,5 \text{ В.}$$

t

Среднее значение импульса (постоянная составляющая)

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

Среднеквадратичное значение импульса

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_u} u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_u} (U_m)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (U_m)^2 \cdot \left[(t) \right]_0^{t_u}} = U_m \cdot \sqrt{\frac{t_u}{T}}.$$

Коэффициент амплитуды импульса $K_a = \sqrt{\frac{t_u}{T}}.$

По показаниям вольтметра среднеквадратичное значение импульса

$$U_{\alpha_V} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left| \frac{T}{t_u} \right| \right)^{1/2} \cdot \sqrt{\frac{1}{100}} = 20 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{100}{100 - 1} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{\frac{1}{100}} = 2,857 \text{ В.}$$

Пример 3. Определить показания α_v^{32} вольтметра типа (ВЗ-42), если на его

вход подана периодическая последовательность прямоугольных импульсов (рисунок 7.3) с максимальным значением $U_m = 141 \text{ В}$, частотой следования $f = 10 \text{ кГц}$, длительностью $t_{\text{и}} = 1 \text{ мкс}$. 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):

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

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

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

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 $U_m = 141 \text{ В}$, частота следования $f = 100 \text{ кГц}$, длительность $t_{\text{и}} = 1 \text{ мкс}$. 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

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

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

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

2. Задачи

1. Определить показания α_V вольтметра типа ВЗ-44, если на его вход

35
подано напряжение формы «меандр» (см. рисунок 7.4) с Максимальным

значением $U_m = 100 \text{ В}$. Чему равно среднеквадратичное U значение напряжения?

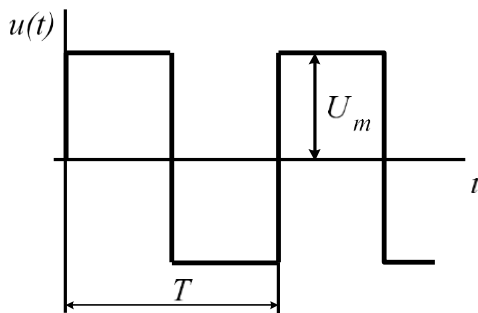


Рисунок 7.4

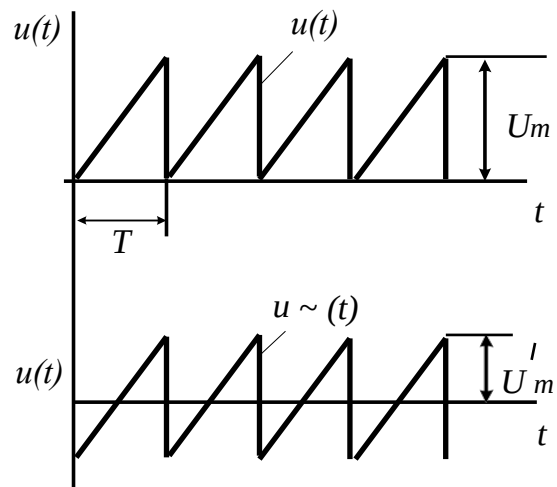


Рисунок 7.5

2. Определить показания вольтметров типов В4-8 и В4-12, если на их входы поочередно подано пилообразное напряжение (Рисунок 7.5), максимальное значение которого $U_m = 100 \text{ В}$. 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 $U_m = 141 \text{ В}$, частота сигнала $f = 50 \text{ Гц}$. 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.

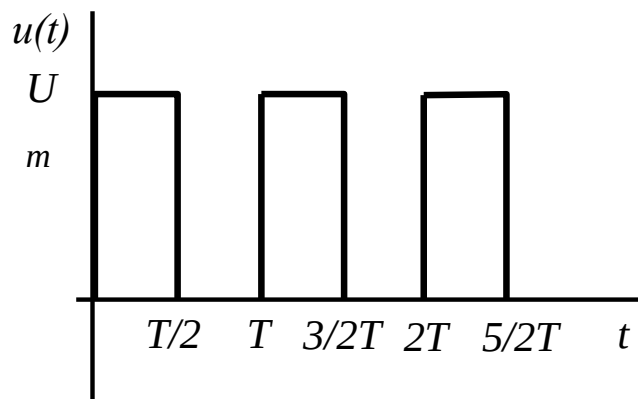


Рисунок 7.6

Вопросы к практическому занятию

1. Что означает закрытый или открытый вход вольтметра?
2. Каким способом представляются 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 6

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

Цель: Формирование у студента компетенций ПК-10, ПК-12

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.

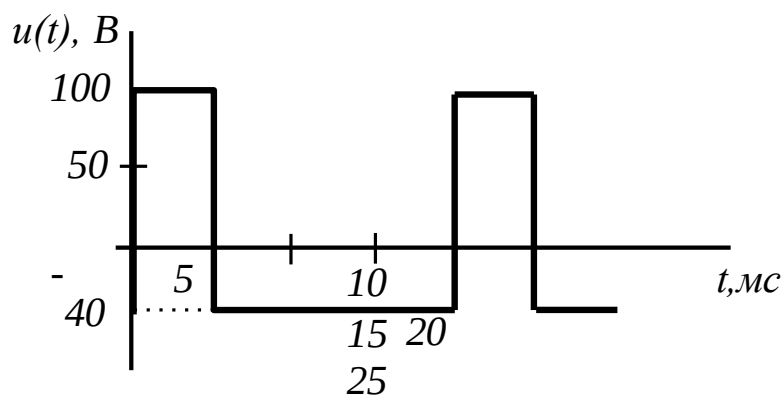


Рисунок 8.1

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

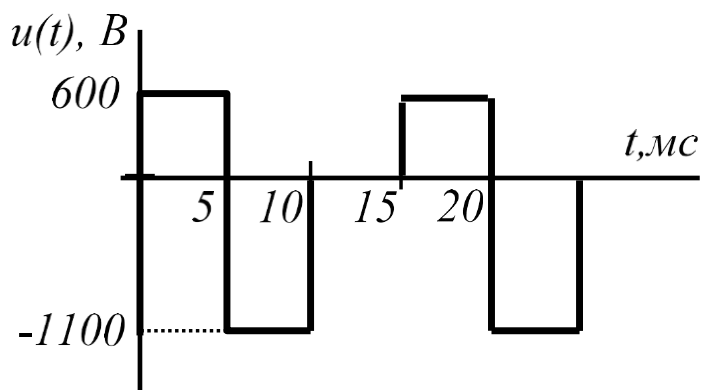


Рисунок 8.2

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

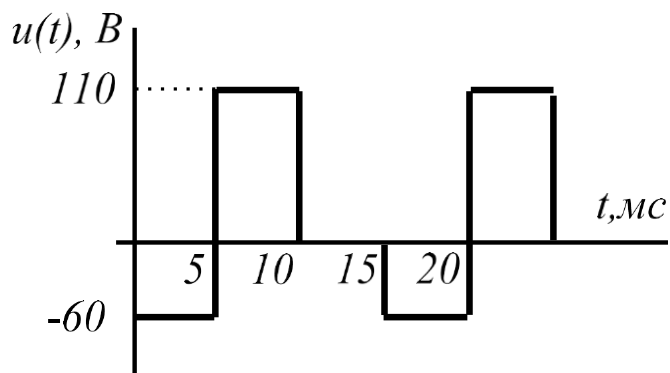


Рисунок 8.3

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 7

Тема: Определение показаний электродинамических ваттметров в цепях несинусоидального тока

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-10, ПК-12

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.

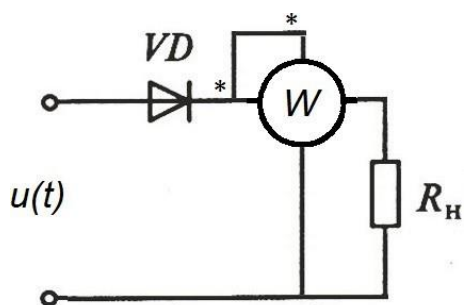


Рисунок 9.1

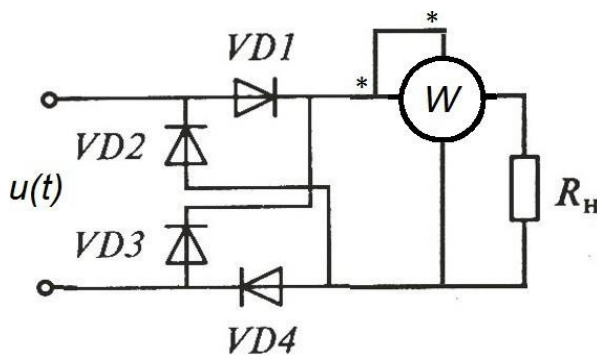


Рисунок 9.2

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.

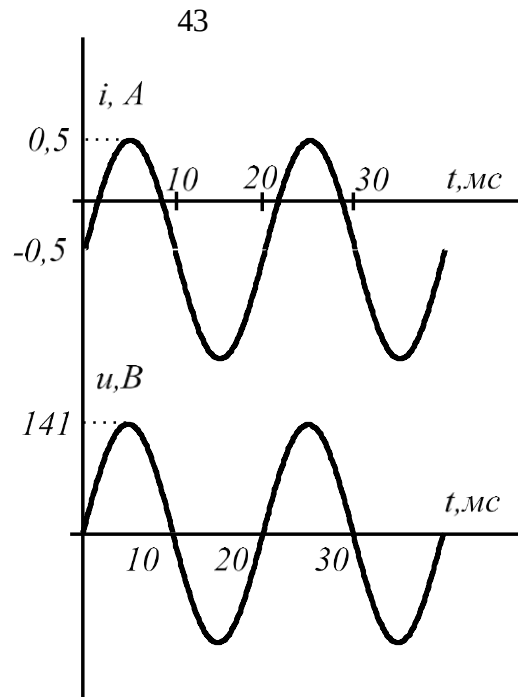


Рисунок 9.3

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 ПК-10, ПК-12

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 .

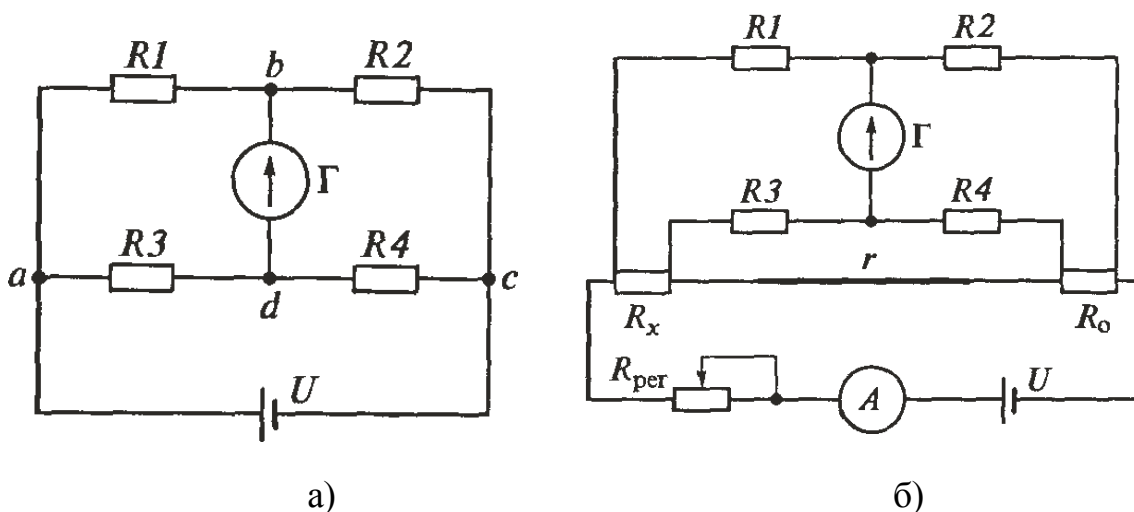


Рисунок 10.1

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

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

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).

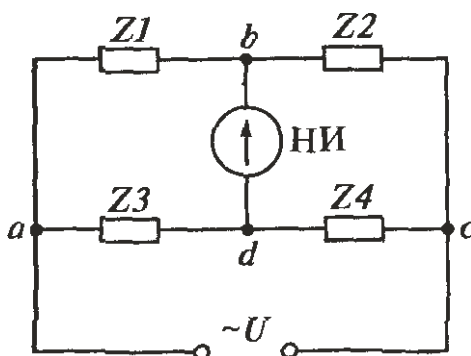


Рисунок 10.2

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 $\gamma_{\text{отн}} = 2\%$.

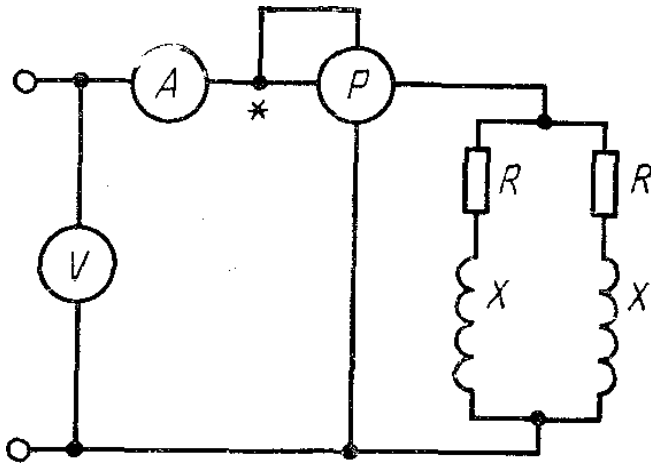


Рисунок 10.3

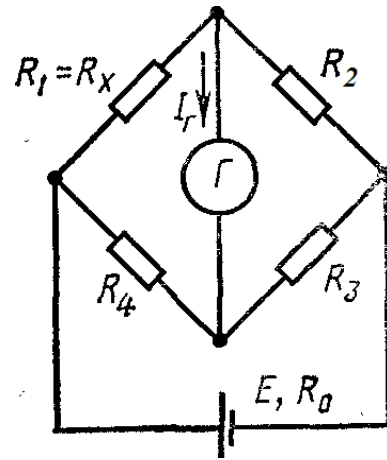


Рисунок 10.4

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 $R_4 = 850 \text{ Ом}$.

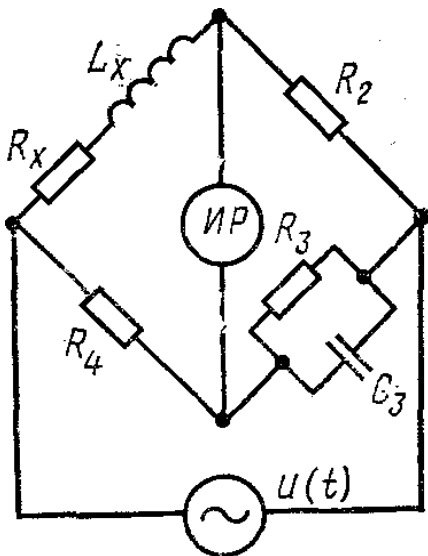


Рисунок 10.5

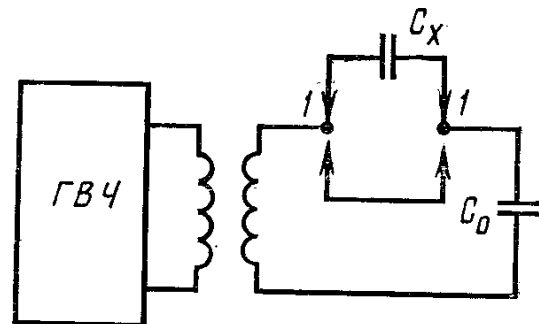


Рисунок 10.6

4. Определить емкость C_x конденсатора, измеряемую по схеме рисунок 10.6. Измерение осуществляется настройкой контура в резонанс: а) при закороченных зажимах 1–1 ($C_{o1} = 480$ пФ); б) при подключении к зажимам 1–1 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 9

Тема: Измерения осциллографом и определение параметров сигнала на их основе

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-45

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).

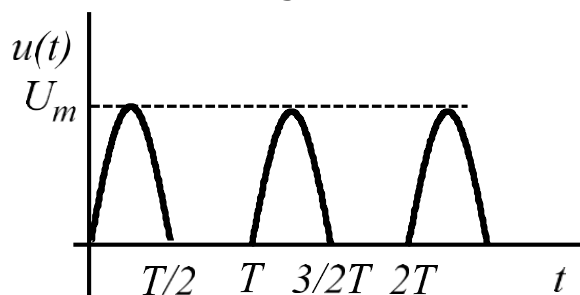


Рисунок 11.1

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 .

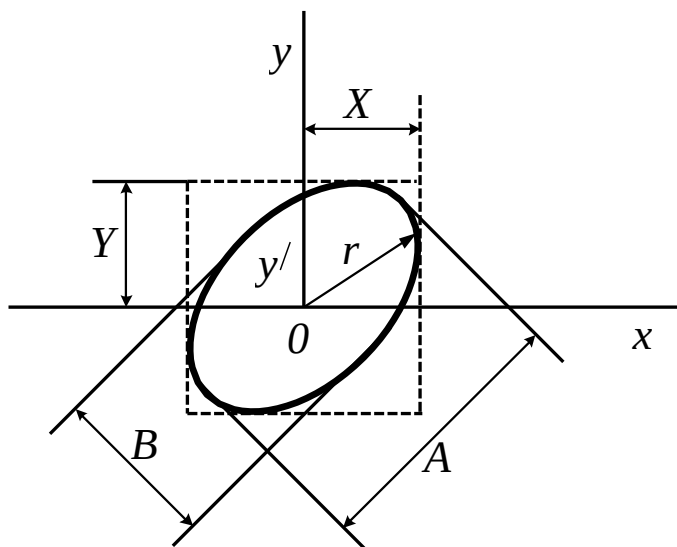


Рисунок 11.2

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 $r(\omega \cdot t)$:

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

$$\frac{d}{d(\omega \cdot t)} \left(\frac{r}{X} \right)^2 = 0$$

Длины большой и малой осей:

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

$$\sqrt{2}; \left(\frac{2}{\sqrt{2}} \right)^2 = 2; \left(\frac{A}{B} \right)^2 = \cos^2\left(\frac{\psi}{2}\right) / \sin^2\left(\frac{\psi}{2}\right)$$

$$\text{Угол сдвига фаз } \psi \text{ определим из условия } \operatorname{tg} \left(\frac{A}{B} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ или } \psi = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right).$$

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 $D_p = 1 \text{ мкс/дел.}$

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).

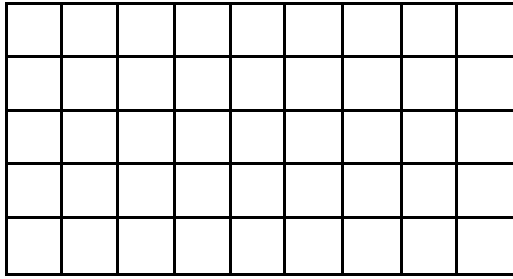


Рисунок 11.3

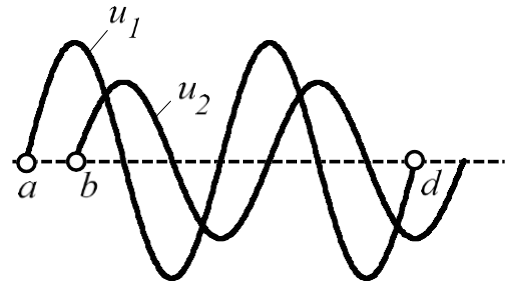


Рисунок 11.4

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.

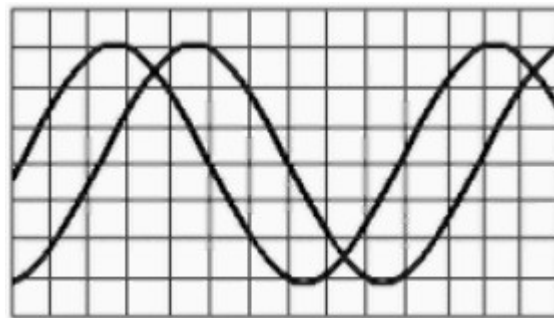


Рисунок 11.5

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 – $f_1 = 150$ 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 10

Тема: Расчет положения рабочей точки усилителя переменного напряжения

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-19

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 $U_{\text{ВЫХ ХХ}}$, и после включения на выход усилителя известного сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$:

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

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 встретиться сочетание вида $\beta + 1$, то можно принять, что $\beta + 1 \approx \beta$.

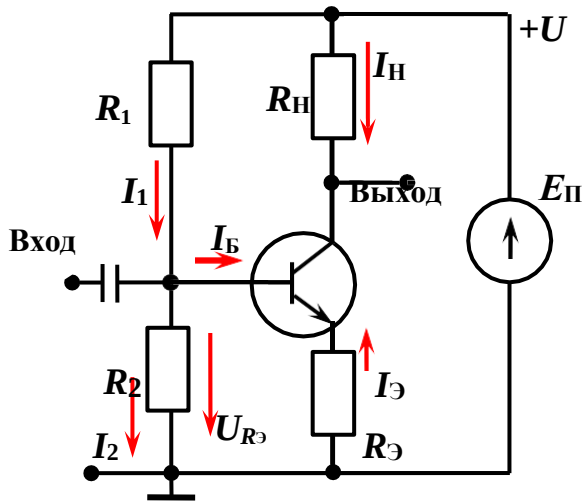


Рисунок 12.1

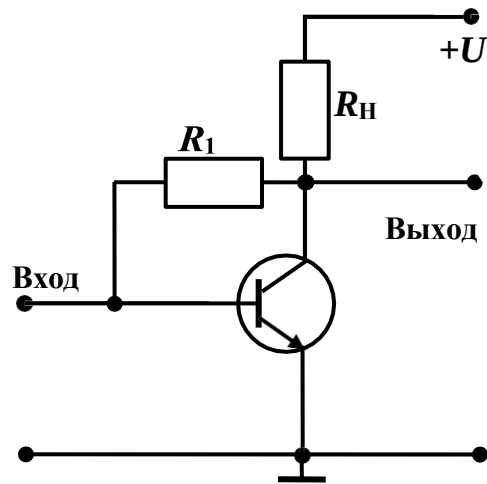


Рисунок 12.2

2. Для схемы на рисунке 12.2 определить ток коллектора I_K и напряжение $U_{КЭ}$, 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?

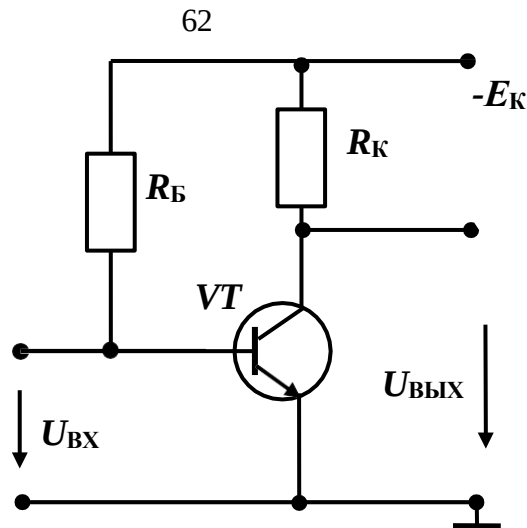


Рисунок 12.3

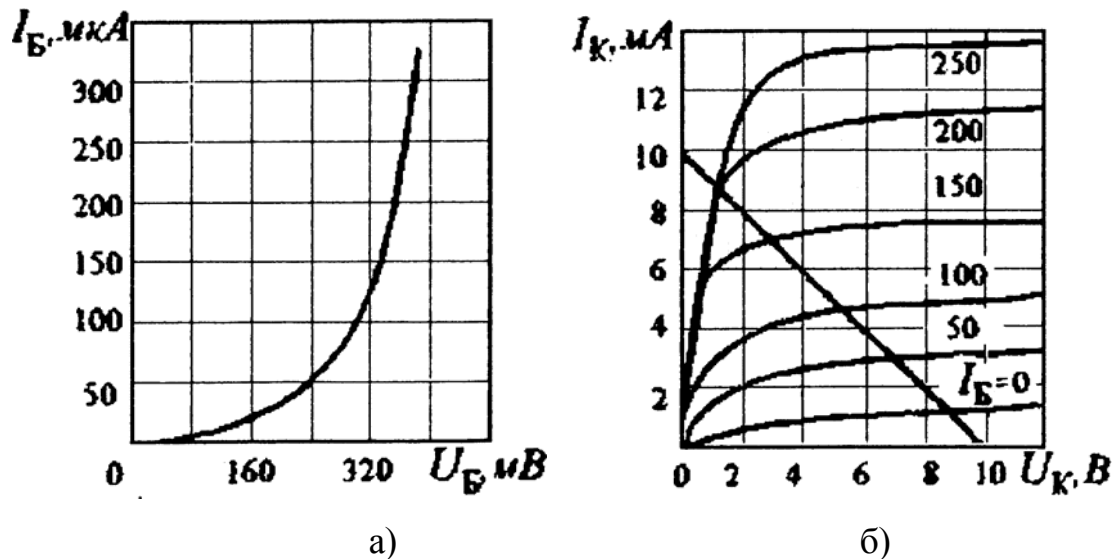


Рисунок 12.4

4. Что собой представляют входные и выходные характеристики транзистора?
5. В чем заключается расчет усилителя на транзисторе по переменному току?
6. Какие методы расчета усилителя на транзисторе вам известны?
7. Назовите основные достоинства и недостатки различных методов расчета усилителей на транзисторе.
8. Что означает определить положение рабочей точки усилителя на транзисторе?

Тема: Расчет преобразователей на базе операционных усилителей

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-19

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.

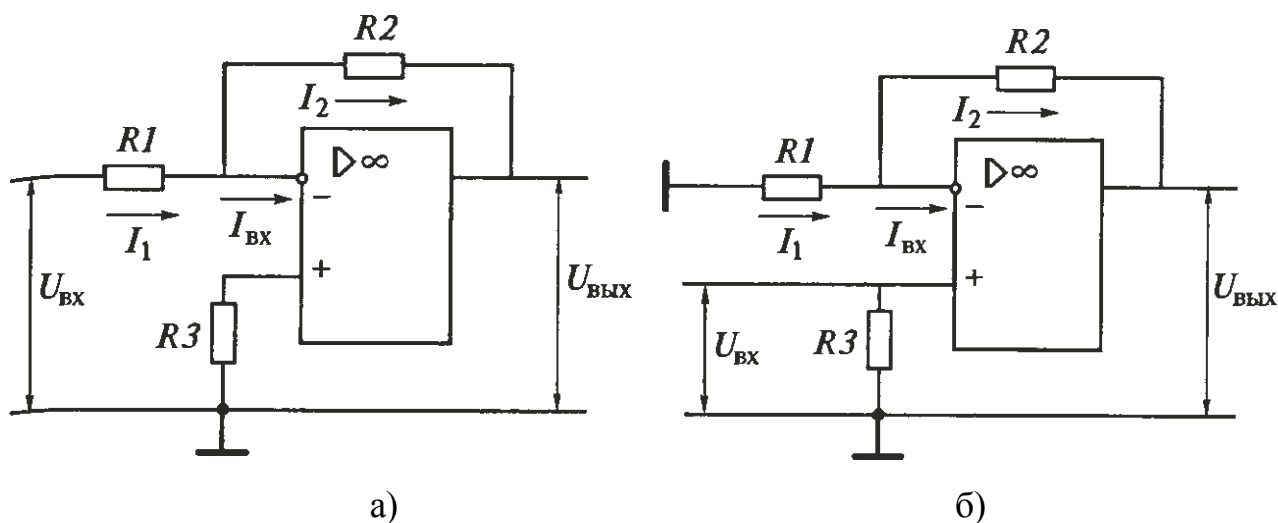


Рисунок 13.1

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 $K = 1$.

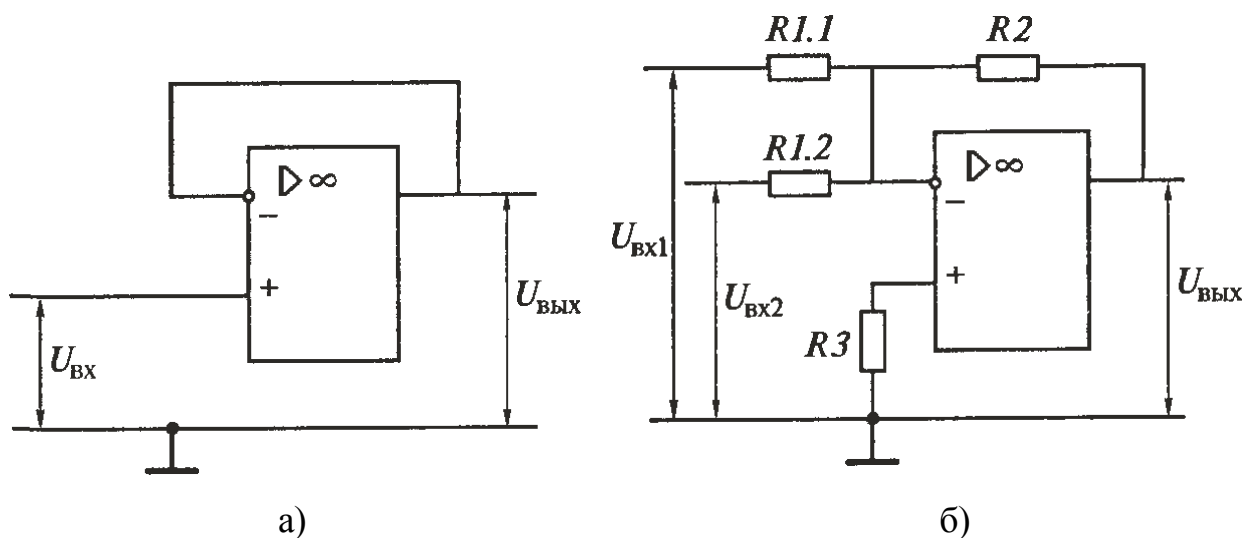


Рисунок 13.2

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 $R_{вх\text{ сумм}} \approx R1$, выходное сопротивление $R_{вых\text{ сумм}} \approx R_{вых} / 2$.

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 12

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

Цель: Формирование у студента компетенций ПК-38, ПК-45

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.

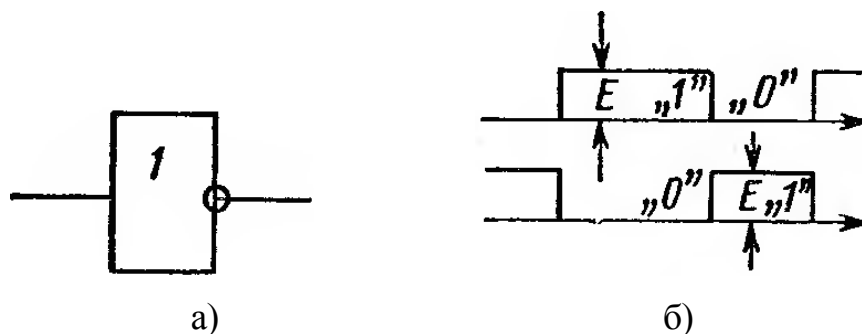


Рисунок 14.1

2. *Операция ИЛИ* (логическое сложение или *дизъюнкция*) обозначается в случае двух независимых аргументов

$$F = A \vee B \quad \text{л} \quad \text{ибо} \quad F = A + B \quad \text{(читается «A или B»)}$$

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.

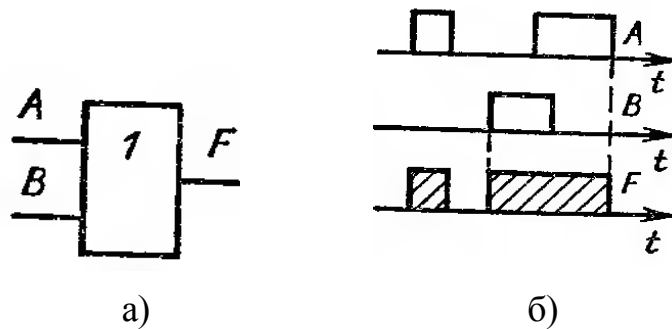


Рисунок 14.2

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).

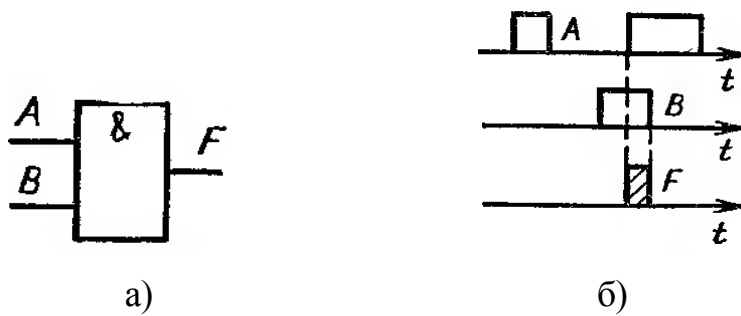


Рисунок 14.3

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:

$$A + B + C = A + C + B = B + A + C ,$$

$$A \cdot B \cdot C = A \cdot C \cdot B = B \cdot A \cdot C ,$$

$$A + B + C = A + (B + C) = (A + B) + C ,$$

$$A \cdot B \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C .$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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 $D = 1$.

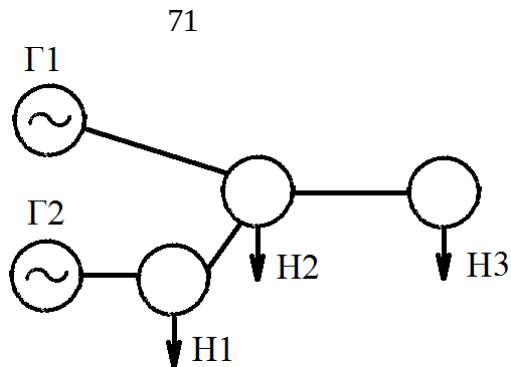


Рисунок 14.4

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 13

Тема: Позиционные системы исчисления

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-10

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	13
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 14

Тема: Режимы работы триггеров

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-12

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 одноступенчатых 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

$$T = t_{\text{и}} + t_{\text{п}},$$

где $t_{\text{и}}$, $t_{\text{п}}$ – продолжительность импульса и паузы соответственно

(рисунок 16.1).

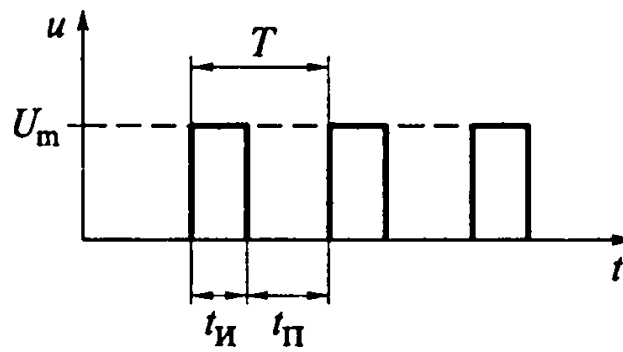


Рисунок 16.1

Частота повторения прямоугольных импульсов $F = 1/T$. Сквозность $Q = T / t_{и}$ 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).

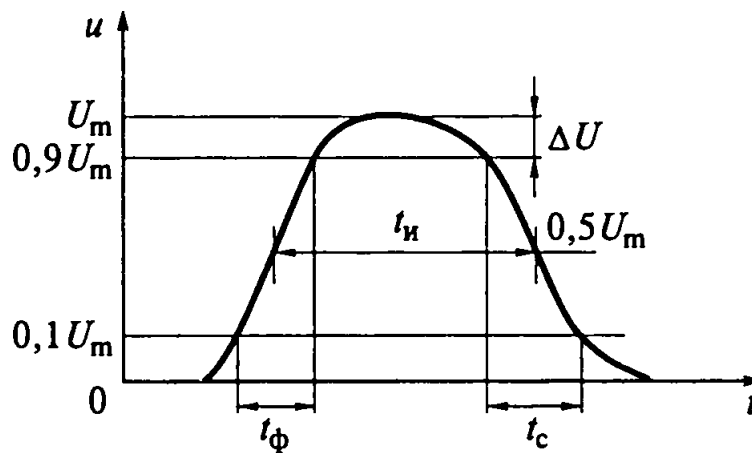


Рисунок 16.2

Реальные импульсы характеризуются следующими основными параметрами:

U_m – амплитуда импульса,

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

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

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 $S = 1$?

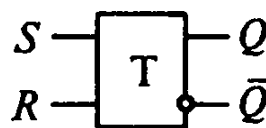


Рисунок 16.3

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 $\bar{R} = 1$, $\bar{S} = 0$?

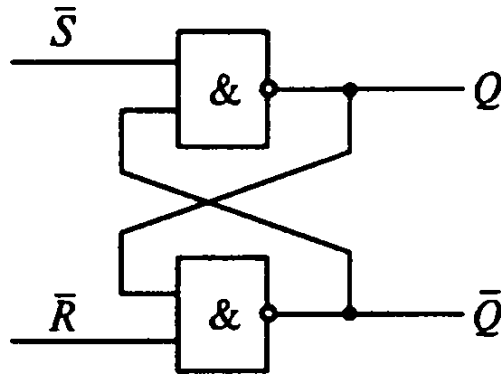


Рисунок 16.4

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 .

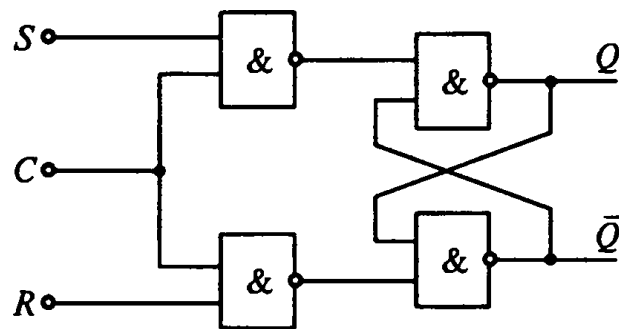


Рисунок 16.5

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 R и 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 $\bar{S} = 1$?

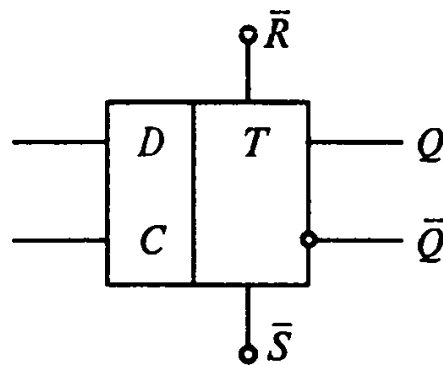


Рисунок 16.6

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 $C = 1$.

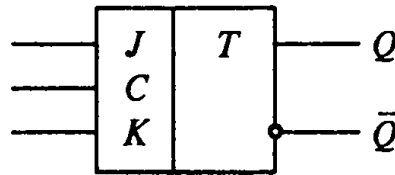


Рисунок 16.7

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;

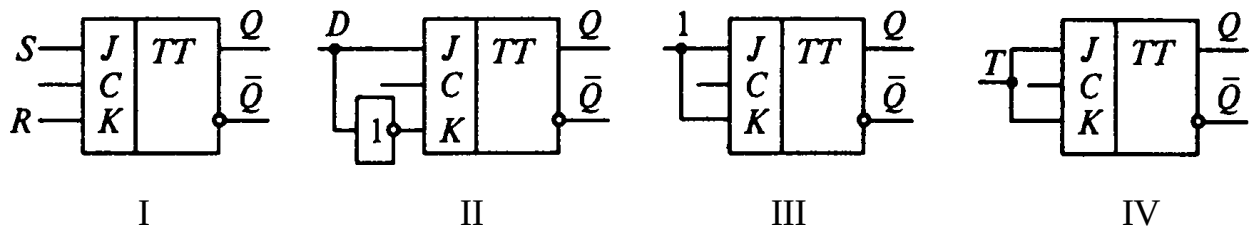


Рисунок 16.8

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 15

Тема: Цифровые устройства: дешифраторы, регистры, счетчики

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-12

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?

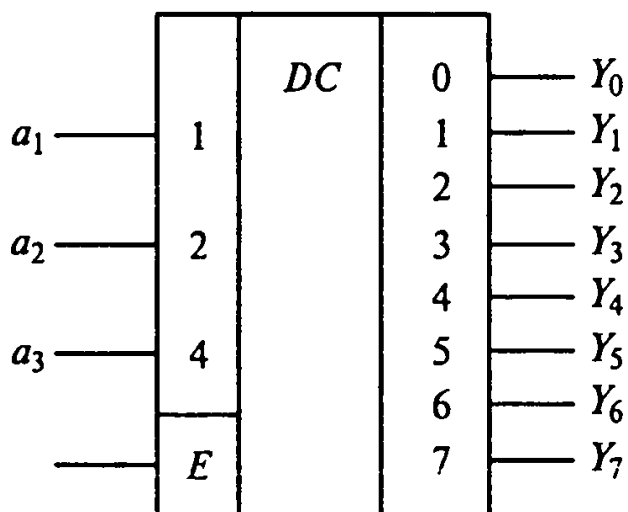


Рисунок 17.1

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

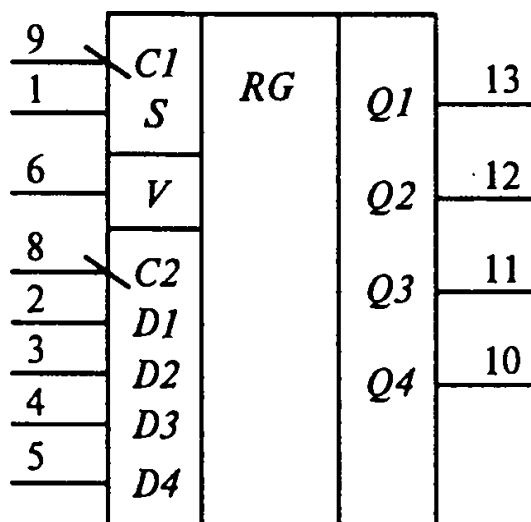


Рисунок 17.2

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.

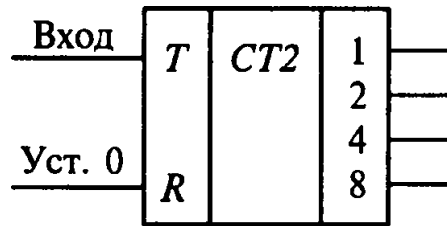


Рисунок 17.3

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.

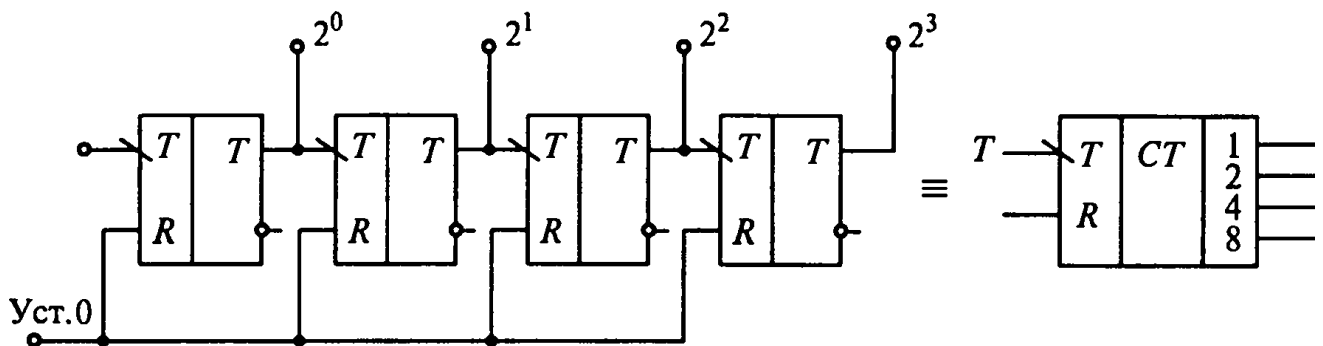


Рисунок 17.4

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 16

Тема: АЦП, ЦАП, микропроцессоры и микро ЭВМ

Цель: Формирование у студента компетенции ПК-12

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_B ;
- частота дискретизации (следование отсчетов) f_d должна быть больше или равна $2 f_B$.

Обычно выбирают частоту дискретизации $f_d = (3 \dots 10) f_B$.

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

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

Число уровней квантования напряжения

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

Период следования тактовых импульсов

$$T_T = 1 / f_T,$$

где f_T – тактовая частота, Гц.

Время преобразования в АЦП последовательного типа

$$t_{\text{пр}} = T_T N.$$

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 однокристалльные 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 $f_T = 10 \text{ МГц}$.

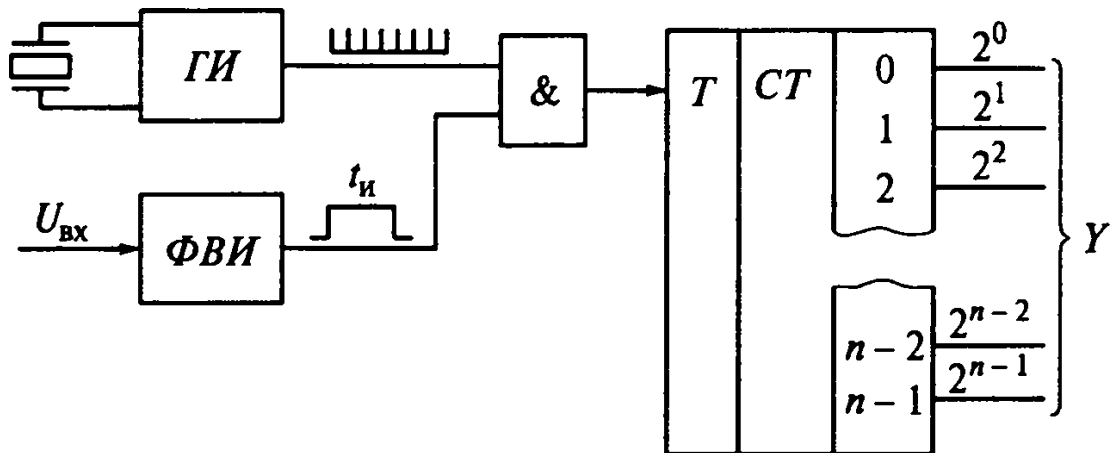


Рисунок 18.1

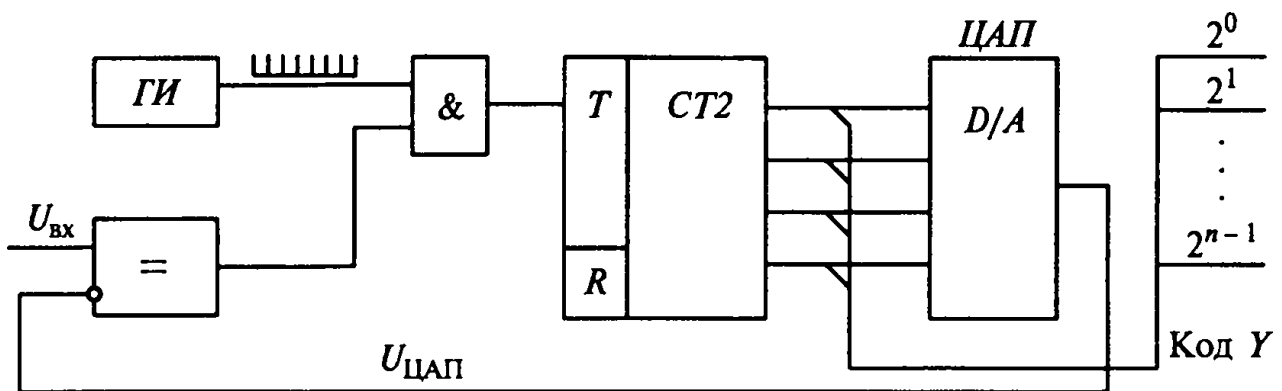


Рисунок 18.2

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 $U_{вх} = \frac{T_{оп}}{T_{вх}} U_{оп}$.

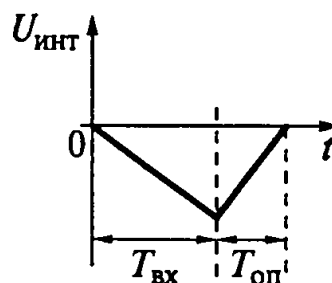
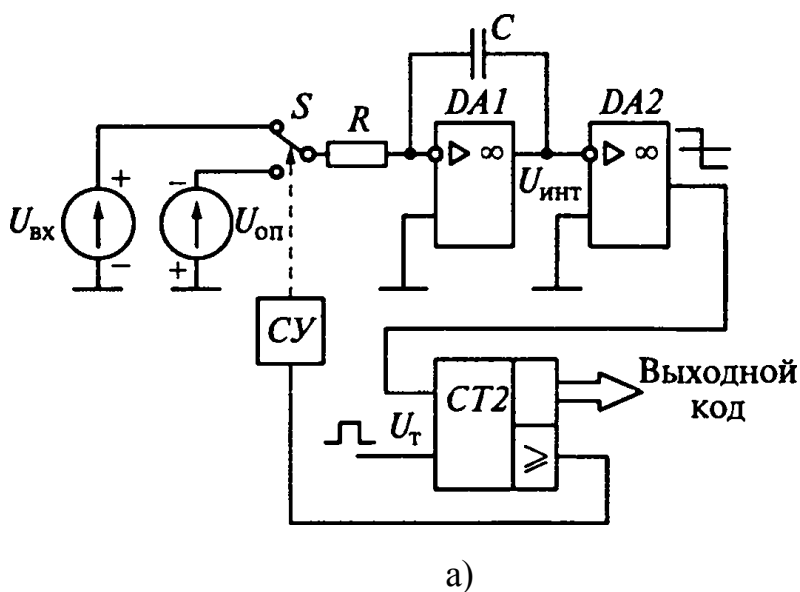


Рисунок 18.3

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

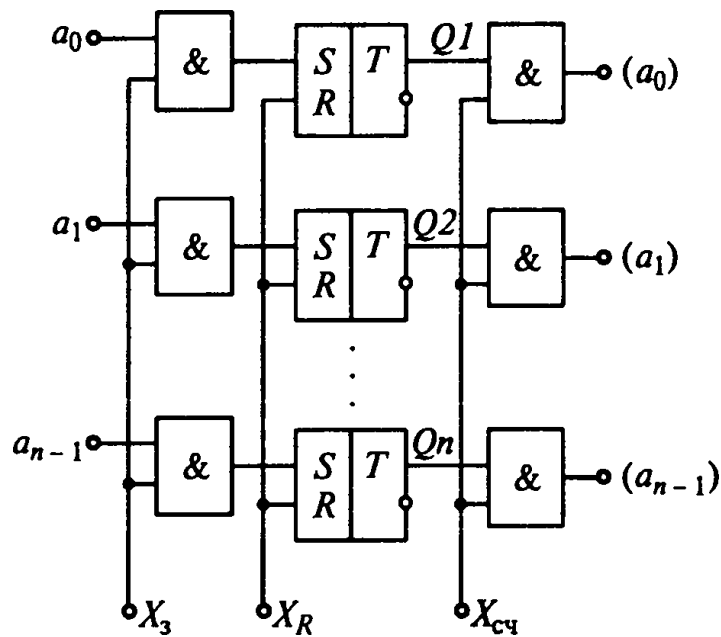


Рисунок 18.4

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) $Z = 1, x_1(\times), x_2(\times)$.

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 образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЦИФРОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

27.03.01 Стандартизация и метрология
направленность (профиль) Стандартизация, метрология и управление качеством

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

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;

Самостоятельное занятие 4

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 5_{10} число 8_{10} и из 8_{10} число 57_{10}

правил 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.

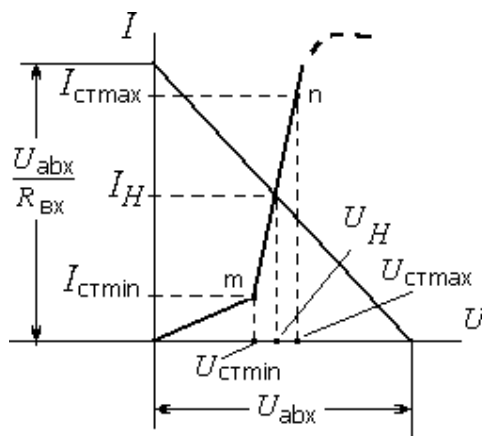


Рисунок 1.1

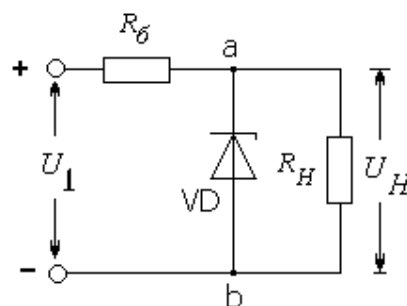


Рисунок 1.2

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 $U_{ab \times} = (0,7 \dots 0,8) \cdot U_1$.

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. $\Delta U = U_1' - U_2' = 1,1 \cdot U_1 - 0,9 \cdot U_1 = 0,2 \cdot U_1$.

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.	$I_{ст.мин},$ мА	$U_{ст.мин},$ В	$I_{ст.мак},$ мА	$U_{ст.мак},$ 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; $K_{ус}$ – коэффициент усиления по напряжению; $R_{н}$ – сопротивление нагрузки. Выбор которых осуществляется по

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. Евтихий, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров ; под ред. Н. Н. Евтихий. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 350 с. - Гриф: Рек. МО для специальности "Информационно-измерительная техника". - Библиогр.: с. 348. - ISBN 5-283-00624-7, экземпляров неограничено