

Лабораторная работа 4а

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

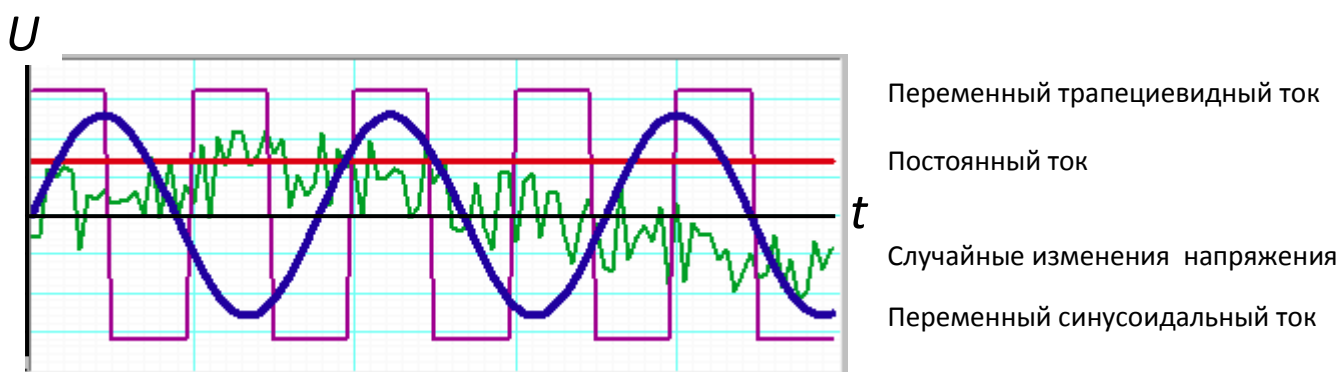
Цель работы

Получение навыков измерений в цепях переменного электрического тока. Ознакомление с особенностями влияния формы и частоты измеряемого сигнала на показания средств измерения, исследование цепей переменного тока, содержащих линейные и нелинейные элементы. Проверка закона Ома для цепей переменного тока.

Характеристики переменного тока.

Переменный ток – АС (англ. Alternating Current) – электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению (или только по величине или направлению). Основные характеристики переменного тока это: форма сигнала, амплитудные и временные характеристики силы тока и напряжения.

Под формой сигнала мы понимаем график зависимости напряжения от времени. Ниже приведены примеры сигналов разной формы.



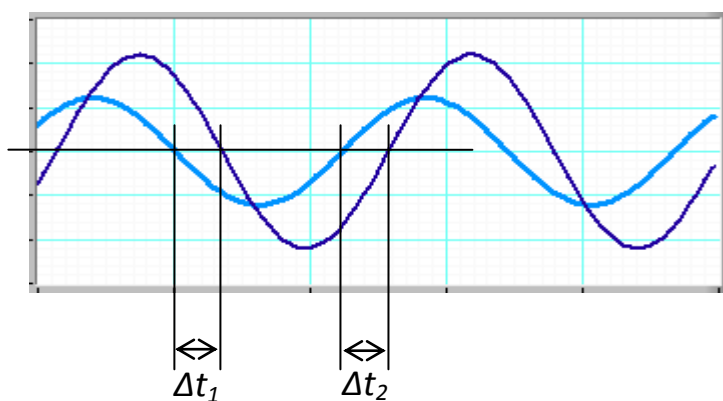
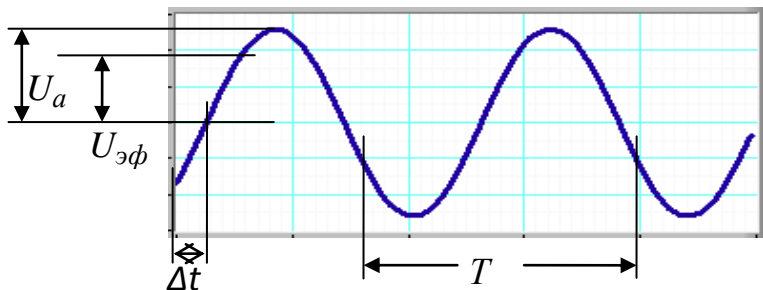
Периодическим переменным током называется такой электрический ток, который через равные промежутки времени повторяет полный цикл своих изменений, возвращаясь к своей исходной величине.

Время T , в течение которого переменный периодический ток совершает полный цикл своих изменений, возвращаясь к своей исходной величине, называется **периодом переменного тока**. Величина, обратная периоду, называется **частотой переменного тока** F : $F = 1/T$. Частота переменного тока численно равна числу периодов в секунду.

Из всех возможных форм периодического переменного тока наибольшее распространение получили токи синусоидальной формы потому, что позволяют наиболее просто и экономично (по сравнению со всеми другими токами) осуществлять передачу, преобразование и использование электрической энергии.

2 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Синусоидальным током называется периодический переменный ток, напряжение которого с течением времени изменяется по закону синуса или косинуса (аналогично и для силы тока): $u(t) = U_a \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.



$u(t)$ – мгновенное значение напряжения.

U_a – амплитудное напряжение.

$\omega = 2\pi F$ – циклическая частота.

$(\omega t + \varphi)$ – фаза сигнала.

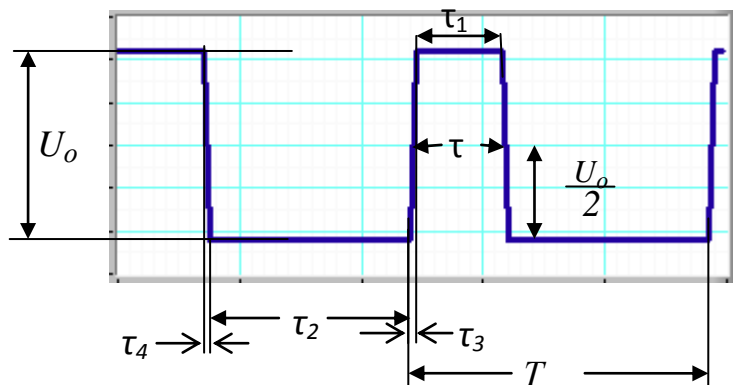
φ – начальная фаза,

Δt – отрезок времени, определенный начальной фазой. Зная это время, можно рассчитать начальную фазу сигнала из условия: $\Delta t/T = \varphi/360^\circ$.

Δt_1 – отрезок времени, определяющий сдвиг фаз $\Delta\varphi$ между двумя сигналами одинаковой частоты ($\Delta t_1 = \Delta t_2$).

$$\Delta t_1/T = \Delta t_2/T = \Delta\varphi/360^\circ$$

Основные характеристики **трапецевидного** (или прямоугольного) сигнала:



U_0 – размах напряжения,

T – период сигнала,

τ – длительность импульса,

$\vartheta = T/\tau$ – скважность,

τ_1 – длительность плато,

τ_2 – длительность паузы,

τ_3 – длительность фронта,

τ_4 – длительность спада.

Для описания напряжения переменного тока произвольной формы применяются следующие понятия (аналогично и для силы тока):

1. **Мгновенное напряжение** – величина напряжения переменного тока, соответствующая данному моменту времени. Мгновенное напряжение является функцией времени: $u(t)$.
2. **Амплитудное значение напряжения** U_a – это максимальное мгновенное значение напряжения за весь период колебаний для сигналов, симметричных оси X (синусоидальный, меандр). Для сигналов сложной формы используют понятие **размах напряжения** U_0 .

3 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

3. **Среднее значение напряжения (постоянная составляющая напряжения)**, в зарубежной терминологии *DC Mean*, определяется за весь период колебаний, как:

$$U_m = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

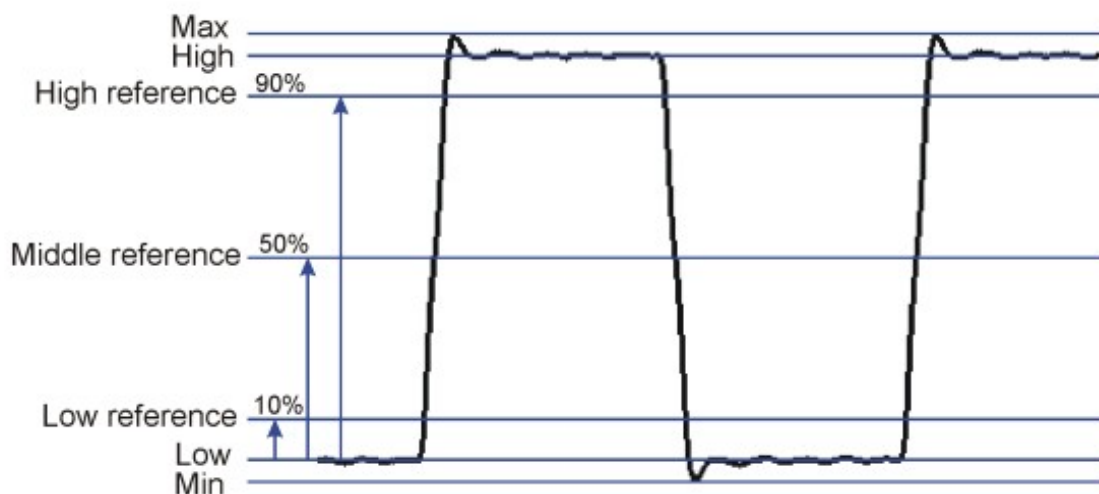
4. **Среднеквадратичное значение** (действующее, эффективное), в зарубежной терминологии – *RMS - root mean square* – наиболее удобно для практических расчётов, так как на линейной активной нагрузке оно совершает ту же работу, что и равное ему постоянное напряжение (например, нагревательный элемент выделяет столько же тепла). В общем случае – для произвольного периодического сигнала $u(t)$ эффективное значение напряжения определяется как среднее квадратичное напряжение:

$$U_{эфф} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} .$$

Для периодических сигналов сложной формы не всегда можно четко определить некоторые параметры так, как они описаны выше для простейших сигналов. Кроме того, для цифровых приборов не делают различие по форме сигнала при определении амплитудного напряжения и амплитудное синусоидальное напряжение измеряется как полный размах – по аналогии с напряжением сложной формы. Но исторически сложилось, что амплитудное синусоидальное напряжение – это половина размаха (по формуле $u(t) = U_a \cdot \sin(\omega t + \varphi)$).

Ниже приведены определения характеристик сигнала из описания осциллографической приставки PCSGU250, которая и будет использоваться в данной задаче.

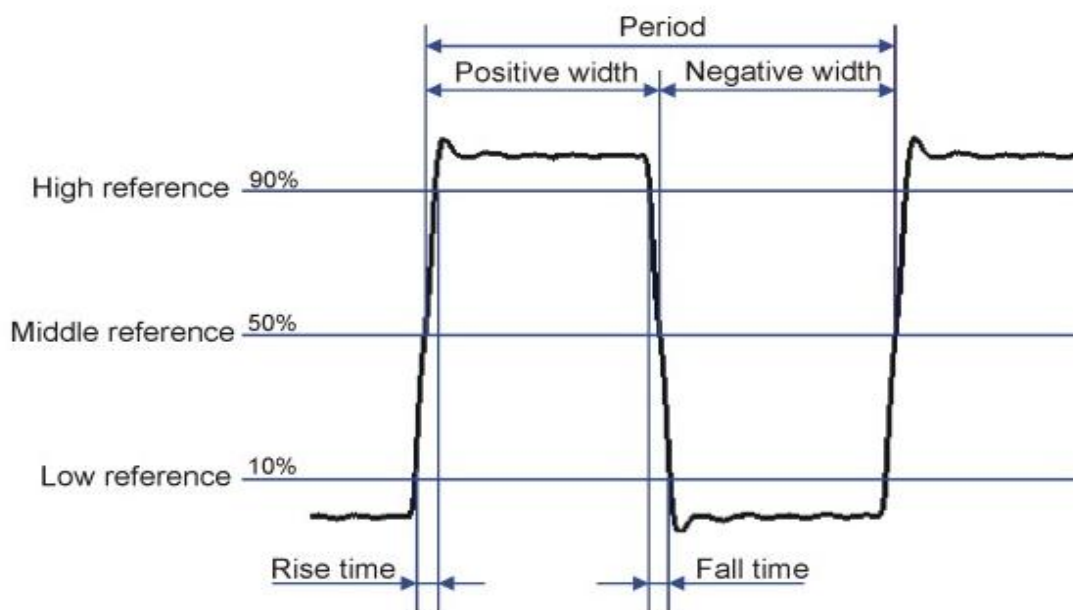
Voltage parameters



4 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Если сигнал похож на трапецевидный, но содержит шумы (случайные отклонение от некоторого среднего уровня), то определяют среднестатистический максимальный уровень сигнала (High) и среднестатистический минимальный уровень сигнала (Low).

Time parameters



Для сигналов с плавными переходами характеристик (а на практике такие сигналы часто встречаются), принято отсчитывать начало фронта (аналогично и для спада) с момента, когда напряжение возрастет на 10% от среднестатистического максимального уровня сигнала. Заканчивается фронт, когда напряжение возрастет до 90% от среднестатистического максимального уровня сигнала.

Синусоидальный переменный ток в линейных цепях.

Линейной называют электрическую цепь, содержащую только линейные элементы (их вольтамперные характеристики линейные): резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности.

Только для синусоидальных токов сохраняется неизменной форма сигнала на всех участках линейной электрической цепи. В цепях, содержащих нелинейные элементы (диоды, транзисторы и др.) форма сигнала не сохраняется при любом, в том числе и синусоидальном, напряжении.

Силу тока в цепи с **резистором** с сопротивлением R – его называют **активным сопротивлением**, можно вычислить по закону Ома

$$I(t) = U(t)/R.$$



5 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Для того чтобы вычислить силу тока через **конденсатор**, можно рассмотреть цепь, содержащую только емкость C и источник переменного тока. Сила тока будет определяться скоростью изменения заряда на конденсаторе

$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt}.$$

А заряд на обкладках конденсатора пропорционален напряжению $q = CU$. Если $u(t) = U_a \cdot \cos \omega t$, то $I(t) = -C\omega U_a \cdot \sin \omega t = C\omega U_a \cdot \cos(\omega t + \pi/2)$.

Таким образом, ток имеет синусоидальную форму и опережает напряжение на $\pi/2$. Можно записать $C\omega U_a$ как амплитудное значение силы тока $I_a = C\omega U_a$ и, если определить **емкостное сопротивление** $R_C = \frac{1}{\omega C}$, то для амплитудных значений

силы тока и напряжения получится выражение, похожее на закон Ома $I_a = \frac{U_a}{R_C}$.

Закон Ома для мгновенных значений силы тока и напряжения записать нельзя, потому, что между силой тока и напряжением в цепи переменного тока есть сдвиг фаз.

Если переменное напряжение подать на **катушку индуктивности**, то изменение напряжения должно компенсироваться возникающей в катушке ЭДС самоиндукции

$$u(t) = -E(t) = L \frac{di(t)}{dt}.$$

Если ток меняется по закону

$I(t) = I_a \cdot \sin \omega t$ или, что то же самое, $I(t) = I_a \cos(\omega t - \pi/2)$,

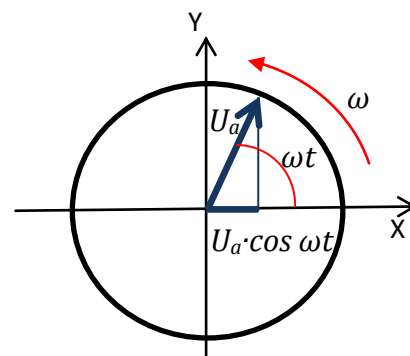
то $u(t) = L \omega I_a \cdot \cos \omega t = U_a \cdot \cos \omega t$, где $U_a = L \omega I_a$.

Напряжение опережает ток на $\pi/2$. Если определить

индуктивное сопротивление $R_L = \omega L$, то для амплитудных значений силы тока и напряжения получится выражение, похожее на закон Ома $I_a = \frac{U_a}{R_L}$.

Для емкостного и индуктивного сопротивлений используют общее название – реактивные сопротивления, а соответствующие элементы цепи называют реактивными элементами. Величины сопротивлений этих элементов в цепи переменного тока зависят от его частоты.

Изменяющееся по синусоидальному закону мгновенное напряжение $u(t) = U_a \cdot \cos \omega t$ может быть представлено как проекция вектора, длиной U_a , вращающегося вокруг начала координат, на ось X. С помощью такого представления можно построить **векторные диаграммы** различных цепей переменного тока.



6 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

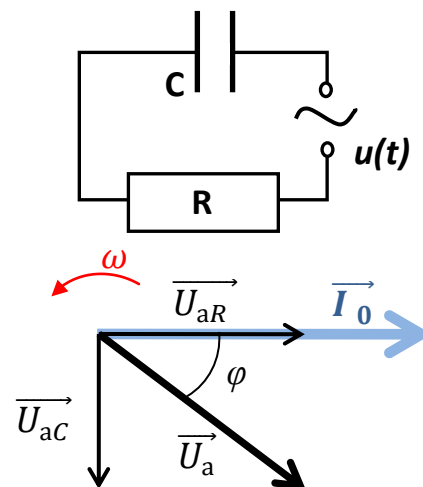
В **RC-цепи** сумма мгновенных напряжений на конденсаторе и резисторе равна переменному напряжению на входе цепи:

$$u(t) = U_a \cdot \cos(\omega t + \varphi) = u_R(t) + u_C(t).$$

Сила тока в каждый момент времени через резистор и конденсатор одинакова.

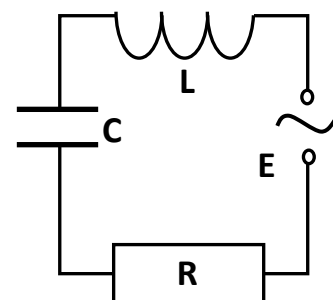
Составим для этой схемы *векторную диаграмму*. Напряжение и сила тока на активном сопротивлении изменяются синфазно – в начальный момент времени отложим эти вектора по оси X. Длина вектора \vec{U}_{aR} равна напряжению на резисторе. Напряжение на конденсаторе отстает от тока на $\pi/2$, в начальный момент времени вектор напряжения отложим против оси Y

(угол отсчитываем против часовой стрелки). Вектор \vec{U}_a , изображающий входное напряжение, должен быть равен векторной сумме \vec{U}_{aR} и \vec{U}_{aC} . Вся система векторов вращается как целое против часовой стрелки вокруг центра координат с угловой скоростью ω .



Последовательный колебательный контур.

Рассмотрим цепь переменного тока, состоящую из последовательно соединенных источника тока, резистора, конденсатора и катушки индуктивности. Будем считать, что активное сопротивление этой цепи сосредоточено в сопротивлении резистора R, емкость – в конденсаторе, индуктивность – в катушке. То есть, рассмотрим *идеальный последовательный колебательный контур с сосредоточенными параметрами*.



Для резистора и конденсатора векторная диаграмма строится аналогично предыдущему случаю. Колебания силы тока в катушке отстают от колебаний напряжения на $\pi/2$. Поэтому вектор, изображающий напряжение на катушке индуктивности, отложим по оси Y.

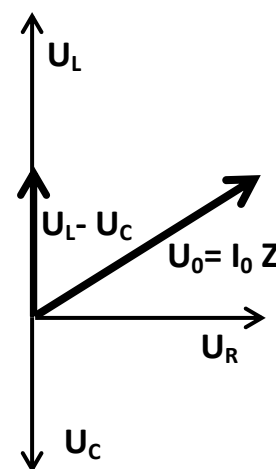
Поскольку $\vec{U}_0 = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$, результирующий вектор \vec{U}_0 можно найти сложением векторов.

Из этой векторной диаграммы видно, что

$$U_a^2 = U_{aR}^2 + (U_{aL} - U_{aC})^2.$$

Используя связь между амплитудными значениями силы тока

$$\text{и напряжения } I_a = \frac{U_{aR}}{R}, I_a = \frac{U_{aL}}{R_L}, I_a = \frac{U_{aC}}{R_C},$$



7 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

для силы тока получим:

$$I_a = \frac{U_a}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$$

Полное сопротивление цепи переменному току Z определяется соотношением:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

При равенстве емкостного и индуктивного сопротивлений общее сопротивление цепи становится минимальным. Сопротивление всей последовательной цепи становится чисто активным и равно R . Сдвиг фаз между приложенным напряжением и силой тока в цепи отсутствует. Такую ситуацию для последовательного колебательного контура называют **резонансом напряжений**.

Все сказанное выше справедливо для идеального колебательного контура с *сосредоточенными* параметрами. В реальных радиодеталях есть «паразитные» параметры: у катушек индуктивности есть активное сопротивление провода, которым намотана катушка, межвитковая емкость; у конденсаторов есть ток утечки (паразитное сопротивление); проволочные резисторы обладают паразитной емкостью и индуктивностью. Есть сопротивления у соединительных проводов, источников питания, измерительных приборов. Чаще всего эти параметры действительно незначительно влияют на работу цепи, но иногда могут приводить к искажению результатов или формы сигнала.

Измерение переменного тока и напряжения.

В цепи переменного тока значения напряжения и силы тока на всех ее участках непрерывно меняются во времени. Непосредственное измерение мгновенных значений I и U можно выполнить быстродействующими приборами (длительность измерения должна быть много меньше периода напряжения питания), например, с помощью **осциллографа** измеряют мгновенное значение напряжения. Мгновенное значение силы тока на участке цепи измеряют, подключая вход осциллографа параллельно любому резистору с известным сопротивлением, входящим в исследуемый участок цепи. Измерив на нем напряжение, силу тока находят по закону Ома. Если участок цепи не содержит активного сопротивления, то резистор включают последовательно в разрыв цепи. Но это приводит к изменению величины силы тока, поэтому сопротивление резистора выбирают минимально возможной величины.

Для измерений эффективного напряжения переменного тока (или силы тока) используют **вольтметры и амперметры переменного тока** (они могут входить в мультиметры). Их измерения в **аналоговых приборах** имеют особенность по сравнению с измерениями аналогичных величин в цепях постоян-

8 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

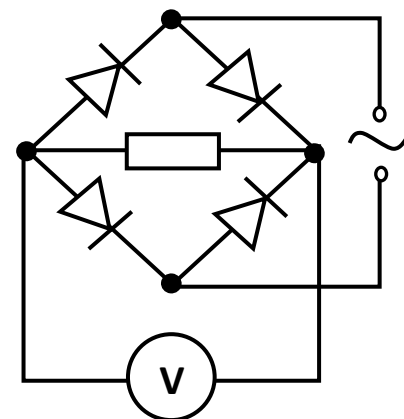
ного тока: переменный ток преобразуют в постоянный, который и измеряют. Есть два основных способа преобразования: термопреобразователем и выпрямителем.

1. Переменный ток протекает через нагревательный элемент, температура нагрева зависит от средней мощности тока, ее и измеряют, например, термопарой. Этот способ редко используется, хотя температура пропорциональна эффективному значению напряжения (или силы тока).
2. При использовании двухполупериодного полупроводникового выпрямителя измеряется средневыпрямленное значение напряжения (или силы тока)

$$U_{\text{ср.в.}} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$$

Чаще всего шкалы приборов, независимо от способа преобразования переменного тока в постоянный, градуируются так, чтобы для **синусоидального тока** показания соответствовали эффективному значению измеряемых величин. Это будет верно только для синусоидального тока! Поэтому необходимо знать форму измеряемого сигнала.

В цифровых приборах измерения проходят несколько иначе.

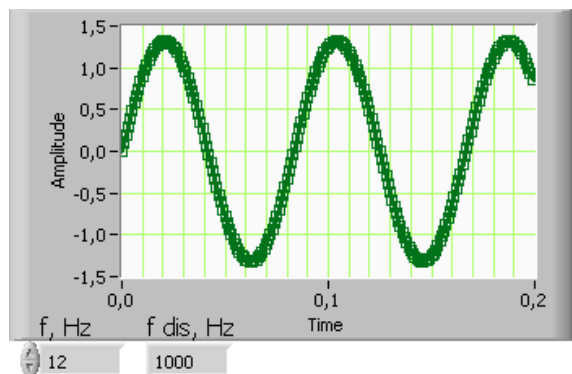


Принцип оцифровки сигнала

В основе цифровой техники лежит принцип оцифровки сигнала: аналоговый – непрерывный – сигнал представляется как последовательность чисел. Для этого, во-первых, сигнал разбивается на дискретные отсчеты через равные промежутки времени dt – *дискретизация по времени*, во-вторых, измеряется значение напряжения сигнала в эти моменты времени – *квантование по уровню*.

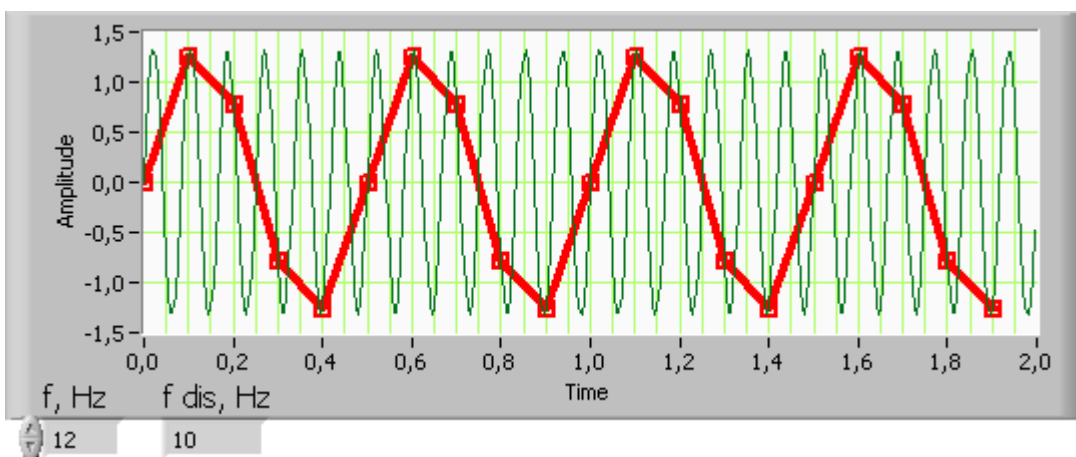
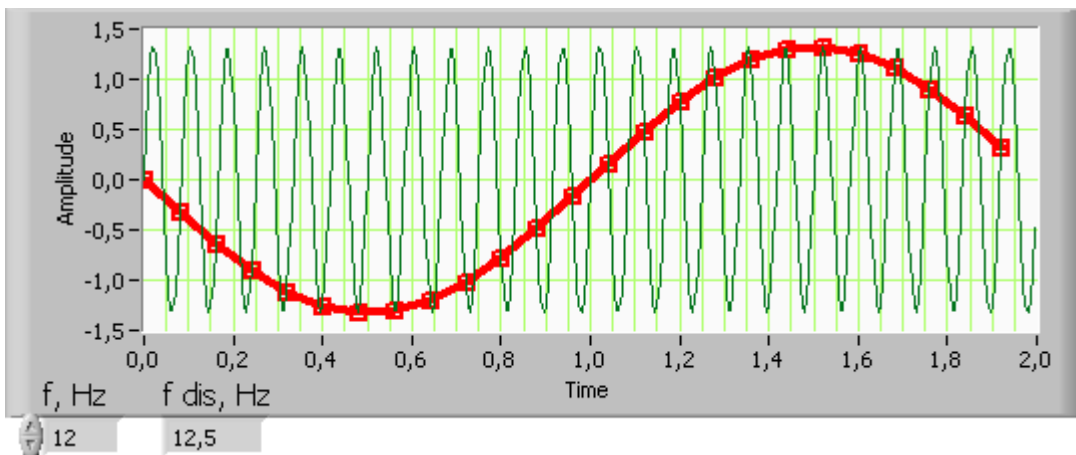
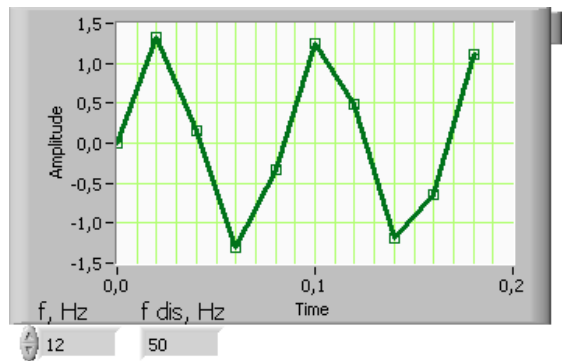
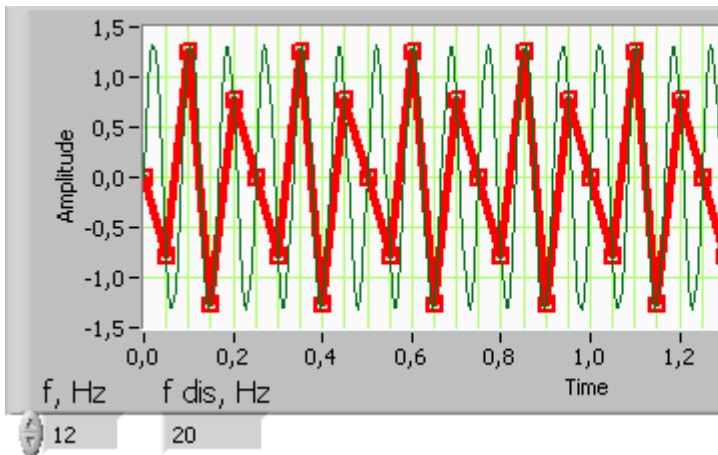
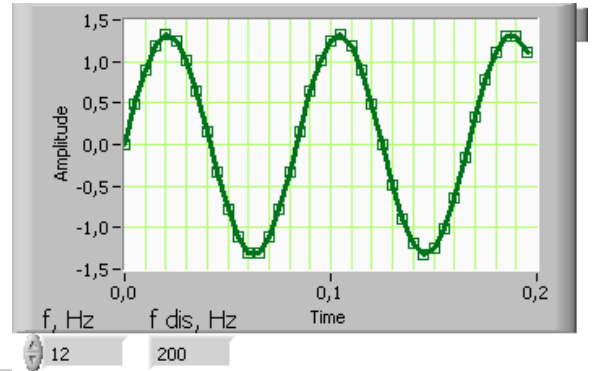
Очень важно правильно выбрать интервал дискретизации – dt . С одной стороны, чтобы не потерять никакой информации об аналоговом сигнале, отсчеты надо брать как можно чаще. С другой стороны, это может быть и не нужно, но потребует значительных затрат времени и памяти. На рисунках справа и на следующей странице представлены примеры оцифровки одного и того же сигнала ($f = 12 \text{ Hz}$) с разной частотой дискретизации (f_{dis}).

На практике для оценки периода дискретизации dt используют **теорему Котельникова (Найквиста – Шеннона)**. Синусоидальный сигнал с частотой F , по этой теореме, **однозначно определяется дискретными отсчетами, взятыми с частотой не меньшей, чем $2F$** .



9 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Частоту $2F$ называют частотой Найквиста. Если частота дискретизации будет меньше, чем частота Найквиста (то есть удвоенная частота сигнала), неизбежно появятся «ложные» частоты (см. примеры).

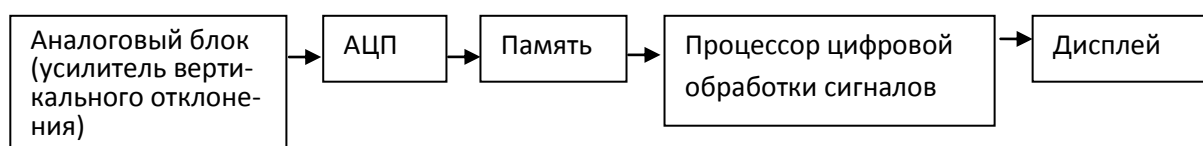


10 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Измерения эффективного напряжения в цифровых приборах проходят по следующей схеме: оцифрованный переменный сигнал – последовательность чисел возводится в квадрат (микроконтроллером), усредняется, и из усредненного квадрата извлекается квадратный корень. То есть, численно рассчитывается эффективное напряжение по формуле (с.3 п.4) для произвольной формы сигнала.

Структура цифровых осциллографов.

Структура (архитектура) цифровых осциллографов разнообразна, но общая схема примерно такая:



Аналоговый блок предназначен для предварительного усиления или ослабления сигнала (масштабирование по уровню) и ограничению его частотного диапазона (фильтрами подавляются частоты, большие половины максимальной частоты дискретизации данного прибора) для предотвращения появления «ложных» частот.

Затем нормированный сигнал поступает на АЦП – аналогово-цифровой преобразователь (с работой АЦП последовательного приближения можно познакомиться в работе 35 практикуме ВТЭК). На выходе АЦП мгновенное значение входного сигнала $u(t)$ преобразуется в цифровой отсчет $u(k)$. Преобразование проводится через равные интервалы времени, определяемые частотой дискретизации. Схема синхронизации системы горизонтального отклонения устанавливает частоту, с которой АЦП делает выборки. Эта величина называется частота выборки (измеряется в выборках в секундах).

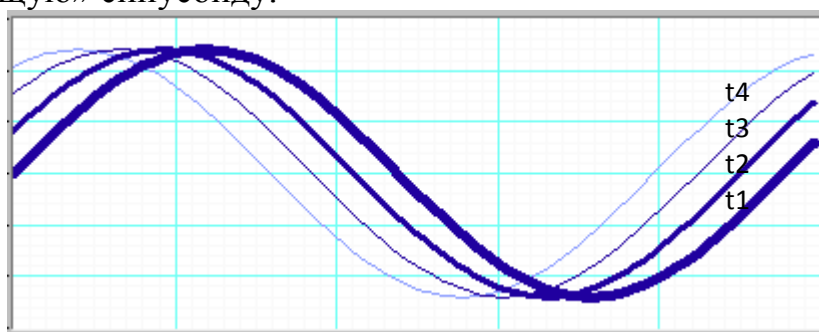
Выборки, полученные от АЦП записываются в оперативную память. При этом устройство цифровой обработки сигналов анализирует содержимое памяти для выявления определенного заданного условия (уровень запуска, длительность импульса или др.). При выполнении этого условия прибор производит запись заданного количества отсчетов и останавливает регистрацию для обработки полученных величин и отображения их на дисплее. Через требуемое на это некоторое время осциллограф будет готов к последующей регистрации и продолжит работу в соответствии с выбранным текущим режимом.

Выбор коэффициента развертки задает интервал времени отображения сигнала на экране, он задает размер памяти и частоту дискретизации (большей частоте дискретизации будет соответствовать большее разрешение по оси времени). На регистрацию и цифровую обработку данных цифровой осциллограф затрачивает определенное время. Особенно это становится заметно с увеличением коэффициента развертки.

11 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Синхронизация.

Цифровой прибор работает в таком режиме: определенное время (оно определяется выбором настроек) идет оцифровка сигнала, потом собранный массив данных отображается на экране, потом снова идет набор массива данных, отображение его на экране и т.д. Проблема в том, что даже если сигнал строго периодический, новый набор данных может начинаться с другой точки фазы сигнала: в результате картинка на экране осциллографа будет все время изменяться. Например, на рисунке, из-за того, что каждая картинка (в моменты времени $t1 - t4$) будет изображать синусоиду со сдвигом, мы будем видеть «бегущую» синусоиду.



Для получения неподвижной картинки еще в аналоговых осциллографах был создан режим синхронизации. Суть этого режима в том, что картинка на экране появляется в строго определенный момент времени: когда мгновенное напряжение сигнала достигает заданного уровня по фронту (или по спаду). В результате, часто сменяющиеся картинки накладываются друг на друга, и мы видим неподвижную линию. *Сигналы синхронизованы, когда между ними есть связь по времени.*

Физическая реализация процесса синхронизации в разных приборах может быть различна, но в основе ее лежит принцип: начинаем отображение (или сбор) данных при выполнении определенного условия. У нас как-будто есть вентиль, который закрыт, но открывается при определенных условиях. В радиоэлектронике такой вентиль носит название триггер, поэтому блок синхронизации часто носит название «Триггер».

Экспериментальное оборудование

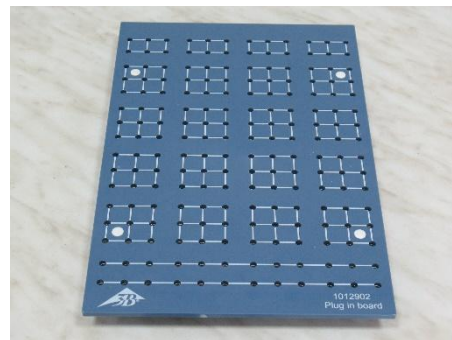
При проведении данной лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование:

- цифровой мультиметр M9803R с диапазонами измерения переменного напряжения 4-40-400-750 В.

12 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока



- Мультиметр стрелочный YX360TRes с диапазонами измерения переменного напряжения 10-50-250-1000 V;



- плата с гнездами для установки элементов схем.

- Набор элементов (резисторы, конденсаторы, диоды, катушка);



- осциллографическая приставка к компьютеру PCSGU250;
- мультиметр dt890b+.



13 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Осциллографическая приставка к компьютеру PCSGU250 – это многофункциональный цифровой прибор, который позволяет (при наличии ПК) не только регистрировать форму сигнала и автоматически проводить измерение его характеристик, но и проводить спектральный анализ сигналов, находить резонансные частоты цепей, складывать и умножать сигналы и т.д. Кроме осциллографа в PCSGU250 есть встроенный генератор сигналов (различной формы). На передней панели прибора расположены: внизу – выход цифрового генератора сигналов, выше – разъемы для подачи исследуемого сигнала, два канала. На задней панели прибора – USB разъем для подключения к компьютеру. На компьютере устанавливается специальная программа для работы приставки.

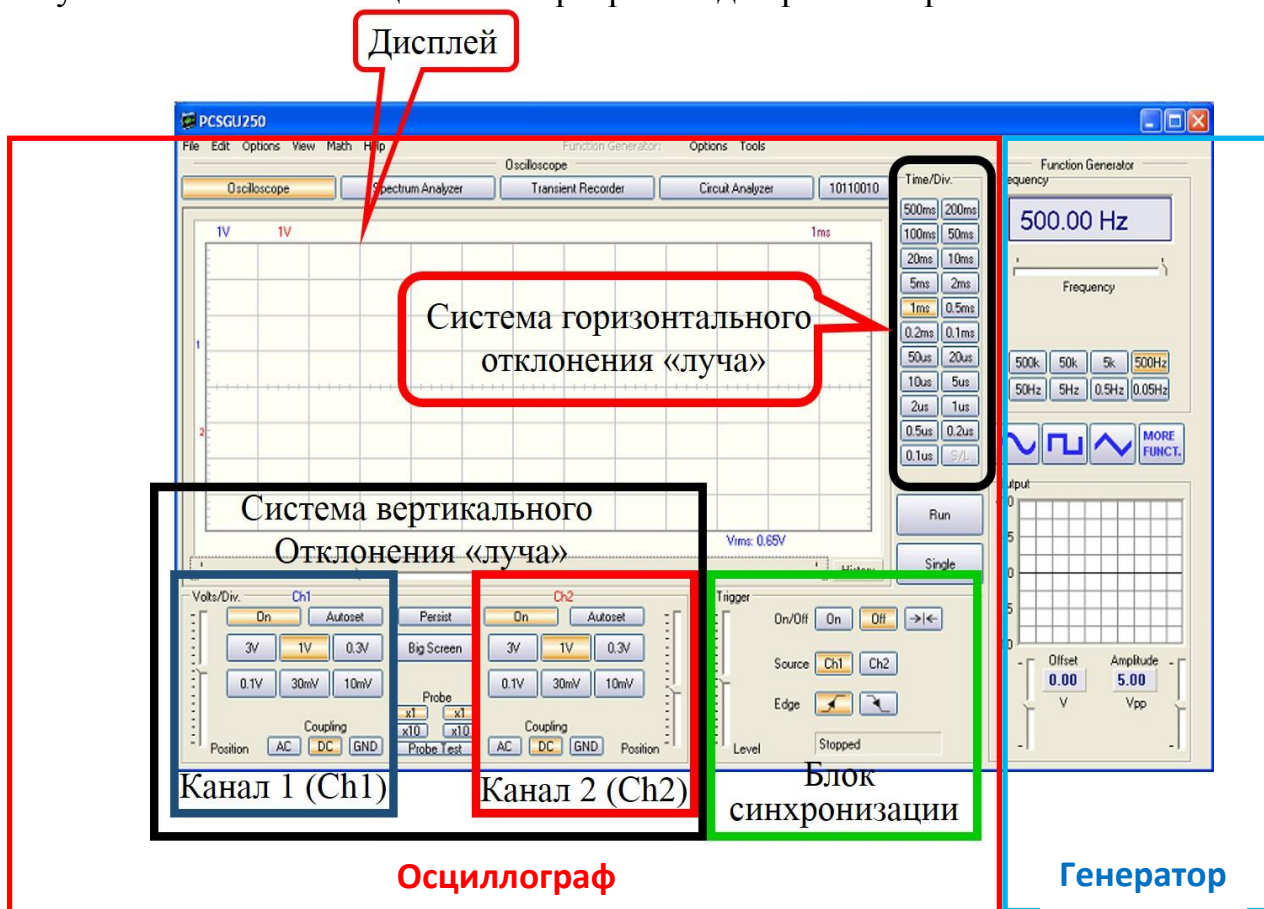
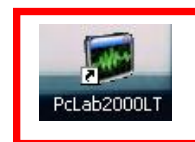


Рис. 4.6. «Лицевая панель» осциллографической приставки.

На рис. 4.6 представлена «лицевая панель» приставки – такое окно открывается в начале работы (если щелкнуть по иконке прибора на мониторе ПК).



Лицевая панель цифровых осциллографов (или картинка лицевой панели на экране монитора для осциллографической приставки) во многом похожа на внешний вид аналоговых осциллографов из-за логичности и завершенности принципов работы осциллографии и ради привычек пользователей.

Обычно в осциллографе на лицевой панели 4 основных узла:

14 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

- система вертикального отклонения;
- система горизонтального отклонения;
- система запуска (синхронизация);
- система отображения информации – дисплей (экран).

Под экраном расположены кнопки управления системы вертикального отклонения двух каналов: Ch1 – сигнал на экране будет нарисован синим цветом, Ch2 – красным.

Рассмотрим работу генератора. На рис. 4.7 представлена панель управления работой генератора. Генератор включается, если щелкнуть курсором (левой кнопкой мышки) по кнопке выбора формы сигнала: синусоидальный до 1 МГц; прямоугольные импульсы и сигнал треугольной формы до 500 кГц. Сигналы более сложной формы из «библиотеки» извлекаются с помощью кнопки «MODE FUNCT.». Вид выбранного сигнала можно увидеть на дополнительном экране. Можно добавить к переменному сигналу (или выдать самостоятельно) постоянное смещение (двигая ползунков).



Рис. 4.7. Панель управления работой генератора.

Приставка может работать в различных режимах. Для перехода в них необходимо выбрать одну из кнопок (рис. 4.8). Рассмотрим работу приставки в режиме осциллографа. Для перехода в этот режим надо «нажать» кнопку «oscilloscope» (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Панель управления режимами приставки.

15 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Включение или выключение канала осуществляется кнопкой «On». Режимы входа – следующими кнопками (рис. 4.9):

«AC» – (закрытый вход) на экране нарисуют только переменную составляющую сигнала;

«DC» – (открытый вход) на экране будут и переменная и постоянная составляющие сигнала;

«GND» (земля) – на экране – прямая (имитация заземленного входа): позволяет установить на экране положение «ноль вольт».

Развертка по оси X осуществляется с помощью меню «Time/Div» (Рис. 4.9, справа). На рисунке развертка установлена 2ms.

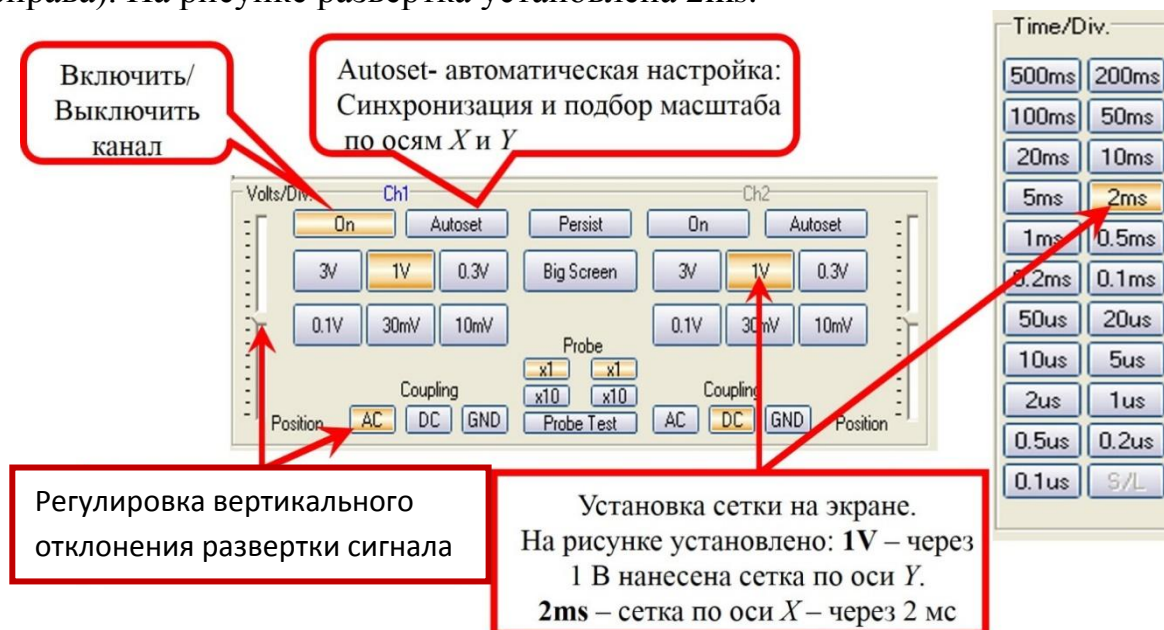


Рис. 4.9. Панель управления осциллографом.

На рис. 4.9 включена развертка 1В (сетка по оси Y нанесена через 1В).

В данной приставке синхронизация осуществляется блоком «Триггер», расположенным под экраном, справа (рис. 4.10).

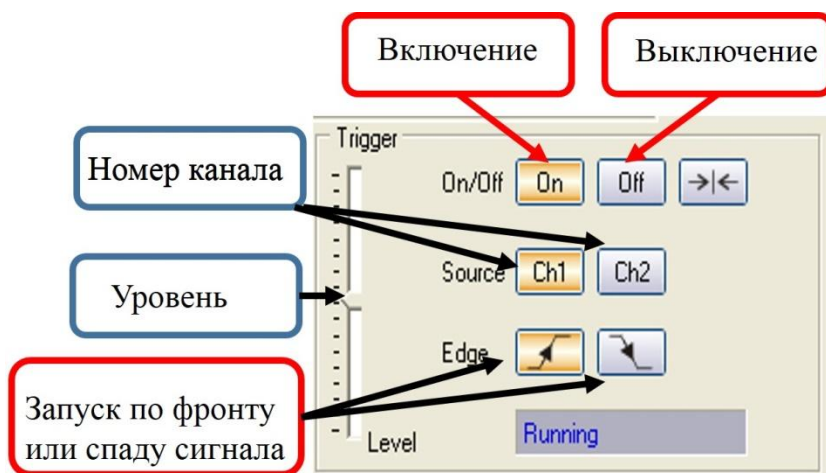


Рис. 4.10. Панель управления синхронизацией осциллографа.

16 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

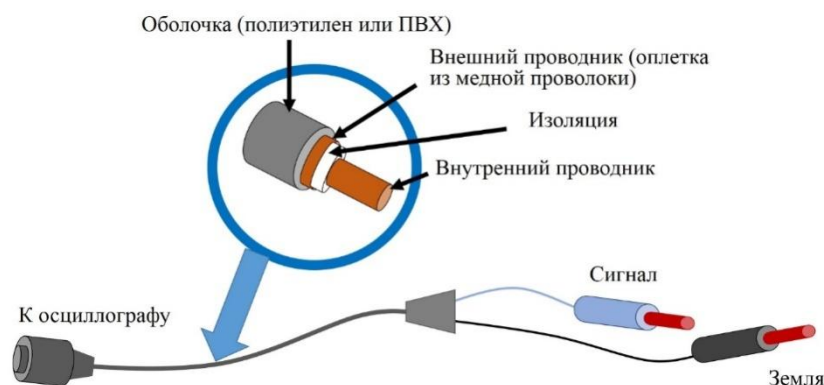


Рис. 4.11. Коаксиальный кабель для соединения с осциллографом, на вставке – устройство кабеля.

Для подключения осциллографа к исследуемой цепи обычно используют *коаксиальный кабель* (рис. 4.11). Внешний проводник (оплетка) (рис. 4.11, вставка) соединяется с корпусом прибора (и «землей»). Благодаря соосности обоих проводников у идеального коаксиального кабеля и электрическое и магнитное поле полностью сосредоточены в пространстве между проводниками (в диэлектрической изоляции), что исключает потери электромагнитной энергии на излучение (это особенно ценно при передаче высокочастотных сигналов большой мощности), и влияние внешних электромагнитных наводок (помех), дающих "размытое" изображение (это важно при работе с сигналами малой мощности).

Провод для подключения к "земле" обычно делают более длинным и более темного цвета по сравнению с сигнальным (рис. 4.11).

Проведение эксперимента

Упражнение 4.1. Определение характеристик переменного напряжения с помощью осциллографа.

Цель упражнения: познакомиться с работой генератора осциллографической приставки PCSGU250, познакомиться с режимом работы осциллографа «развертка по времени», освоить измерение характеристик сигнала по масштабной сетке и в автоматическом режиме, научиться рассчитывать эффективное напряжение для сигналов произвольной формы.

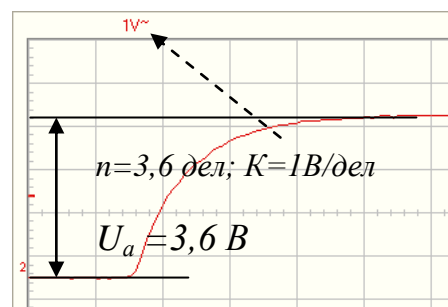
Измерения

1. Включить компьютер и монитор. Включить осциллографическую приставку (щелкнуть курсором мышки по иконке прибора на экране монитора). На мониторе должно открыться окно лицевой панели прибора. На самой приставке должен загореться синий светодиод «READY». Если светодиод не загорелся, вам будет предложена демонстрационная версия работы программы. Надо проверить

17 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

правильность подключения приставки (с помощью преподавателя) и включить приставку (см. описание на рабочем месте).

- Включить осциллограф (щелкнуть курсором мышки по кнопке «RUN»). Должны появиться две линии на экране осциллографа: синяя для I канала и красная для II канала. В начале работы надо провести калибровку сигналов: обе линии должны совпадать и проходить по оси X при «0» напряжении. Для этого в меню «Option» выбрать пункт «Calibrate». В появившемся информационном окне Вам сообщат, что осциллоскоп будет откалиброван. Надо нажать кнопку «Ok». Через несколько секунд калибровка закончится, о чем сообщат в том же информационном окне, после этого информационное окно надо закрыть («Ok»).
- Соединить провода с генератора с 1 каналом осциллографа (используя плату с гнездами для установки элементов схем). Включить генератор сигналов, нажав кнопку выбора формы сигнала «синусоидальный». На экране осциллографа должно появиться изображение сигнала. По умолчанию при включении на генераторе установлены: частота 500 Гц, напряжение 5В.
- Поменять выходные характеристики: $U = 2 \text{ В}$, $F = 230 \text{ Гц}$. Изображение полученного сигнала надо настроить в удобный для работы вид: синхронизировать, выбрать масштабы по осям. Измерения надо проводить, выбрав масштаб, чтобы измеряемая величина занимала не менее 1 основного деления масштабной сетки.
- Измерить период и амплитудное напряжение сигнала по масштабной сетке, записать в тетрадь в таблицу 4.1.



$U_a = K \cdot n$, где K – масштаб основного деления

масштабной сетки по вертикали в В, n – размер в основных делениях.

$T = L \cdot m$, где L – масштаб основного деления сетки по горизонтали в мс (или мкс), m – размер в основных делениях.

Рассчитать эффективное напряжение и частоту сигнала.

Таблица 4.1. Характеристики синусоидального сигнала

Установлено на генераторе	$U_A, \text{ В}$		$U_{\text{эф}}, \text{ В}$		$F, \text{ Гц}$				
	По масштабной сетке измерено (и рассчитано)								
осциллограф	$K, \text{ В/дел}$	$n, \text{ дел}$	$U_A, \text{ В}$	$U_{\text{эф}}, \text{ В}$	$L, \text{ сек/дел}$	$m, \text{ дел}$	$T, \text{ сек}$	$F, \text{ Гц}$	
	1								
	2								
измерения характеристик через «Waveform Parameters»									
	$U_A, \text{ В}$		$U_{\text{эф}}, \text{ В}$				$T, \text{ сек}$	$F, \text{ Гц}$	

- Оценить погрешность однократных измерений с учетом приборной погрешности (5% от измеряемой величины, если она не менее 1 основного деления масштабной

18 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

сетки) и погрешности считывания (с учетом мелких делений 0,2 клетки). Поскольку погрешности считывания можно определить только во время работы, **оценить погрешность измерений надо сразу, в процессе измерений**, записать в таблицу, рядом с измеренным значением.

7. Поменять масштабы по осям, еще раз провести измерения, аналогичные п.6.
8. Измерить характеристики сигнала в автоматическом режиме работы осциллографа «Waveform Parameters»: выбрать из меню приставки пункт «View», из открывшегося меню «Waveform Parameters». Оценить погрешность с учетом приборной погрешности (5% от измеряемой величины, если она не менее 1 клетки) и погрешности считывания (половина последнего разряда).
9. Провести аналогичные измерения (п.5-8) для сигнала трапециевидной формы из «библиотеки сигналов»: «MORE FANCT.», далее «LIB», выбрать форму сигнала «rect1». Выбрать напряжение (1-3 В) и частоту (100-1000 Гц) сигнала на генераторе. Результаты записать в таблицу 4.2.

Таблица 4.2. Характеристики прямоугольного сигнала

Установлено на генераторе	U _A , В						F, Гц				
	По масштабной сетке измерено (и рассчитано)										
Измерено на осциллографе	K, В/дел	n, дел	U _A , В	L, сек/дел	m, дел	T, сек	τ ₁ сек	τ ₂ сек	τ ₃ сек	τ ₄ сек	F, Гц
	1										
	2										
измерения характеристик через «Waveform Parameters»											
	U _{ЭФ} , В		U _A , В	T, сек			τ _{PW} сек	τ _{NW} сек	τ ₃ сек	τ ₄ сек	F, Гц

τ₁ – длительность плато, τ₂ – длительность паузы,

τ₃ – длительность фронта, τ₄ – длительность спада.

10. Провести измерения характеристик через «Waveform Parameters». Если поставить галочку в окошке «Show on screen», то характеристики будут показаны и на экране осциллографа. Полученную картинку (с характеристиками) можно сохранить. Для этого надо выбрать из меню приставки пункт «Edit», из открывшегося меню «Copy».

Обработка результатов

1. Создать документ «Open office» с Вашим отчетом по работе, сохранить в папке «STUD» на рабочем столе, в папке с номером Вашей группы. В названии файла написать свою фамилию. Первая строка документа должна содержать сведения: ФИО, № группы, дату выполнения. Вставить в этот файл сохраненную на осциллографе картинку трапециевидного сигнала с характеристиками.
2. Рассчитать эффективное напряжение для наблюдаемого Вами трапециевидного сигнала, сравнить полученное значение с измеренной величиной AC RMS из «Waveform Parameters».

3. Сравните полученные результаты по масштабной сетке и через «Waveform Parameters» и для синусоидального и для трапецевидного сигнала.

Упражнение 4.2. Измерение напряжения периодических электрических сигналов различной формы.

Цель упражнения: измерить напряжение периодических сигналов (синусоидального, прямоугольного и треугольного) разными приборами, рассмотреть влияние формы сигнала на показания вольтметров.

При измерении сигналов произвольной формы показания прибора будут зависеть как от типа прибора и схемы преобразователя, так и от формы импульса, поэтому для определения истинного значения напряжения необходимо вводить поправки. В частности, связь эффективного напряжения с амплитудным значением различна для различных форм периодического переменного тока.

Для синусоидального сигнала ($U(t) = U_a \sin(\omega t)$):

$$U_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_a^2 \sin^2(\omega t) dt} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_a^2 \sin^2(\omega t) dt} = \frac{U_a}{\sqrt{2}}. \quad (4.1)$$

То есть, $U_a = \sqrt{2} U_{\text{эфф}}$.

Для симметричного относительно оси X прямоугольного сигнала (рис.4.12)

$$U_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} U^2(t) dt} = U_a, \quad (4.2)$$

т.е. $U_a = U_{\text{эфф}}$.

Для симметричного относительно оси X треугольного сигнала с одинаковым фронтом и спадом (рис.4.13), а также для пилообразного сигнала

$$U_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{4}{T} \int_0^{T/4} U^2(t) dt} = U_a \sqrt{\frac{4}{T} \int_0^{T/4} (4t/T)^2 dt} = \frac{U_a}{\sqrt{3}}, \quad (4.3)$$

т.е. $U_a = \sqrt{3} U_{\text{эфф}}$.

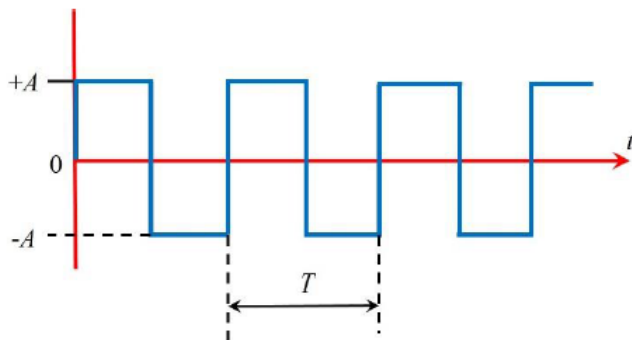


Рис. 4.12. Прямоугольный сигнал.

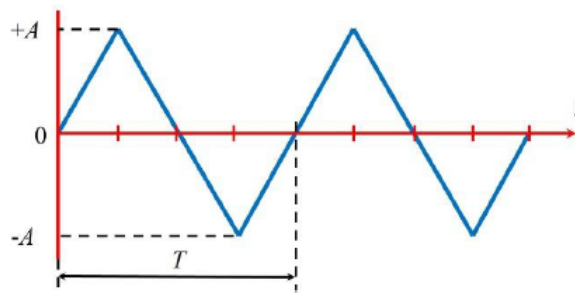


Рис. 4.13. Треугольный сигнал.

20 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

Связь между амплитудой напряжения сигнала U_a и его среднеквадратичным значением определяется по формуле:

$$U_a = K_a \cdot U_{\text{эфф}}, \quad (4.5)$$

где K_a – коэффициент амплитуды, значения которого для часто встречающихся сигналов приведены в табл. 4.3.

Связь между средневыпрямленным значением напряжения (см. стр.8, п.2)

$$U_{\text{ср.в.}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

и среднеквадратичным значением

$$U_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

определяется соотношением:

$$U_{\text{эфф}} = K_{\text{ф}} \cdot U_{\text{ср.в.}}, \quad (4.4)$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы. Значения $K_{\text{ф}}$ для трех видов сигналов представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значения $K_{\text{ф}}$ и K_a для сигналов различной формы

Форма сигналов	$K_{\text{ф}}$	K_a
Синусоидальная	1,11	1,41
Прямоугольная	1	1
Треугольная	1,16	1,73

Измерения

1. Цифровой мультиметр M9803R, стрелочный мультиметр YX360TRes и любой из каналов осциллографа (Ch1 или Ch2) подключите **параллельно** к входу генератора. Включите мультиметры в режиме измерения переменного напряжения (начальный диапазон измерения установите не менее 10 В). Установите режим генерации синусоидального напряжения частотой 1кГц, напряжение $U_a = 10$ В.
2. Включите осциллограф. Установите режим «Autoset» (автоустановки), при этом осциллограф автоматически установит оптимальные значения цены деления по вертикали для измерения амплитуды сигнала, а по горизонтали – для измерения временных интервалов.
3. С помощью осциллографа в режиме «Waveform Parameters» измерьте амплитуду синусоидального сигнала U_a и эффективное напряжение $U_{\text{эфф}}$, с помощью вольтметров измерьте $U_{\text{эфф}}$. Результаты запишите в табл. 4.4.
4. Проведите аналогичные измерения для сигналов прямоугольной и треугольной формы. Результаты измерения запишите в табл. 4.4.

Таблица 4.4.

Характеристики сигналов различной формы, измеренных осциллографом и вольтметром

Вид сигнала	осциллограф PCSGU250				мультиметр M9803R		мультиметр YX360TRes	
	$U_a, В$	$\Delta U_a, В$	$U_{эфф}, В$	$\Delta U_{эфф}, В$	$U_{эфф}, В$	$\Delta U_{эфф}, В$	$U, В$	$\Delta U, В$
Синусоидальный								
Прямоугольный								
Треугольный								

Обработка результатов

- Вычислите погрешности $U_{эфф}$ и U_a . При этом приборная погрешность для осциллографа равна 5% от измеряемой величины, мультиметра YX360TRes – 5% от диапазона измерения, а для мультиметра M9803R – в таблице:

Погрешности измерения переменного напряжения (среднеквадратичного) для мультиметра M9803R
 Точность измерений дана в $\pm(\% \text{ от считанного значения} + \text{ количество единиц разрешения})$ при $18^\circ\text{C} \dots 28^\circ\text{C}$, относительной влажности не более 75 %.

Диапазон	Разрешение	Точность
4 В	1 мВ	$\pm(0.8\% + 5)$ 50 Гц...60 Гц
40 В	10 мВ	$\pm(1.2\% + 5)$ 45 Гц...1 кГц
400 В	100 мВ	
750 В	1 В	

- Проверьте выполнение уравнений (4.1) – (4.3) с учетом погрешностей измерения.

Упражнение 4.3. Определение рабочего интервала частот работы вольтметров.

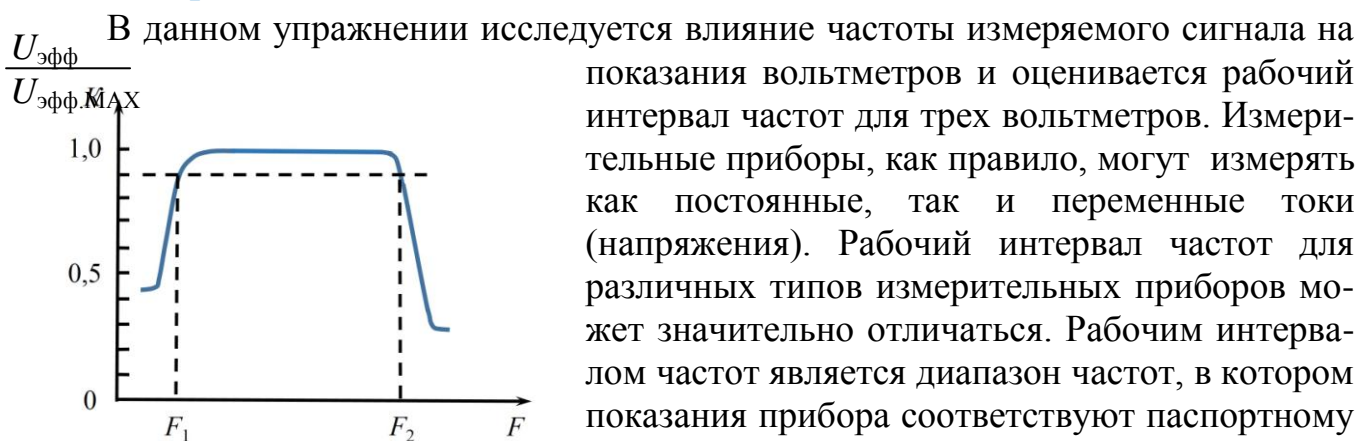


Рис. 4.13. Примерный вид амплитудно-частотной характеристики.

22 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

стот $\Delta F = F_2 - F_1$ необходимо измерить амплитудно-частотную характеристику – зависимость показаний прибора от частоты для гармонического сигнала синусоидальной формы (рис. 4.13).

Измерения

1. Цифровой вольтметр (мультиметр M9803R), стрелочный мультиметр YX360TRes и любой из каналов (Ch1 или Ch2) подключите **параллельно** к входу генератора. Установите генератор (используется встроенный генератор USB–приставки PCSGU250) в режиме генерации синусоидального сигнала. Осциллографом измерение $U_{эфф}$ осуществляется в режиме «Waveform Parameter». Включите мультиметры в режиме измерения переменного напряжения.
2. Включите генератор, установите максимальное значение выходного напряжения. Запишите показания вольтметров для различных частот. Диапазон изменения частоты: от 30 Гц до 5 МГц, не меньше 10 значений. Шаг по частоте выбирайте самостоятельно (например: 30; 50; 100; 500 Гц, 1; 5; 10; 50; 100; 500 КГц, 1, 2 МГц).
3. . Результаты запишите в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Показания вольтметров, для различных частот синусоидального напряжения

N	Установлено на генераторе, F, КГц	Измерено на осциллографе		Измерено на M9803R		Измерено на YX360TRes	
		U, В	ΔU , В	U, В	ΔU , В	U, В	ΔU , В

Обработка результатов

1. Постройте графики зависимостей $U(F)$ для трех вольтметров, используя шкалу частот в *логарифмическом масштабе*.
2. Оцените рабочий интервал частот для каждого вольтметра.

Упражнение 4.4. Нелинейные элементы в цепи переменного тока.

В данном упражнении исследуется прохождение синусоидального тока через нелинейный элемент электрической цепи – диод.

Диод – полупроводниковый прибор, принцип действия которого упрощенно можно описать так: диод пропускает ток в одном направлении и не пропускает в обратном. При подаче синусоидального сигнала на диод (рис.4.19), форма напряжения на выходе (на сопротивлении нагрузки) имеет вид, показанный на рис. 4.19. Цепь, изображенная на рис. 4.19 называется однополупериодным выпрямителем.

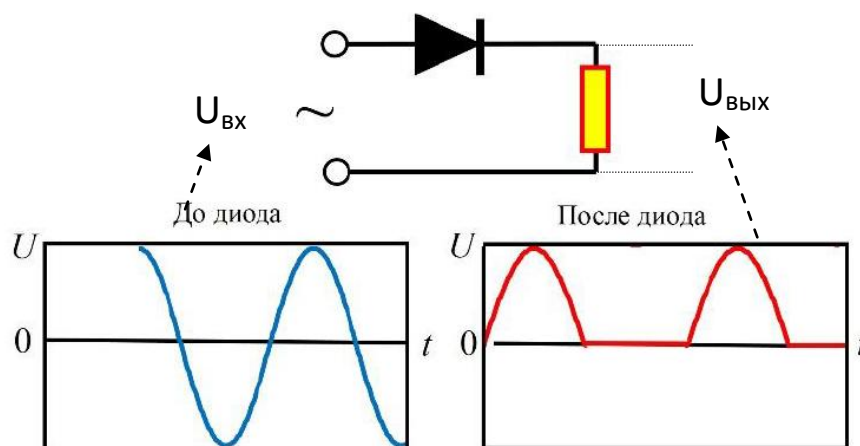


Рис. 4.19. Входной синусоидальный сигнал и выходной сигнал после диода.

При измерении вольтметром **выходного** сигнала $U_{\text{вых}}$ в **режиме постоянного тока** вольтметр показывает среднее значение измеряемой величины, которое рассчитывается по формуле

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_R dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_a \sin(\omega t) dt = \frac{U_a}{\pi} \quad \text{или} \quad U_a = \pi U_{\text{ср}}. \quad (4.6)$$

В режиме измерения **переменного тока** показания вольтметра $U_{\text{вых}}$ соответствуют среднеквадратичному значению сигнала за период. В случае синусоидально входного сигнала для однополупериодного выпрямленного напряжения на резисторе (рис.4.19) равно

$$U_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} U(t)^2 dt} = \frac{U_{\text{вх эфф}}}{\sqrt{2}} = \frac{U_a}{2} \quad (4.7)$$

Измерение

1. На монтажной плате собрать схему согласно рис. 4.20.
2. Установить на выходе генератора синусоидальный сигнал $F=100\text{Гц}$, $U_{\text{эфф}}=1\text{В}$.
3. Включить осциллограф. Установить режим «Autoset».
4. С помощью осциллографа (режиме «Waveform Parameters») измерить амплитуду синусоидального сигнала U_a .
5. С помощью вольтметра (в режиме постоянного тока) измерить $U_{\text{ср}}$, (в режиме переменного тока) – $U_{\text{эфф}}$.
6. Провести аналогичные измерения для сигналов прямоугольной и треугольной формы. Результаты измерений записать в табл. 4.10.

7. Таблица 4.10

Экспериментальные значения U_a , $U_{\text{ср}}$ и $U_{\text{эфф}}$ для цепи переменного тока, содержащей диод.

Вид сигнала	осциллограф		M9803R режим постоянного тока		M9803R режим переменного тока	
	U_a	ΔU_a	$U_{\text{ср}}$	$\Delta U_{\text{ср}}$	$U_{\text{эфф}}$	$\Delta U_{\text{эфф}}$
Синусоидальный						
Прямоугольный						
Треугольный						

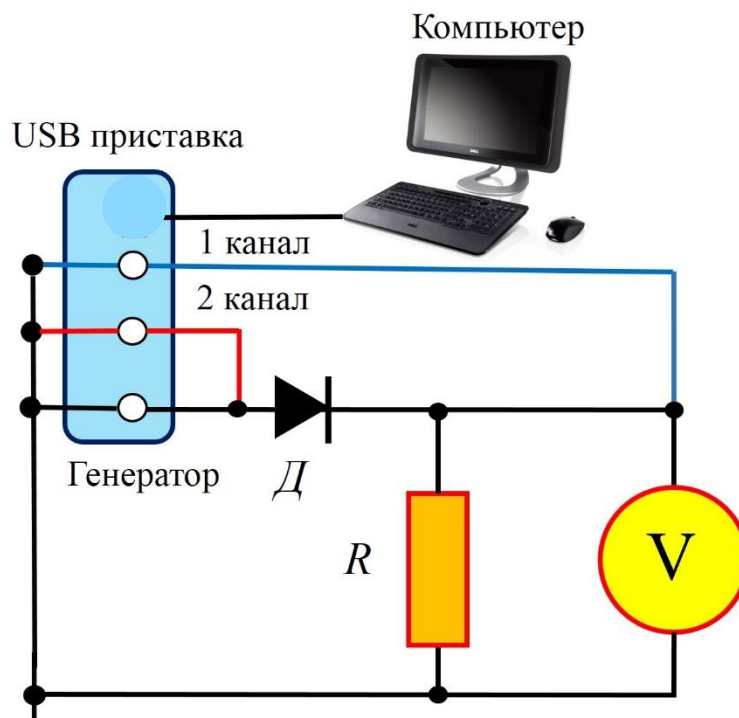


Рис. 4.20. Электрическая схема для измерения прохождения сигналов через диод, V-мультиметр M9803R.

Обработка результатов

1. Вычислите погрешности однократных измерений осциллографом по формуле

$$\Delta U_a = \sqrt{(\sigma_{\text{приб}}^{U_a})^2 + (\sigma_{\text{счит}}^{U_a})^2},$$

где $\sigma_{\text{приб}}$ - приборная погрешность (5% от измеряемой величины), $\sigma_{\text{счит}}$ - погрешность считывания (половина единицы последнего разряда).

2. Вычислите приборные погрешности измерений мультиметром M9803R.
3. Запишите результаты вычислений в табл. 4.10.
4. Проверьте выполнение формул (4.6)- (4.7) с учетом погрешностей измерений.

Упражнение 4.5. Исследование цепей переменного тока, содержащих катушку индуктивности и резистор.

Цель упражнения: познакомиться с методом векторных диаграмм для расчетов параметров цепи переменного тока; наблюдать сдвиг фаз между напряжениями на элементах цепи при синусоидальном токе; исследовать зависимость индуктивного сопротивления от частоты.

Измерения

1. Собрать схему, представленную на рис. 4.17, используя обмотку катушки с максимальным числом витков (клеммы 1,3).
2. Подать на схему с генератора синусоидальное напряжение с частотой 10 кГц, $U_{\text{эфф}} = 2$ В.

25 Лабораторная работа 4а. Электрические измерения в цепях переменного тока

3. Измерить с помощью осциллографа по масштабной сетке амплитудные напряжения U_1 , $U_2 = U_L$ и сдвиг фаз между сигналами $\Delta\varphi$. Записать эти значения в табл. 4.6. Оценить погрешности измерений.
4. Измерить с помощью осциллографа через «Waveform Parameters» U_1 , $U_2 = U_L$ и $\Delta\varphi$. Записать эти значения в табл. 4.6.
5. Поменять местами катушку индуктивности и резистор, провести измерения, аналогичные п.4., записать в табл.4.6. В этом случае $U_2 = U_R$.
6. Собрать схему с рис.4.17 с другой катушкой индуктивности (с другим числом витков – клеммы 1,2). Провести измерения аналогичные пп.4, 5.
7. Провести аналогичные измерения (пп.4, 5) для третьей катушки (клеммы 2,3).
8. Измерить для катушки с максимальным числом витков (клеммы 1,3) U_1 , $U_2 = U_L$ и $\Delta\varphi$ для разных частот через «Waveform Parameters» (выбрав еще 5 частот в интервале 10000 – 200 Гц). Результаты записать в таблицу 4.7.

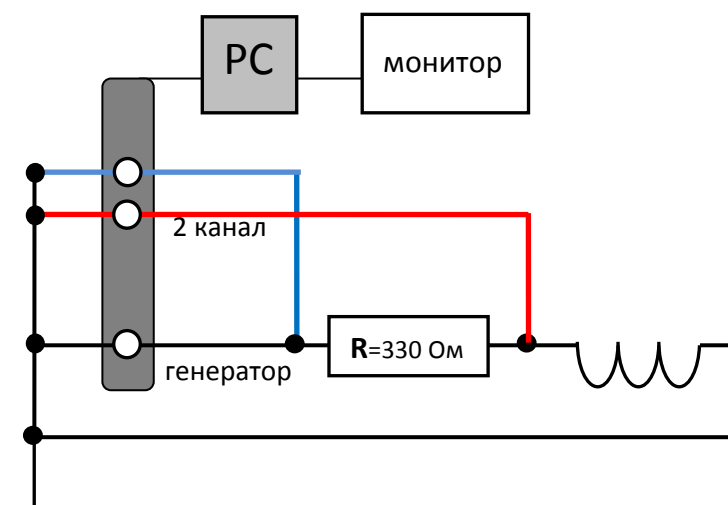


Рис. 4.17. Блок-схема для измерений напряжений и сдвига фаз в цепи с индуктивностью.

Таблица 4.6

Измеренные характеристик переменного синусоидального напряжения в RL-цепи

		$U_1, В$	$U_2, В$	$\Delta\varphi, град$	$L, мГн$	$S_L, мГн$
L_1 1,3	По масштабной сетке					
	«Waveform Parameters» U_2 измерить на L					
	«Waveform Parameters» U_2 измерить на R					
L_2 1,2	«Waveform Parameters» U_2 измерить на L					
	«Waveform Parameters» U_2 измерить на R					
L_3 2,3	«Waveform Parameters» U_2 измерить на L					
	«Waveform Parameters» U_2 измерить на R					

Таблица 4.7.

Измеренные характеристики переменного синусоидального напряжения при разных частотах в RL-цепи для катушки с максимальным числом витков (клеммы 1,3).

f , КГц	U_1 , В	U_2 , В	$\Delta\varphi$, град	I , мА	$R_L^{\text{э}}$	S_{R_L}	L , мГн	S_L , мГн
0,2								
10								

Обработка результатов

- Нарисовать в масштабе векторные диаграммы напряжений для всех трех катушек ($f = 10$ КГц). Проверить справедливость соотношений $U_L^2 + U_R^2 = U_1^2$ и $\Delta\varphi_{IR} + \Delta\varphi_{IL} = 90^\circ$.
- Вычислить значение индуктивности каждой катушки L (По измеренным характеристикам напряжений можно несколькими способами рассчитать индуктивность катушки. Запишите как минимум две формулы для расчета L). Результаты вычислений записать в табл.4.6.
- Вычислить экспериментальное значение сопротивления $R_L^{\text{э}} = \frac{U(L)}{I(L)}$ для каждого значения f (таблица 4.7). Силу тока можно рассчитать из напряжения U_R , U_R – из векторных диаграмм. Результаты вычислений записать в табл.4.7.
- Вычислить значение индуктивности L катушки с максимальным числом витков (клеммы 1,3) для каждого значения f . Вычислить по МНК среднее значение L и σ_L .
- Построить график зависимости $R_L^{\text{э}}$ от f .
- Построить на этом графике теоретические зависимости R_L^m от f . Для вычисления R_L^m используйте формулу $R_L^T = 2\pi \cdot f \cdot L$.
- Сравните теоретические и экспериментальные зависимости $R_L(f)$.

Упражнение 4.6. Проверка закона Ома для участка цепи переменного тока.

Цель упражнения: проверить выполнение закона Ома для последовательной RLC-цепи, согласно которому амплитуда переменного тока линейно зависит от амплитуды переменного напряжения на этом участке и обратно пропорциональна общему сопротивлению цепи.

Измерения

1. Собрать схему, представленную на рисунке 4.16, используя обмотку катушки с максимальным числом витков (клеммы 1,3), сопротивление $R = 330$ Ом и емкость $C = 1$ мкФ (или то, что есть в наборе). Подать на контур сигнал с генератора приставки. На первый канал осциллографа подать сигнал с резистора: этот сигнал будет пропорционален току в цепи.
2. Измерение тока I производится мультиметром DT890B+ (в режиме измерения переменного тока), напряжение на LC-цепи U_{LC} мультиметром M9803R (в режиме измерения переменного напряжения). Напряжение U_{LR} на индуктивности и резисторе измеряется с помощью осциллографа через «Waveform Parameters».
3. Установите на генераторе синусоидальный сигнал 50 Гц. Измерьте напряжения $U_{LC}^{эфф}$ на LC цепи и U_L на катушки индуктивности L при 5-6 значениях тока $I_{эфф}$ (изменение тока осуществляется за счет регулировки выходного напряжения генератора). Измеряемый ток и напряжение на LC цепи являются эффективными величинами. Закон Ома получен для амплитудных значений тока и напряжения. Поэтому переведите эффективные значения тока и напряжения в амплитудные: $I = \sqrt{2}I_{эфф}$ и $U_{LC} = \sqrt{2}U_{LC}^{эфф}$. Результаты запишите в табл. 4.8.
4. Установите на генераторе частоту 100 Гц и проведите аналогичные измерения.
5. Установите на генераторе частоту 400 Гц и проведите аналогичные измерения. Результаты измерений, проведенных в пп. 4,5 запишите в табл. 4.8.

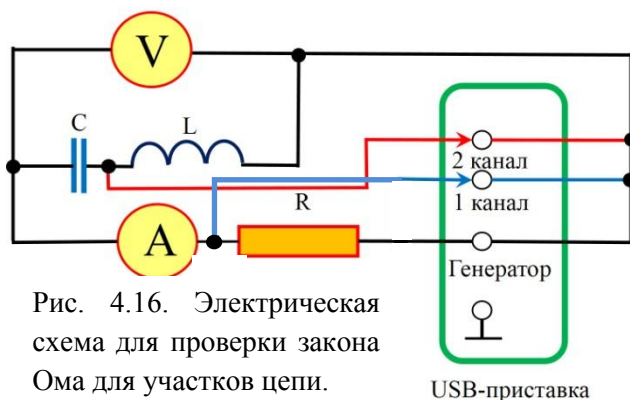


Рис. 4.16. Электрическая схема для проверки закона Ома для участков цепи.

USB-приставка

Таблица 4.8.

Экспериментальные значения тока и напряжений в цепи переменного тока

$F, Гц$	$I_{эфф}$	σ_I	$U_{LC}^{эфф}$	U_{LC}	$\sigma_{U_{LC}}$	U_L	σ_{U_L}
50							
100							
400							

Обработка результатов

1. Вычислить приборные погрешности измерений.

Погрешность измерения цифровым мультиметром DT890В+ переменного тока. Точность = \pm (% от показания + количество единиц счета).

Предел	Разрешение N	Точность
20 мА	10 мкА	$\pm (1,2\% X + 3N)$
200 мА	100 мкА	$\pm (2\% X + 3N)$

Диапазон частот: 40 Гц – 400 Гц.

2. В процессе проведения эксперимента целенаправленно изменялась величина U , при этом изменялся ток I . Следовательно, измерения являлись совместными, и для обработки результатов следует использовать метод наименьших квадратов (МНК). Постройте в одних координатных осях графики зависимости $I(U_L)$ и $I(U_{LC})$ методом МНК для различных частот синусоидального сигнала.

Основные итоги работы

В результате выполнения лабораторной работы должны быть освоены методы измерения тока и напряжения в цепях переменного тока. Установлены особенности влияния формы и частоты измеряемого сигнала на показания средств измерения. Осуществлена проверка выполнения закона Ома для участка цепи переменного тока. Исследовано прохождение синусоидального тока через нелинейные элементы.