

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.В. Гребенников, Е.В. Ярославцев

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И СИГНАЛОВ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 621.3.011.7+621.372(075.8)

ББК 31.211я73

Г79

Гребенников В.В.

Г79 Методы и средства экспериментального исследования электрических цепей и сигналов: учебное пособие / В.В. Гребенников, Е.В. Ярославцев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 172 с.

В пособии изложены краткие теоретические сведения об электрических сигналах, их параметрах и формах представления. Приведены сжатые технические описания типовых профессиональных контрольно-измерительных приборов (КИП) с рекомендациями по их практическому применению при выполнении электрических измерений в электрических цепях. Освоение КИП осуществляется каждым студентом индивидуально в ходе выполнения цикла лабораторных работ при прохождении учебной практики.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и нанoeлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии».

УДК 621.3(011.7)+621.372(075.8)

ББК 31.211я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
заместитель Генерального директора ОАО «НПЦ «Полус»
Ю.М. Казанцев

Кандидат технических наук, с.н.с.,
заместитель директора по науке обособленного
подразделения ТУСУР
И.В. Целебровский

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013

© Гребенников В.В., Ярославцев Е.В., 2013

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

Содержание

Введение	4
Раздел 1. Общие сведения об электрических сигналах	7
1.1. Понятие об электрических сигналах	7
1.2. Классификация электрических сигналов	7
1.3. Формы представления электрических сигналов	18
1.4. Параметры и характеристики аналоговых сигналов.....	24
1.4.1. Основные параметры электрических сигналов	26
1.4.2. Параметры электрических импульсов	28
1.5. Формы представления, параметры и характеристики гармонического сигнала.....	32
Раздел 2. Основные сведения об электрических измерениях	40
2.1. Основные определения. Понятие о средствах измерений.....	40
2.2. Погрешности измерений	41
2.3. Универсальное средство измерений – электронный цифровой вольтметр (на примере прибора В7-22А).....	45
2.4. Электронный осциллограф. Основные сведения о приборе.	53
Раздел 3. Рабочее место учебной лаборатории. Техническое описание оборудования и контрольно-измерительных приборов ...	61
3.1. Общие сведения	61
3.2. Монтажная панель	61
3.3. Лабораторный источник питания	64
3.4. Вольтметр универсальный цифровой В7-22А.....	69
3.5. Осциллограф GOS-620	83
3.6. Генератор синусоидальных сигналов ГЗ-109	128
3.7. Генератор прямоугольных импульсов Г5-54.....	141
Раздел 4. Лабораторный практикум.....	155
4.1. Лабораторная работа №1. Применение ЦВ В7-22А для измерений в электрических цепях постоянного тока	155
4.2. Лабораторная работа №2. Применение ЦВ В7-22А для измерений в электрических цепях переменного тока.....	158
4.3. Лабораторная работа №3. Осциллографирование постоянных и гармонических сигналов	160
4.4. Лабораторная работа №4. Осциллографирование импульсных сигналов.....	162
4.5. Лабораторная работа №5. Итоговое лабораторное занятие.....	165
Требования, предъявляемые к отчету по лабораторной работе	170
Список литературы	171

Введение

В связи с все более глубоким проникновением электроники практически во все сферы деятельности человеческого общества специализированным ВУЗам поставлена задача подготовки квалифицированных специалистов-электронщиков, которые бы не только грамотно эксплуатировали существующую электронную технику, но и были способны разрабатывать ее новые более эффективные виды. Очевидно, что наряду с глубоким знанием теории специалист должен уметь применять свои знания на практике – только в этом случае он будет востребован на рынке труда. Для усиления практической направленности обучения в учебных планах подготовки специалистов по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии», которые реализует кафедра промышленной и медицинской электроники (ПМЭ) ТПУ, при изучении студентами специальных дисциплин предусмотрено выполнение достаточно объемных лабораторных практикумов, проводимых фронтально на реальных макетах с использованием профессионального электроизмерительного оборудования. В ходе выполнения лабораторной работы каждый студент индивидуально собирает исследуемую цепь из реальных электронных компонентов, настраивает ее с помощью современной контрольно-измерительной аппаратуры и затем исследует по предложенной программе (либо минимальной, либо расширенной – в зависимости от уровня подготовки и степени мотивации).

Для эффективного выполнения лабораторных работ студенты указанных направлений после завершения первого года обучения проходят **учебную практику** в объеме 30 часов, в ходе которой получают минимально необходимый объем знаний об электрических сигналах, их параметрах, методах экспериментального измерения и аппаратуре, которая для этого используется. Теоретические занятия сопровождаются лабораторными, на которых студенты получают практические навыки работы с контрольно-измерительными приборами (КИП), учатся обрабатывать результаты проведенных исследований и представлять их в отчете в различном виде: сфазированных (синхронизированных) временных диаграмм, таблиц, графиков и т.д.

Целью учебной практики является:

– практико-ориентированная подготовка студентов к эффективному выполнению физических лабораторных практикумов, входящих в Основные образовательные программы подготовки специалистов по направлениям 210100 и 201000, путем формирования у обучающихся зна-

ний и умений в области экспериментальных исследований электрических цепей и сигналов.

В результате успешного прохождения учебной практики у студентов формируются и развиваются следующие компетенции:

Общекультурные

– владение культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения **(ОК-1)**;

– способность логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь **(ОК-2)**;

– способность стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства **(ОК-6)**;

– способность критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков **(ОК-7)**;

– способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования **(ОК-10)**;

– способность владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией **(ОК-12)**;

Общепрофессиональные

– способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики **(ПК-1)**;

– способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат **(ПК-2)**;

– готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности **(ПК-3)**;

– способность владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных **(ПК-5)**;

– способность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии **(ПК-6)**;

– способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-20);

– готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-21);

– способность налаживать, испытывать, проверять работоспособность измерительного, диагностического, технологического оборудования, используемого для решения различных научно-технических, технологических и производственных задач в области электроники и нанoeлектроники (ПК-27);

В соответствии с поставленной целью и сформированными компетенциями после прохождения учебной практики студент должен

знать:

– основные термины и определения, касающиеся электрических цепей и сигналов и средств измерения их параметров;

– фундаментальные законы природы и основные физические законы в области электричества и магнетизма;

– основные методы и средства измерения электрических величин;

– основы теории электрических и магнитных цепей;

– элементную базу электронной техники;

уметь:

– применять математические методы и физические законы для решения практических задач;

– решать задачи обработки данных с помощью современных инструментальных средств конечного пользователя;

– применять интерактивные графические системы для выполнения и редактирования изображений и чертежей;

владеть:

– навыками практического применения законов физики;

– методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств электроники;

– методами обработки и оценки погрешности результатов измерений;

– методами представления результатов исследования в отчетных документах.

Раздел 1. Общие сведения об электрических сигналах

1.1. Понятие об электрических сигналах

В технической электронике, как и в других разделах электротехники, основными физическими величинами, характеризующими электромагнитные процессы, происходящие в электрической цепи (ЭЦ), являются электрический заряд $q(t)$, электрический ток $i(t)$, электрическое напряжение $u(t)$ и электрическое сопротивление $R(r)$.

Электромагнитные процессы развиваются в электронном устройстве сразу же после подключения к нему питающего напряжения: в замкнутых ветвях электрической цепи появляются электрические токи, под действием которых на компонентах, входящих в цепь, формируются напряжения. Чтобы настроить схему или разобраться, правильно ли работает устройство, специалист-электронщик, используя измерительные приборы, определяет токи и напряжения в характерных точках схемы, то есть получает техническую информацию, на основании которой делает выводы об особенностях функционирования исследуемого блока. Материальный носитель информации об электромагнитных процессах, происходящих в электрической цепи, в качестве которого используется обычно либо ток, либо напряжение, называется *электрическим сигналом*. В общем случае и ток, и напряжение характеризуются достаточно большим числом параметров. Однако не все параметры сигнала интересуют исследователя, а, следовательно, подлежат измерению. Измеряется обычно тот параметр (его называют *информативным*), который функционально связан с измеряемой величиной и несет необходимую для решения конкретной задачи информацию. Например, при снятии амплитудно-частотной характеристики электронного усилителя, дискретно меняя частоту входного гармонического сигнала, измеряют только действующие значения напряжений на входе и выходе устройства, а при снятии фазо-частотной характеристики – разность фаз входной и выходной гармоник, не фиксируя величины напряжений. Поскольку сигнал несет количественную информацию об измеряемой физической величине, его принято называть *измерительным сигналом*. Все основные сведения об измерительных сигналах – определения, терминология, параметры и т.д. – регламентирует ныне действующий ГОСТ 16465-70 «Сигналы радиотехнические. Термины и определения».

1.2. Классификация электрических сигналов

Измерительные сигналы отличаются большим разнообразием. По характеру изменения информативного и временного параметров сигналы делят на три группы: *аналоговые*, *дискретные* и *цифровые*.

Аналоговым называют сигнал, который описывается **непрерывной** или **кусочно-непрерывной** (с конечными разрывами 1-го рода) функцией $s_a(t)$. Основным отличием аналогового сигнала от дискретного и цифрового является его **континуальность** (непрерывность) как по значениям (величине, размеру, уровню), так и во времени. Это означает, что и сама функция $s_a(t)$, и ее аргумент t могут принимать любые значения на заданных интервалах: $s \in (S_{\min}; S_{\max}); t \in (t_{\min}; t_{\max})$ – рис. 1.1, а.

Аналоговые сигналы наиболее часто встречаются в практической деятельности специалиста-электронщика, так как практически все **первичные** сигналы, существующие в природе, непрерывны во времени и по величине. Поскольку аналоговый сигнал подобен, т.е. **аналогичен** породившему его физическому процессу, его и называли аналоговым. Аналоговыми сигналами являются, например, сигнал на выходе микрофона, выходное напряжение термопары, показания бытового спиртового или ртутного термометра и т.д.

Дискретный (от лат. *discretus* – прерывистый, разделенный) сигнал, в отличие от аналогового, не является непрерывным: он меняется **дискретно** либо только во времени, оставаясь непрерывным по величине, либо только по уровню, будучи непрерывным по времени, либо одновременно и по времени, и по уровню.

Дискретный во времени и непрерывный по уровню сигнал существует лишь в дискретные моменты времени nt_d , где t_d – период (шаг, интервал) дискретизации, $n = 0; 1; 2; \dots$. В эти моменты функция $s_d(nt_d)$ может принимать любые значения из заданного диапазона: $s_d(nt_d) \in (S_{\min}; S_{\max})$ – рис. 1.1, б. Для преобразования аналогового сигнала $s_a(t)$ в дискретный по времени определяют мгновенные значения первичного сигнала в моменты времени nt_d . Полученные значения, называемые **выборками** или **отсчетами**, и являются значениями непрерывного по уровню, но дискретного по времени сигнала $s_d(nt_d)$, т.е. $s_d(nt_d) = s_a(nt_d)$. Эта операция называется **дискретизацией** функции $s_a(t)$ **по времени**. Математически полученный сигнал описывается решетчатыми функциями. Величину, обратную шагу t_d , называют **частотой дискретизации**: $f_d = 1/t_d$. На практике указанная операция реализуется с помощью специальных электронных устройств, формирующих в моменты nt_d узкие (в идеале – нулевой длительности) прямоугольные импульсы с соответствующими амплитудами $s_d(nt_d)$, повторяющими значения непрерывной функции $s_a(t)$ в дискретные моменты времени nt_d . Полученная в результате последовательность импульсов называется **амплитудно-импульсным модулированным сигналом** (АИМ-сигнал).

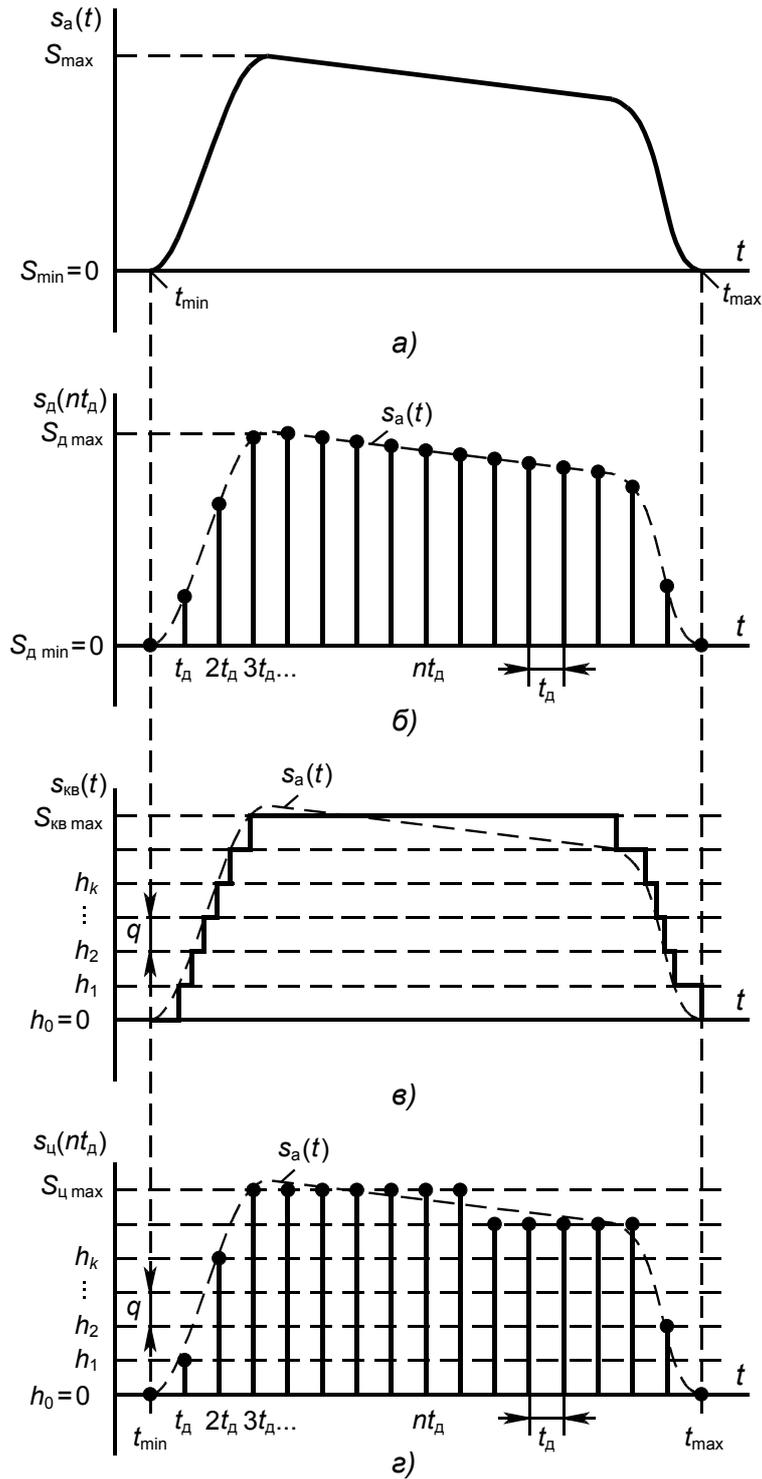


Рис. 1.1. Электрические сигналы: а) аналоговый; б) дискретный по времени непрерывный по величине; в) непрерывный по времени квантованный по величине; г) цифровой

Примером дискретного во времени и непрерывного по уровню сигнала служит, например, график в виде равномерно расположенных по оси времени точек, отражающих температуру окружающего воздуха в Том-

ске, сведения о которой Гидрометеоцентр предоставляет средствам массовой информации с определенной периодичностью. Таким образом, в результате дискретизации непрерывный процесс изменения температуры оказывается представленным дискретной последовательностью десятичных чисел (цифр).

Дискретный по уровню и непрерывный по времени сигнал. В этом случае значения сигнала $s_{\text{кв}}(t)$ существуют в любой момент времени из диапазона $t \in (t_{\text{min}}; t_{\text{max}})$, но при этом они, в отличие от аналогового сигнала, могут принимать лишь фиксированный ряд значений $h_k = kq$ ($k = 0; 1; 2; \dots$), кратных так называемому **кванту** q – рис. 1.1, в. Такой сигнал получают из аналогового путем **квантования** последнего с помощью специальной электронной аппаратуры – преобразования непрерывно меняющейся во времени величины в ступенчато изменяющуюся с определенным размером ступени q – квантом. В результате квантования непрерывное множество значений сигнала $s_a(t)$ из диапазона $S_{\text{min}} \div S_{\text{max}}$ преобразуется в дискретное множество значений $s_{\text{кв}}(t)$. Квантование по уровню – широко используемая в современной измерительной технике операция. Определение, например, размера какого-то предмета с помощью линейки с миллиметровыми делениями дает результат, кратный одному миллиметру, который в данном случае выступает в качестве кванта. Аналогом непрерывной по времени и дискретной по уровню величины служит кирпичная стена, высота которой в любой точке кратна высоте одного кирпича.

Величина кванта q может быть как постоянной (фиксированной), так и переменной (неравномерное квантование), однако случаи дискретизации непрерывного сигнала по уровню с переменной величиной кванта достаточно редко встречаются на практике.

Цифровой сигнал – это сигнал $s_{\text{ц}}(nt_{\text{д}})$, дискретный **одновременно** и по величине, и по времени (принято говорить – **квантованный по уровню и дискретный по времени**). Таким образом, функция $s_{\text{ц}}(nt_{\text{д}})$ в дискретные моменты времени $nt_{\text{д}}$ принимает лишь конечный ряд дискретных значений $h_i = kq$ ($k = 0; 1; 2; \dots$) и описывается квантованными решетчатыми функциями – рис. 1.1, г. В результате дискретизации аналогового сигнала по времени с одновременным квантованием величины отсчетов получается последовательность узких квантованных по амплитуде импульсов, которые и являются **цифровыми сигналами**. Указанная процедура называется **квантованной амплитудно-импульсной модуляцией** (КАИМ), после которой на каждом периоде дискретизации первичный сигнал представлен приближенным значением, являющимся **целым** числом. Специальное устройство, называемое **кодером**, перево-

дит это число в **двоичную систему счисления**, в которой оно представляется последовательностью единиц и нулей (соответственно, наличие или отсутствие узкого импульса напряжения, занимающего определенное временное положение в последовательности) – **логическими** сигналами, которые и передаются по каналам цифровой связи. Операция преобразования аналогового сигнала в цифровой код (дискретизация по времени, квантование по уровню и цифровое кодирование) осуществляется в настоящее время одной микросхемой, называемой **аналого-цифровым преобразователем** (АЦП). Следует отметить, что именно логические сигналы используются в современных средствах измерительной техники и обрабатываются компьютерами и микропроцессорными устройствами.

В зависимости от того, меняется ли электрический сигнал с течением времени или его значение остается неизменным, различают **постоянные** и **переменные** сигналы. **Постоянные сигналы** во времени не меняются и являются одним из самых простых видов измерительных сигналов. Примером постоянного сигнала является, например, сигнал $s(t) = S_0 = const$, уровень которого прямопропорционален величине выходного постоянного напряжения источника питания электронного устройства, свидетельствующий о его включенном или выключенном состоянии – рис. 1.2.

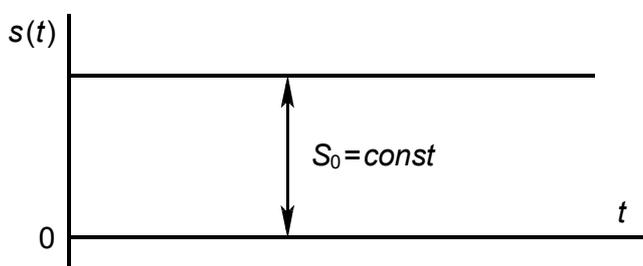


Рис. 1.2. Постоянный электрический сигнал

Переменный сигнал, величина которого меняется с течением времени, называют еще **электрическим колебанием**. Такие сигналы могут быть **непрерывными** и **импульсными**. **Непрерывный сигнал** описывается **непрерывной функцией без разрывов**, т.е. его параметры изменяются непрерывно на всей временной оси в интервале определения. Примером непрерывного сигнала является широко распространенный на практике гармонический (синусоидальный) сигнал $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, меняющийся во времени по синусоидальному (или косинусоидальному) закону – рис. 1.3.

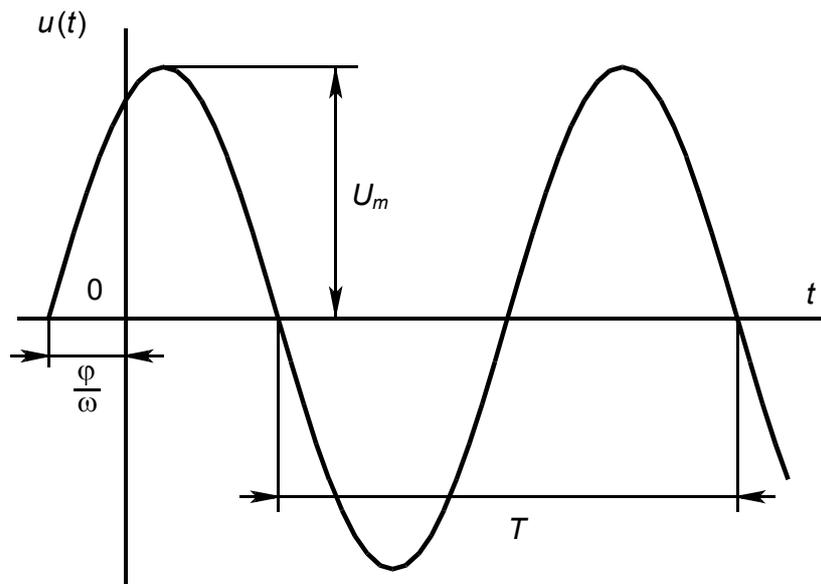


Рис. 1.3. Гармонический сигнал – типичный переменный во времени сигнал

Импульсные сигналы бывают двух видов: **видеоимпульсы** и **радиоимпульсы**.

Одиночный **видеоимпульс** – это кратковременное отклонение напряжения (тока) от начального значения (в частном случае от нуля). Понятие «**кратковременное отклонение**» подразумевает, что сигнал существует в течение относительно короткого интервала времени, существенно меньшего времени наблюдения. Термин «видеоимпульс» впервые появился вместе с появлением телевидения, в технической электронике он практически не используется, поэтому в последующем материале под словами «импульсный сигнал, электрический импульс» будем понимать именно видеоимпульс в первоначальном его представлении. Импульсные сигналы описываются кусочно-непрерывными функциями с конечными разрывами 1-го рода. График в декартовой системе координат, отражающий закон изменения импульсного сигнала во времени, позволяет судить о его геометрической форме, которая в общем случае может быть самой разнообразной. Наиболее часто на практике встречаются импульсы прямоугольной, треугольной (пилообразной), трапецеидальной и экспоненциальной формы, которая и определяет название конкретного импульсного сигнала – рис. 1.4. Параметры импульсных сигналов будут рассмотрены далее более подробно.

Радиоимпульс $u_{\text{ри}}(t)$ представляет собой отрезок высокочастотного синусоидального колебания с **несущей** частотой $f_{\text{н}} = 1/T_{\text{н}}$, амплитуда которого меняется по некоторому закону, описывающему, например, некий видеоимпульс – (рис. 1.5, б).

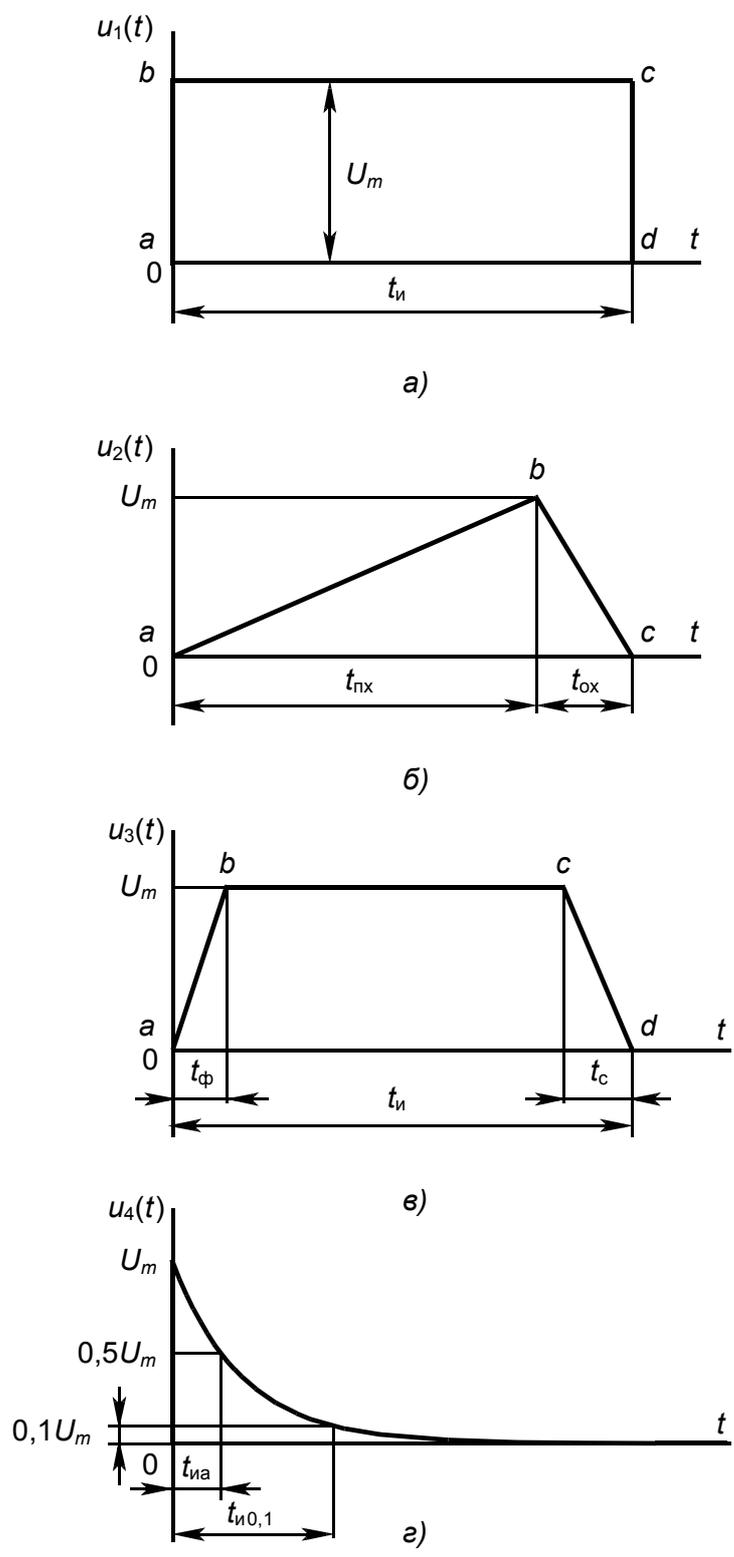


Рис. 1.4. Импульсные сигналы: а) – прямоугольный; б) – треугольный (пилообразный); в) – трапецидальный; г) – экспоненциальный

Радиоимпульсы широко используются в радиотехнике, телевидении, радиолокации для передачи информации на дальние расстояния каналами радиосвязи; в промышленной и медицинской электронике радиоимпульсы практически не применяются и в дальнейшем рассматриваться не будут.

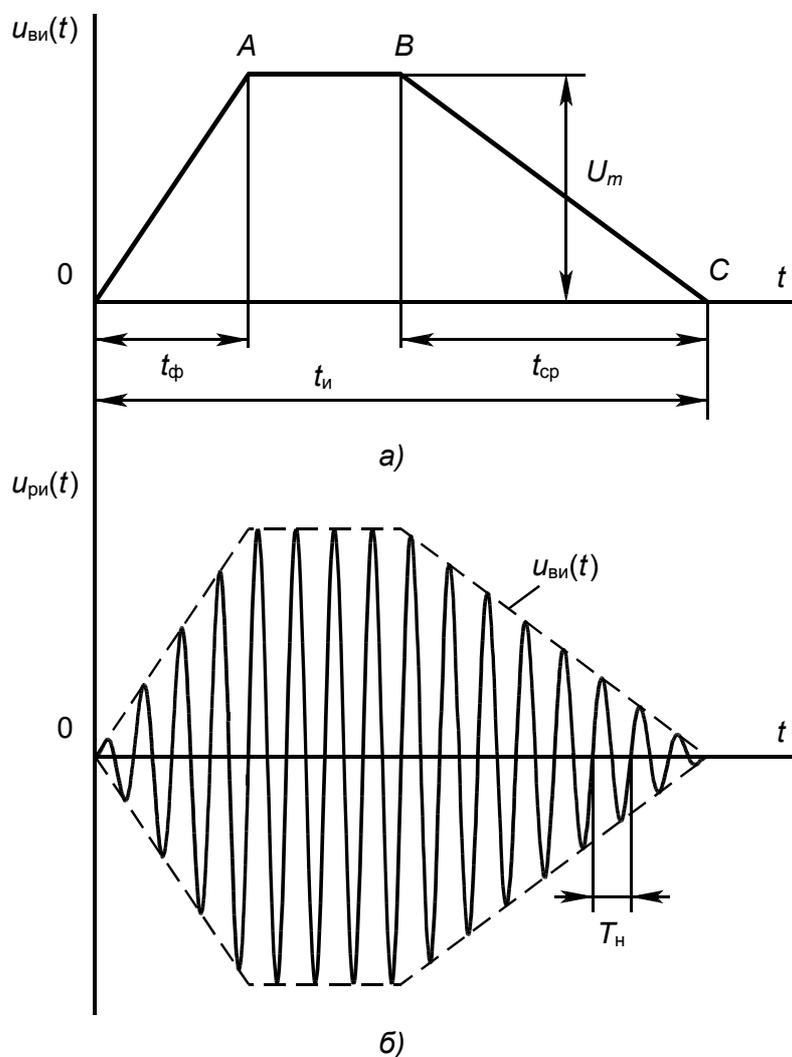


Рис. 1.5. Трапецидальный видеоимпульс (а) и несущий информацию о его форме радиоимпульс (б)

Вся совокупность электрических сигналов делится на три группы: детерминированные, квазидетерминированные и случайные. Сигнал является **детерминированным** или **регулярным**, если **все** параметры функции $s(t)$, описывающей сигнал, заранее известны. Следовательно, значения такого сигнала в любой момент времени могут быть предсказаны с вероятностью 100%. Детерминированными сигналами являются, например, выходные напряжения измерительных генераторов (Г5-54,

ГЗ-109 и др.), используемых при настройке и исследовании электронных схем, поскольку параметры этих сигналов с незначительной погрешностью соответствуют установленным органами управления на передней панели прибора.

Если функция $s(t)$, описывающая закон изменения сигнала во времени, содержит наряду с известными хоть один неизвестный для исследователя параметр, сигнал называется **квазидетерминированным** (квази- – условно, почти). В измерительной практике подавляющее большинство обрабатываемых сигналов является квазидетерминированными.

В случае, когда закон изменения сигнала неизвестен и его значения невозможно предсказать, сигнал называют **случайным** или **нерегулярным**. К случайным сигналам относятся, например, разного рода электрические помехи и шумы, существенно влияющие на работу реальных электронных устройств. Для анализа случайных сигналов используется хорошо развитый математический аппарат теории вероятностей и теории случайных процессов.

Переменные детерминированные сигналы бывают **периодическими** и **непериодическими**.

Сигнал является **периодическим**, если его мгновенные значения повторяются через постоянный интервал времени T , наименьшее значение которого называется **периодом**. Величину, обратную периоду, называют **частотой повторения периодического сигнала**: $f = 1/T$. Типичным примером периодического сигнала служит гармонический, описываемый периодической функцией синуса – рис. 1.3.

Из непериодических сигналов выделяют **переходные**, отражающие переходные процессы, происходящие в электрических цепях.

Электрические сигналы могут быть **простыми** и **сложными**. Сигнал называют **простым** или **элементарным**, если в области определения он описывается одной элементарной функцией времени. Примерами элементарных сигналов являются уже упоминавшийся выше **постоянный** сигнал (рис. 1.2), характеризующийся всего одним параметром S_0 , а также **единичная функция** $1(t - t_0)$, **дельта-функция** $\delta(t - t_0)$ и некоторые другие.

Единичная функция $1(t - t_0)$, называемая также **функцией включения** или **функцией Хевисайда** (рис. 1.6), представляет собой безразмерный единичный скачок, появляющийся в некоторый момент времени t_0 , в частности равный нулю, и продолжающийся бесконечно долго.

Аналитически эта функция записывается следующим образом:

$$1(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < t_0; \\ 1, & \text{при } t \geq t_0. \end{cases} \quad (1.1)$$

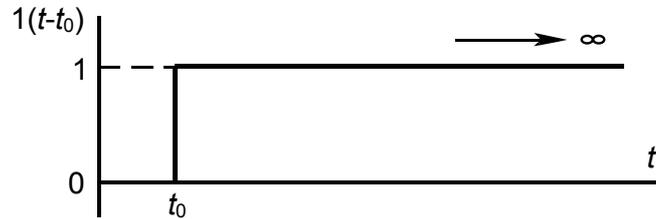


Рис. 1.6. Единичная функция (функция Хевисайда)

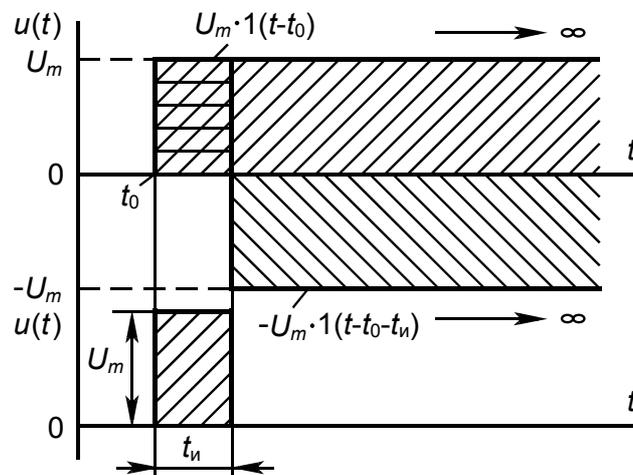


Рис. 1.7. Математическое моделирование идеального прямоугольного импульса с помощью функций Хевисайда

Функция Хевисайда широко используется в теоретических исследованиях для математического описания импульсных сигналов. На рис. 1.7 показан, например, идеальный прямоугольный импульс с амплитудой U_m и длительностью t_n , появляющийся в момент времени t_0 , реализованный разностью двух единичных функций, сдвинутых относительно друг друга на время t_n :

$$u(t) = U_m \cdot [1(t - t_0) - 1(t - t_0 - t_n)].$$

Дельта-функция $\delta(t - t_0)$, называемая также **импульсной функцией** или **функцией Дирака**, представляет собой предел, к которому стремится прямоугольный импульс с длительностью t_n и амплитудой $1/t_n$ (т.е. **единичной площади**: $S_n = t_n \cdot (1/t_n) = 1$) при $t_n \rightarrow 0$ – рис. 1.8.

Уравнение, описывающее дельта-функцию, имеет вид:

$$\delta(t-t_0) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \neq t_0; \\ \infty, & \text{при } t = t_0. \end{cases} \quad (1.2)$$

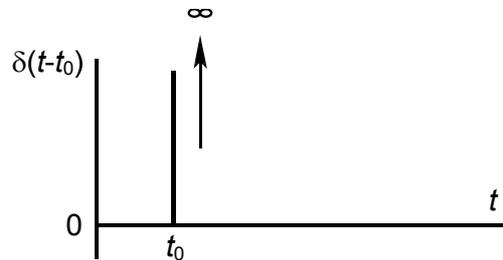


Рис. 1.8. Графическое представление дельта-функции

Таким образом, дельта-функция – это **положительный импульс единичной площади**, появляющийся в момент времени t_0 (в частном случае равно нулю) и имеющий при нулевой длительности бесконечно большую амплитуду (говорят, что функция сосредоточена в точке t_0):

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0) \cdot dt = 1.$$

При теоретических исследованиях широко используется **фильтрующее свойство** δ -функции, заключающееся в том, что интеграл произведения некоторой функции $s(t)$ на $\delta(t-t_0)$ дает значение этой функции в момент t_0 :

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \delta(t-t_0) \cdot dt = s(t_0),$$

т.е. данная операция «фильтрует» значения $s(t)$, выделяя из множества значений одно-единственное $s(t_0)$ (используется при математическом описании дискретизации аналоговых сигналов).

В случае, когда сигнал представляет собой результат последовательного во времени сложения нескольких простых сигналов $s_i(t)$, т.е.

$$s(t) = \sum_{i=1}^n s_i(t), \text{ где } i = 1; 2; \dots; n - \text{целое число, его называют } \textit{сложным}$$

или **составным**. Таким сигналом является, например, напряжение конденсатора $u_c(t) = u_{c1}(t) + u_{c2}(t) + u_{c3}(t)$, который вначале заряжается от источника постоянного напряжения, а потом, через паузу, разряжается до нуля – рис. 1.9.

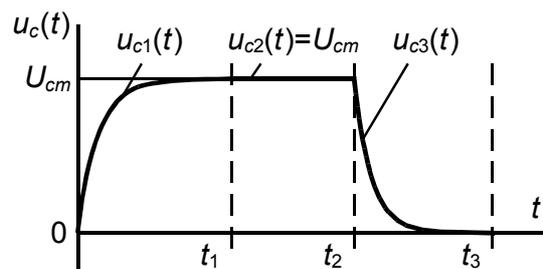


Рис. 1.9. Сложный (составной) электрический сигнал

1.3. Формы представления электрических сигналов

Существует несколько форм представления электрических сигналов (включая словесное описание), однако на практике наиболее широко используются три формы: *аналитическая*, *графическая* и *спектральная*.

В теоретических исследованиях применяют *аналитическую* форму – функцию $s(t)$ аргумента t , описывающую изменение сигнала во времени и являющуюся его *математической моделью*. Следует отметить, что математическая модель никак не отражает физическую природу сигнала, поэтому одна и та же формула может быть использована для описания и тока, и напряжения, и интенсивности светового потока и т.д. Поскольку реальные электрические сигналы материальны, описывающие их функции являются вещественными. Однако в некоторых случаях для упрощения анализа удобнее описывать сигнал комплексными функциями (далее подробно рассказывается о представлении синусоидального сигнала комплексной функцией).

С аналитической тесно связана *графическая* форма представления сигнала, наглядно отражающая изменение функции $s(t)$ во времени на графике в декартовой системе координат. Вдоль осей в определенном масштабе откладывается время t (ось абсцисс) и соответствующие ему мгновенные значения сигнала (ось ординат). Полученный график называют *временной диаграммой* сигнала, позволяющей однозначно судить о его геометрической форме. Если диаграмма получена в результате визуальной или фотографической регистрации изображения сигнала на экране осциллографа, то ее называют *осциллограммой*. Аналитическая и графическая формы представляют электрические сигналы во *временной области* (т.е. отражают изменение сигнала во времени), взаимно дополняют друг друга и используются, как правило, вместе.

Спектральная форма представляет сигнал в *частотной области*, где основным аргументом функции, описывающей сигнал, является частота ω (или f). Эта форма тесно связана с понятием *спектр сигнала*.

Что же такое спектр? И математически, и физически (путем проведения соответствующих экспериментов) доказано, что любой реальный электрический сигнал $s(t)$ можно представить в виде суммы некоторых более простых *однотипных* сигналов, называемых *базисными функциями* или *спектральными составляющими* этого сигнала:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cdot f_n(t). \quad (1.3)$$

Здесь: $f_n(t)$ – базисные функции; C_n – постоянные коэффициенты. Совокупность спектральных составляющих $C_n \cdot f_n(t)$, где $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$ – порядковый номер слагаемого, и называется *спектром сигнала* в выбранной системе базисных функций. Количество слагаемых в спектре зависит от вида сигнала и может быть как конечным, так бесконечным.

В качестве базисных используются различные элементарные сигналы, например, идеальные прямоугольные импульсы, однако на практике наиболее широко используются *гармонические спектры*, состоящие из гармонических составляющих с определенными частотами ω_n , амплитудами U_{mn} и начальными фазами φ_n – рис. 1.3. Выбор гармонического сигнала в качестве базисной функции не случаен: это – единственный сигнал, который, проходя через линейную электрическую цепь, не искажается по форме, меняя лишь амплитуду и начальную фазу. Кроме того, гармонические сигналы достаточно просто реализуются технически, что тоже является их преимуществом по сравнению с другими типами сигналов. В связи с этим в дальнейшем будут рассматриваться только гармонические спектры.

Существуют *дискретные* и *сплошные* спектры.

Дискретным (линейчатым) гармоническим спектром обладают периодические сигналы. Для нахождения гармонического спектра некоторого периодического сигнала $s(t)$ его, пользуясь известными формулами, разлагают в *ряд Фурье*

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos n\omega t + b_n \cdot \sin n\omega t), \quad (1.4)$$

где $\omega = 2\pi/T$ – угловая частота периодического сигнала $s(t)$; T – период; a_n, b_n – постоянные коэффициенты, определяемые выражениями

$$a_n = \frac{2}{T} \int_T s(t) \cdot \cos n\omega t \cdot dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_T s(t) \cdot \sin n\omega t \cdot dt. \quad (1.5)$$

Для определения коэффициентов a_n, b_n интегрирование в соответствии с уравнениями (1.5) проводят в любом произвольно взятом интервале времени T (как правило, от 0 до T или от $-T/2$ до $T/2$).

С использованием известного из математики соотношения $\alpha_n(t) = a_n \cdot \cos n\omega t + b_n \cdot \sin n\omega t = A_{mn} \cdot \cos(n\omega t - \psi_n)$, где $A_{mn} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$; $\operatorname{tg}\psi_n = b_n / a_n$, выражение (1.4) преобразуется к виду:

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \cdot \cos(n\omega t - \psi_n). \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) следует, что спектр периодического сигнала в общем случае содержит *постоянную составляющую* $a_0/2$ и бесконечное число *гармонических составляющих* $A_{mn} \cdot \cos(n\omega t - \psi_n)$, $n = 1; 2; \dots \infty$. Гармонические составляющие, характеризующиеся амплитудами A_{mn} , начальными фазами ψ_n и частотами $n\omega$, кратными основной частоте ω , называют *гармониками*. Каждая из гармоник имеет свой порядковый номер. *Первая гармоника* ($n = 1$), частота которой равна частоте рассматриваемого сигнала ($\omega_1 = \omega$), называется *основной*. Все последующие гармоники (*вторая, третья* и т.д.) получили название *высших* и имеют частоты, в n раз превышающие ω : $\omega_2 = 2\omega$; $\omega_3 = 3\omega$; ... $\omega_n = n\omega$.

Постоянная составляющая $a_0/2$, называемая иначе *нулевая гармоника*, представляет собой *среднее за период значение* рассматриваемого сигнала и определяется формулой (1.5) при $n = 0$:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{2} a_n \Big|_{n=0} = \frac{1}{T} \int_T s(t) \cdot dt. \quad (1.7)$$

Различают *амплитудный* и *фазовый спектры* периодического сигнала. Амплитудный спектр – это дискретная функция $A_{mn} = f(n\omega)$, $n = 0; 1; 2; \dots$, отражающая зависимость амплитуд гармоник от частоты. Аналогичная функция $\psi_n = f(n\omega)$, показывающая, как зависят от частоты начальные фазы гармоник сигнала, является его фазовым спектром.

На рис. 1.10 представлены периодическая последовательность идеальных прямоугольных импульсов со скважностью $q = T/t_{\text{и}} = 2$ и соответствующие ей амплитудный и фазовый спектры, ограниченные 10-ю гармониками.

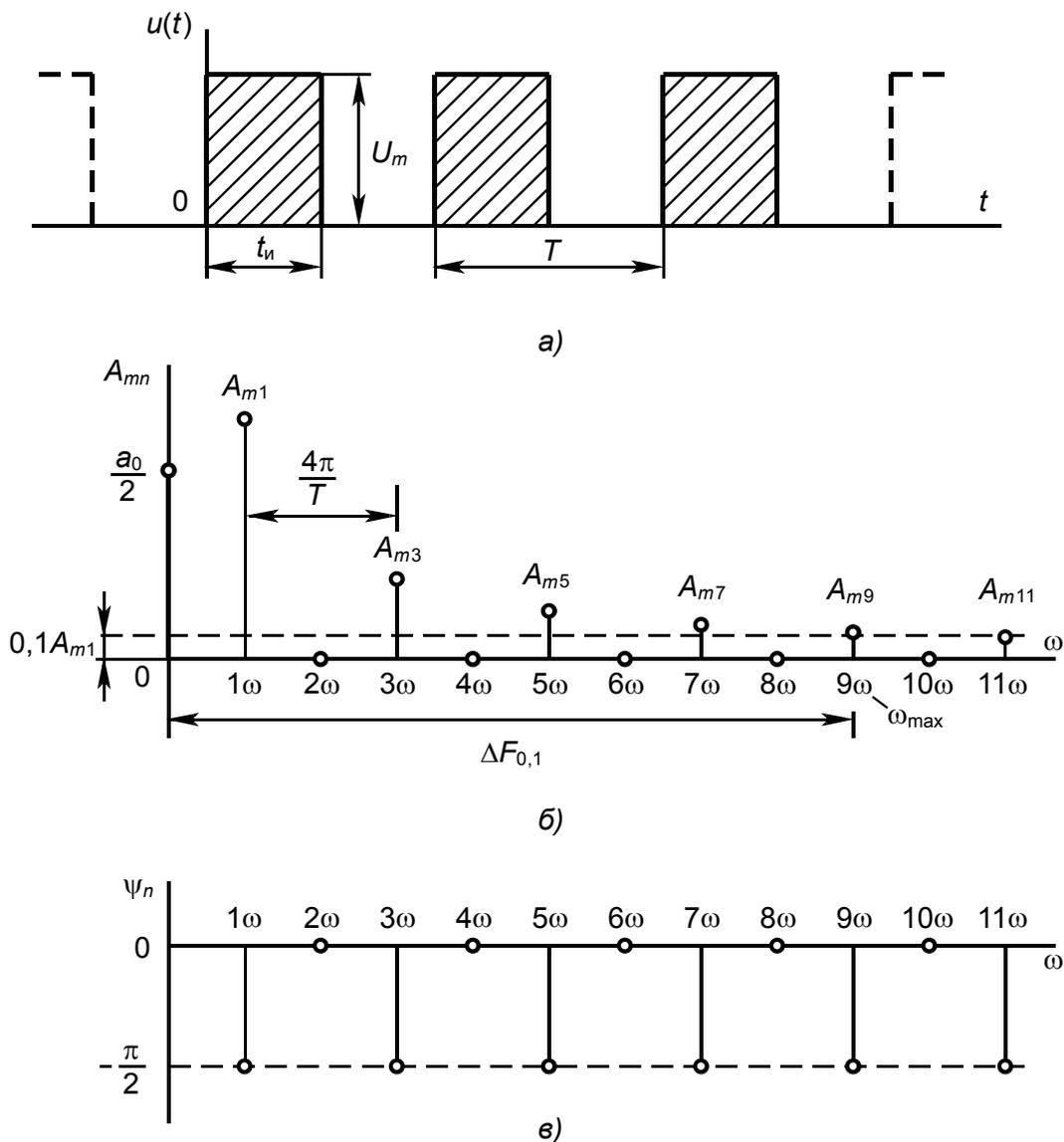


Рис. 1.10. Последовательность идеальных прямоугольных импульсов со скважностью $q = 2$ (а) и ее спектры: амплитудный (б) и фазовый (в)

Видно, что амплитудный спектр содержит постоянную составляющую $a_0/2$, равную в рассматриваемом случае половине амплитуды импульса ($q = 2!$), и нечетные гармоники 1, 3, 5..., отстоящие друг от друга по оси частот на интервал $\omega_3 - \omega_1 = 2\Delta\omega = 4\pi/T$. Отсутствие четных гармоник объясняется тем, что функция, описывающая сигнал, является нечетной (рис. 1.10, а), и, следовательно, все четные спектральные составляющие равны нулю.

По амплитудному спектру определяют важный параметр сигнала: **ширина спектра** $\Delta F = \omega_{\max} - \omega_{\min}$, значение которого используется для предъявления требований к **полосе пропускания электрической цепи**,

на которую данный сигнал воздействует. Теоретически, как известно, ширина спектра равна бесконечности. Однако с увеличением номера амплитуда гармоник падает (рис. 1.10, б). Это позволяет, начиная с некоторой составляющей с амплитудой A_{mk} , пренебречь остальными высшими гармониками, снижая тем самым требования к частотным свойствам используемых электронных устройств. Для нахождения ΔF задают минимальный уровень амплитуды A_{mk} (обычно от $0,1A_{m1}$ до $0,01A_{m1}$), частота которой $\omega_k = k \cdot \omega_1 = \omega_{\max}$ и будет соответствовать верхней граничной частоте спектра. Например, на рис. 1.10, б диапазон $\Delta F_{0,1}$ определен по уровню $0,1A_{m1}$ (10 % от амплитуды первой гармоники A_{m1}).

Относительно фазового спектра рассмотренного сигнала (рис. 1.10, в) можно отметить, что начальные фазы всех нечетных гармоник одинаковы и равны $-\pi/2$, а четных – имеют нулевое значение.

С помощью программы MathCAD было произведено разложение в ряд Фурье (определен спектр) сигнала, представляющего собой периодическую последовательность идеальных прямоугольных импульсов с частотой 1 кГц, амплитудой 10 В и скважностью $q = 2$ – рис. 1.10, а. Затем исходный сигнал был восстановлен (синтезирован) с использованием полученных результатов разложения: постоянной составляющей $a_0/2$ и 10-ти (40-ка – 2 случая) первых гармоник спектра. Результаты восстановления показаны на рис. 1.11. Видно, что восстановленный сигнал близок по форме к исходному, причем с увеличением числа гармоник, участвовавших в восстановлении, степень приближения к оригиналу возрастает – рис. 1.11, б.

Сплошным гармоническим спектром обладают непериодические (в частности, одиночные) сигналы.

Одиночный сигнал можно условно полагать периодическим с периодом, стремящимся к бесконечно большой величине ($T \rightarrow \infty$). В соответствии с формулами (1.4)–(1.6) параметры составляющих спектра такого сигнала меняются: постоянная составляющая $a_0/2$, коэффициенты a_n и b_n , а, следовательно, и амплитуды гармоник A_{mn} стремятся к нулю. Кроме того, расстояние между смежными гармониками по оси частот, равное частоте основной гармоники $\Delta\omega = \omega_1 = 2\pi/T$, тоже стремится к нулю, т.е. гармоники смыкаются, образуя ***сплошной спектр***.

На практике работать с бесконечно малыми величинами неудобно, поэтому для описания сплошного спектра непериодического сигнала $s(t)$ используют так называемую ***функцию спектральной плотности***

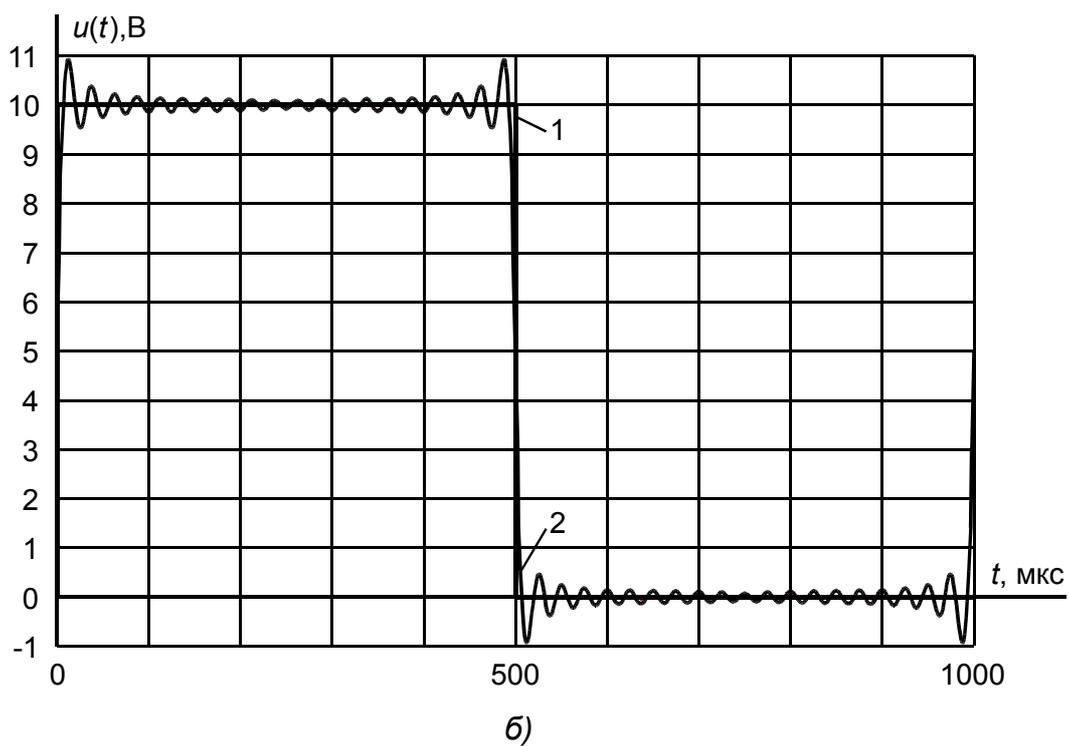
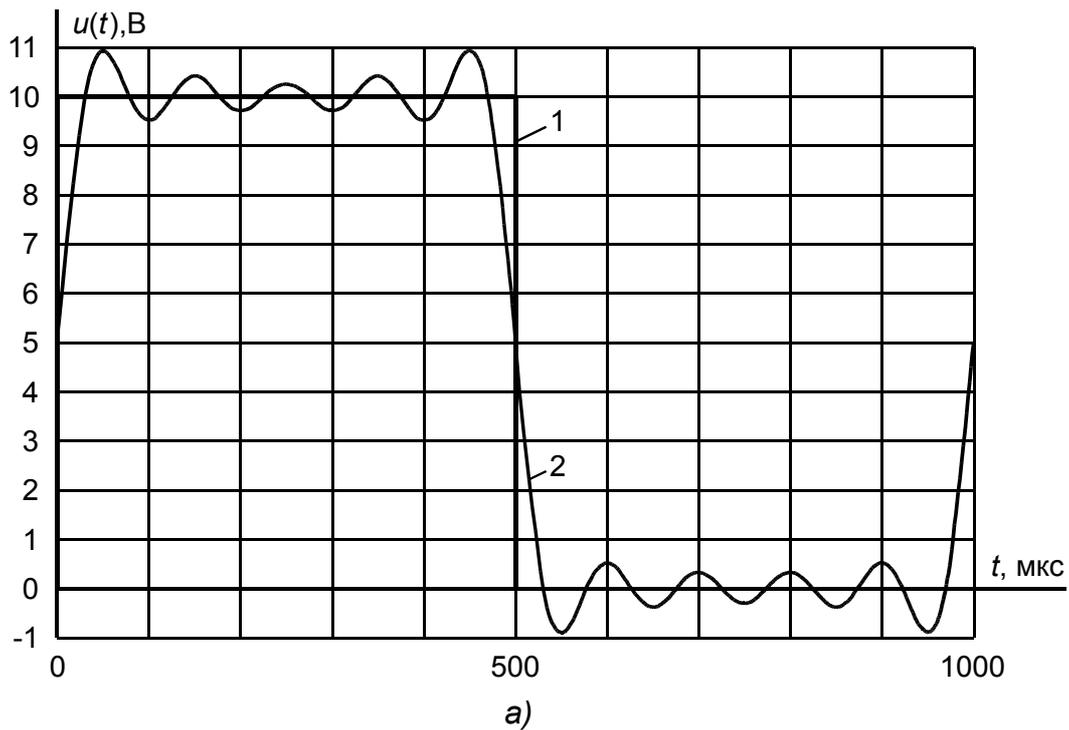


Рис. 1.11. Синтез последовательности идеальных прямоугольных импульсов при $q = 2$ (один период) по известному спектру сигнала с учетом:
 а) – постоянной составляющей и 10-ти гармоник;
 б) – постоянной составляющей и 40-ка гармоник –
 1 – исходный сигнал; 2 – синтезированный

$$\dot{S}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt, \quad (1.8)$$

определенную от $-\infty$ до ∞ (реально – в области определения исследуемого сигнала) на всей оси частот ω .

Выражение (1.8) называют **прямым преобразованием Фурье** или **интегралом Фурье**.

Модуль $|\dot{S}(j\omega)| = S(\omega)$, характеризующий **плотность распределения амплитуд** составляющих сплошного спектра одиночного сигнала по частоте, называется **амплитудной спектральной плотностью** или **амплитудным спектром** этого сигнала, а аргумент функции $\psi(\omega)$ – его **фазовым спектром**. Если сигнал $s(t)$ представляет собой изменяющиеся во времени напряжение или ток, то размерность функции $S(\omega)$ – $[B / \Gamma\omega]$ или $[A / \Gamma\omega]$, соответственно.

На рис. 1.12 показаны одиночный идеальный прямоугольный импульс и соответствующие ему амплитудный и фазовый спектры, полученные в программе MathCAD для сигнала с параметрами: амплитуда $U_m = 10$ В, длительность $t_{и} = 500$ мкс.

Видно, что огибающая амплитудного спектра имеет так называемую **лепестковую структуру** за счет того, что функция $S(\omega)$ принимает нулевые значения на частотах $\omega_k = 2\pi \cdot k / t_{и}$, где $k = 1, 2, 3, \dots$ – целое число. Ширина лепестка – расстояние по оси частот между соседними нулевыми значениями – составляет $2\pi / t_{и}$, т.е. равно такому же значению, которое имело место и в дискретном спектре, характерном для периодической последовательности идеальных прямоугольных импульсов – рис. 1.10. Максимум амплитудного спектра $S(\omega)_{\max} = S(0) = U_m \cdot t_{и}$ равен площади импульса и наблюдается при $\omega = 0$.

Фазовый спектр одиночного импульсного сигнала показан на рис. 1.12, в. Видно, что, начиная с частоты $\omega = 0$, на каждом интервале частот $2\pi / t_{и}$, равном ширине лепестка амплитудного спектра, фаза $\psi_n(\omega)$ меняется линейно от 0 до $-\pi$, претерпевая конечный разрыв на граничных частотах между лепестками (скачок функции от $-\pi$ до 0).

1.4. Параметры и характеристики аналоговых электрических сигналов

Параметры и характеристики аналоговых электрических сигналов, их названия, обозначения и методы определения регламентируются ГОСТ 16465-70 «Сигналы радиотехнические. Термины и определения».

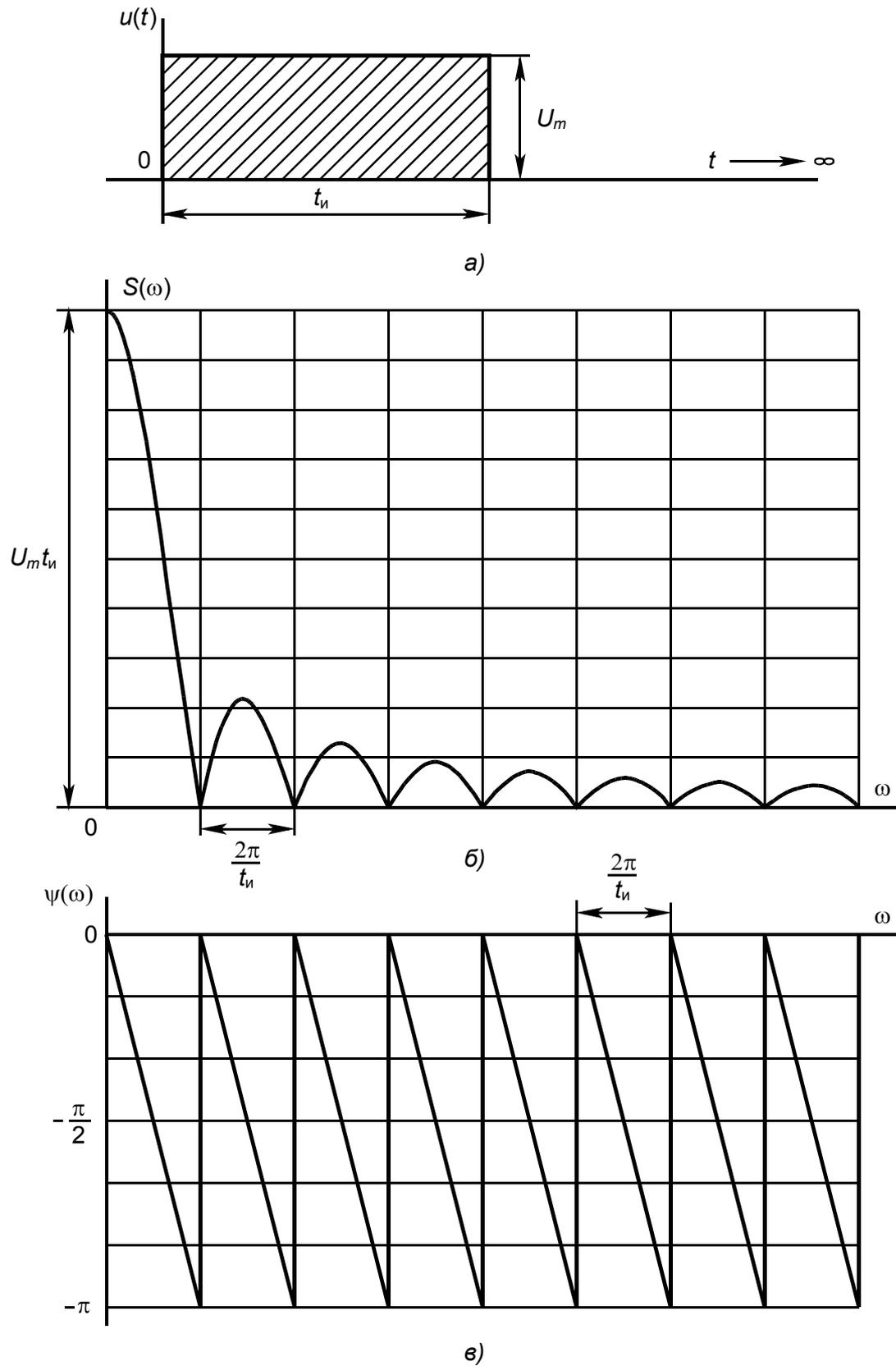


Рис. 1.12. Одиночный идеальный прямоугольный импульс (а) и его амплитудный (б) и фазовый (в) спектры

1.4.1. Основные параметры электрических сигналов

Основными называют параметры, которые свойственны всем электрическим сигналам независимо от их формы. Ниже приведены основные параметры аналогового сигнала $s(t)$, изображенного на рис. 1.13.

1. **Длительность сигнала** t_c – интервал времени $t_c = t_2 - t_1$, в течение которого сигнал существует, т.е. функция $s(t)$, описывающая его, определена.

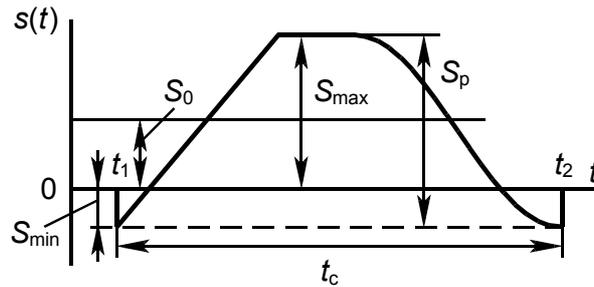


Рис. 1.13. Основные параметры электрического сигнала

Если функция $s(t)$ задана на бесконечном $-\infty \leq t \leq \infty$ или полубесконечном $0 \leq t \leq \infty$ интервале, то используют понятие **практической** или **эффективной** длительности сигнала. В этом случае в качестве длительности t_c принимают интервал времени, в течение которого значение сигнала не снижается ниже некоторого наперед заданного уровня, например, 0,1 от максимального значения S_{max} (амплитуды). Именно таким образом определена длительность $t_c = t_n$ экспоненциального импульса (рис. 1.4, г), который теоретически продолжается бесконечно долго ($e^{-k \cdot t} = 0$ при $t = \infty$).

2. **Минимальное значение сигнала** S_{min} – наименьшее значение сигнала на протяжении заданного интервала времени (обычно t_c) – рис. 1.13.

3. **Максимальное значение сигнала** S_{max} – наибольшее значение сигнала на протяжении заданного интервала времени – рис. 1.13.

4. **Постоянная составляющая сигнала** S_0 – **среднее значение** сигнала на интервале усреднения T_y (рис. 1.13), который для одиночных сигналов принимается равным t_c , а для периодических – периоду сигнала T :

$$S_0 = \frac{1}{T_y} \cdot \int_0^{T_y} s(t) \cdot dt \quad (1.9)$$

5. **Переменная составляющая сигнала** – разность между сигналом и его постоянной составляющей:

$$s_{\sim}(t) = s(t) - S_0. \quad (1.10)$$

6. **Размах сигнала** S_p – разность между максимальным и минимальным значениями сигнала на протяжении заданного интервала времени (обычно t_c) – рис. 1.13.

7. **Средневыпрямленное значение сигнала** – среднее значение модуля сигнала:

$$S_{\text{св}} = \frac{1}{T_y} \cdot \int_0^{T_y} |s(t)| \cdot dt. \quad (1.11)$$

8. **Среднеквадратичное значение сигнала** – корень квадратный из среднего значения квадрата сигнала:

$$S = \sqrt{\frac{1}{T_y} \cdot \int_0^{T_y} s^2(t) \cdot dt}. \quad (1.12)$$

9. **Средняя мощность сигнала, выделяемая на активном сопротивлении 1 Ом** – среднее значение квадрата сигнала:

$$P_{s1} = (1 / T_y) \cdot \int_0^{T_y} s^2(t) \cdot dt. \quad (1.13)$$

10. **Энергия сигнала, выделяемая на активном сопротивлении 1 Ом** – интеграл от квадрата сигнала по всей оси времени (точнее, в области определения функции $s(t)$):

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) \cdot dt. \quad (1.14)$$

Периодические сигналы, в дополнение к рассмотренным параметрам, характеризуются еще **периодом** T и **частотой** $f = 1/T$ (рис. 1.3; 1.4; 1.10, а), определение которым было дано в разделе 1.2.

К основным параметрам электрических сигналов относятся также параметры их спектров, подробно рассмотренные в разделе 1.3: **амплитудный** $A_{mn} = f(n\omega)$ и **фазовый** $\psi_n = f(n\omega)$ **спектры** – для периодиче-

ских сигналов, и *спектральная функция* $\dot{S}(j\omega)$, ее *модуль* $S(\omega)$ и *аргумент* $\psi_n(\omega)$ – для непериодических сигналов.

1.4.2. Параметры электрических импульсов

Импульсные сигналы относятся к *сложным (составным)* сигналам (см. раздел 1.2), поскольку на разных временных интервалах в области определения описываются различными кусочно-непрерывными функциями с разрывами 1-го рода. Из-за того, что разные типы импульсов сильно отличаются друг от друга по форме (рис. 1.4), для их описания используются *основные, производные* и *дополнительные* параметры, характеризующие специфику формы конкретного сигнала и его расположение на временной оси.

К *основным* параметрам *электрических импульсов*, характерным для всех импульсных сигналов *независимо от их формы*, помимо рассмотренных в разделе 1.4.1, относят *амплитуду* U_m (далее для определенности речь пойдет об импульсах напряжения), *длительность* $t_n = t_c$ и, для периодических последовательностей импульсов, *период* T .

Амплитуда U_m – величина максимального импульсного отклонения напряжения от начального уровня U_0 , в частном случае нулевого (*не путать с максимальным значением сигнала!*) – рис. 1.4.

Длительность импульса $t_n = t_c$ – интервал времени от момента появления сигнала до момента его окончания – рис. 1.4. Поскольку у реальных импульсов вследствие малой скорости изменения напряжения на начальной и конечной стадии формирования сигнала трудно выделить «начало» и «конец», отсчет длительности t_n ведут по уровню $0,1U_m$ (обозначается $t_{н0,1}$) или по уровню $0,5U_m$. В последнем случае длительность импульса называют *активной* – $t_{иа}$ (рис. 1.4, г).

Период T периодической последовательности импульсов – см. раздел 1.2.

Кроме основных параметров, электрические импульсы характеризуются *полярностью*, определяемой направлением изменения напряжения (тока) на этапе формирования сигнала. Импульс считается *положительным*, если напряжение (ток) при его формировании увеличивается, и *отрицательным* – в противоположном случае (*независимо от знака мгновенного значения напряжения (тока)*). Например, все импульсы, изображенные на рис. 1.4, являются положительными. Импульсные сигналы бывают однополярными (либо только положительными, либо только отрицательными) и биполярными (двуполярными) – рис. 1.14.

Производные параметры электрических импульсов

Производными называют параметры, получаемые из основных пу-

тем пересчета и характеризующие свойства импульсных периодических последовательностей. К производным параметрам относятся:

- **частота повторения импульсов** $f = 1/T$ [Гц] – показывает число импульсов в секунду, измеряется в герцах;

- **коэффициент заполнения импульсов** $\gamma = t_{и} / T$ – характеризует степень «заполнения» периода сигналов, является безразмерным параметром с диапазоном изменения $0 \leq \gamma \leq 1$;

- **скважность импульсов** $q = T / t_{и} = 1/\gamma$ – показывает, во сколько раз период превышает длительность импульса. Безразмерный параметр, обратный коэффициенту заполнения ($1 \leq q \leq \infty$).

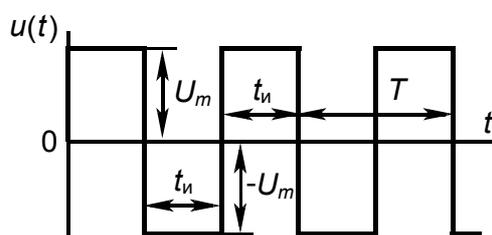


Рис. 1.14. Импульсная периодическая последовательность биполярных прямоугольных импульсов с $q = 2$ (меандр)

На рис. 1.14 изображена широко распространенная на практике периодическая последовательность биполярных импульсов со скважностью $q = 2$, называемая **меандр**. Видно, что **положительные** импульсы, расположенные над осью абсцисс, чередуются с **отрицательными**, сформированными под осью времени.

Дополнительные параметры прямоугольного импульса

Идеализированный прямоугольный импульсный сигнал (рис. 1.4, а) характеризуются следующими дополнительными параметрами:

- **фронт** импульса t_{ϕ} или **передний фронт** (отрезок *ав* на рис. 1.4, а) – время нарастания импульсной составляющей напряжения от 0 до U_m (для идеального прямоугольного сигнала $t_{\phi} = 0$);

- **вершина импульса** (отрезок *вс* на рис. 1.4, а) – интервал времени, в течение которого напряжение сигнала не меняется и равно амплитуде U_m ;

- **срез** импульса t_c или **задний фронт** (отрезок *cd* на рис. 1.4, а) – время снижения импульсной составляющей напряжения от U_m до 0 (для идеального прямоугольного сигнала $t_c = 0$).

В реальном случае форма прямоугольного импульса существенно отличается от идеальной (говорят – импульс искажается) из-за влияния паразитных параметров электрической цепи: длительности фронта t_{ϕ}

и среза t_c принимают конечные значения, на фронте и спаде сигнала появляются **выбросы** напряжения за счет наложения на импульс колебательной составляющей, кроме того вершина импульса часто приобретает наклон, называемый **спадом плоской вершины** – рис. 1.15.

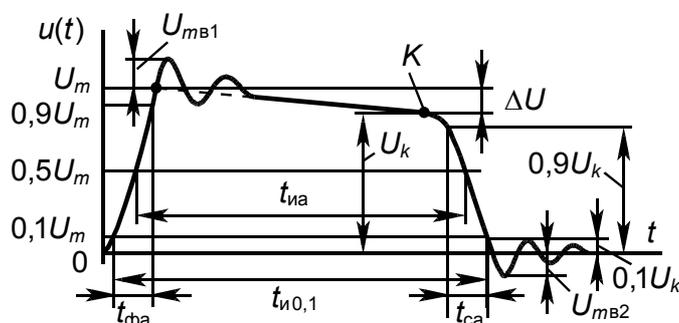


Рис. 1.15. К определению параметров реального прямоугольного импульса

При определении параметров реальных квазипрямоугольных импульсов в первую очередь вычисляется значение амплитуды сигнала U_m . Это связано с тем, что к амплитуде «привязано» определение нескольких как основных, так и дополнительных параметров импульса. Для определения U_m следует провести прямую линию, продолжающую плоскую вершину сигнала, до пересечения с линией фронта – пунктир на рис. 1.15. Ордината точки пересечения за вычетом начального уровня сигнала U_0 (при его наличии) и определяет значение амплитуды. Далее параллельно оси абсцисс проводятся горизонтальные линии, пересекающие импульс на уровнях $0,9U_m$, $0,5U_m$ и $0,1U_m$. Точки пересечения линий с диаграммой сигнала являются опорными при определении параметров импульса. Измерению подлежат следующие параметры:

- **длительность импульса по основанию** $t_{и0,1}$ – интервал времени, в течение которого величина сигнала превышает значение $0,1U_m$;
- **активная длительность импульса** $t_{иa}$ – интервал времени, в течение которого величина сигнала превышает уровень $0,5U_m$;
- **активная длительность фронта** $t_{фа}$ – время нарастания импульсной составляющей напряжения от $0,1U_m$ до $0,9U_m$;
- **коэффициент выброса на фронте** $K_{в1}$ – отношение амплитуды первого выброса $U_{мв1}$ затухающих колебаний на фронте к амплитуде импульса U_m : $K_{в1} = U_{мв1} / U_m$ – безразмерный параметр;
- **коэффициент выброса на срезе** $K_{в2}$ – отношение амплитуды первого выброса $U_{мв2}$ затухающих колебаний на срезе к амплитуде импульса U_m : $K_{в2} = U_{мв2} / U_m$ – безразмерный параметр;
- **коэффициент спада плоской вершины** $K_c = \Delta U / U_m$ – отноше-

ние величины спада плоской вершины импульса ΔU к амплитуде сигнала U_m . Если вершина импульса не имеет ярко выраженного спада, т.е. $\Delta U \approx 0$, то $K_c \approx 0$. Если же спад плоской вершины импульса четко выражен, как, например, на рис. 1.15, в пограничной области между вершиной и срезом выделяют точку K , в которой, **по мнению исследователя**, заканчивается вершина и начинается формирование среза импульса. Определив координаты точки K , рассчитывают значение напряжения U_k , соответствующее выделенной точке, и величину спада $\Delta U = U_m - U_k$.

– **активная длительность среза** t_{ca} . Если спад вершины импульса нельзя четко определить, то t_{ca} находится аналогично $t_{фа}$ – как время снижения импульсной составляющей напряжения от $0,9U_m$ до $0,1U_m$. В случае, когда спад плоской вершины сигнала четко фиксируется, активная длительность среза определяется как интервал времени, за который импульсная составляющая уменьшается от $0,9U_k$ до $0,1U_k$ – рис. 1.15.

Дополнительные параметры пилообразного импульса

Для описания идеального пилообразного (треугольного) импульса (рис. 1.4, б) используются следующие дополнительные параметры:

– **время прямого хода** $t_{пх}$ (отрезок **ав** на рис. 1.4, б) – время нарастания напряжения «пилы» от начального уровня U_0 до амплитудного значения U_m ;

– **время обратного хода** $t_{ох}$ (отрезок **вс** на рис. 1.4, б) – время убывания напряжения от значения U_m до начального уровня U_0 ;

– **коэффициент нелинейности «пилы»** K_n – безразмерный параметр, характеризующий относительное изменение скорости нарастания (или спада) напряжения сигнала за время прямого хода:

$$K_n = \frac{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=t_{пх}}}{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0}} = 1 - \frac{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=t_{пх}}}{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0}},$$

где $\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0; t_{пх}}$ – скорость изменения пилообразного напряжения в начале и конце прямого хода, соответственно.

Поскольку геометрический смысл производной функции – тангенс угла между касательной, проведенной к заданной точке функции, и осью абсцисс (рис. 1.16), то коэффициент нелинейности «пилы» можно

определить графически, используя изображение «пилы», например, на экране осциллографа, по формуле: $K_H = 1 - \operatorname{tg}\alpha_k / \operatorname{tg}\alpha_0$, где α_0 – угол наклона касательной в начале прямого хода «пилы» ($t = 0$); α_k – угол наклона касательной в конце прямого хода «пилы» ($t = t_{\text{пх}}$).

В идеальном случае, когда напряжение «пилы» строго линейно, $K_H = 0$.

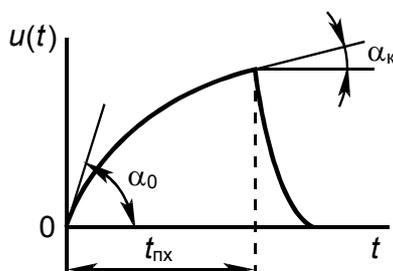


Рис. 1.16. Графическое определение K_H

1.5. Формы представления, параметры и характеристики гармонического сигнала

Гармонический сигнал $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi) = U_m \sin \Phi(t)$ – рис. 1.3, как уже отмечалось, является самым распространенным видом электрического сигнала, поэтому рассмотрим его особенности подробнее.

Аргумент синуса $\Phi(t)$, измеряемый в радианах, называют **фазовым углом** или **фазой** сигнала, которая в общем случае является функцией времени и чаще всего на практике меняется по линейному закону: $\Phi(t) = \omega t + \varphi$. Значение фазы при $t = 0$, т.е. $\Phi(0) = \varphi = \text{const}$, называют **начальной фазой**, а скорость изменения фазы во времени $d\Phi / dt = \omega$ – угловой частотой, измеряемой в радианах в секунду [рад/сек]. Поскольку синус является периодической функцией с периодом 2π , очевидно, что значения гармонического сигнала периодически повторяются через интервал времени T , измеряемый в секундах [с] и называемый периодом. За один период фаза сигнала изменяется на величину $\omega T = 2\pi$, следовательно, $\omega = 2\pi / T = 2\pi f$, где $f = 1 / T$ – частота сигнала, отражающая число колебаний (количество периодов, циклов) в 1 секунду – измеряется в герцах [Гц]. В моменты времени, когда фаза сигнала равна нулю или составляет $\pm\pi \cdot n$, где $n = 1, 2, \dots$ – целое число, сигнал переходит через нулевое значение; при фазах $(\pm\pi / 2) \cdot (2n - 1)$ наблюдаются экстремальные значения сигнала $\pm U_m$, называемые **амплитудами**. Таким образом, гармонический сигнал характеризуется **амплитудой** U_m , **угловой частотой** ω (или частотой периодических колебаний $f = \omega / 2\pi$) и **начальной фазой** φ . Следует отметить, что **теоретически** гармонический сигнал является бесконечно протяженным во време-

ни, т.е. существует в интервале $-\infty \leq t \leq \infty$, хотя реально время существования сигнала всегда ограничено.

Начальная фаза φ определяет значение сигнала при $t=0$: $U(0) = U_m \sin(\varphi)$. Следовательно, при графическом представлении во временной области гармонический сигнал с нулевой начальной фазой проходит через начало координат – $U(0) = 0$. В общем случае угол φ отсчитывается *от начала координат ($t=0$) до момента перехода синусоиды через нуль из области отрицательных в область положительных значений* (говорят: из « $-$ » в « $+$ »). Таким образом, при *положительной* начальной фазе синусоида сдвигается *влево* от начала координат вдоль оси абсцисс, а при *отрицательной* – *вправо* – рис. 1.17.

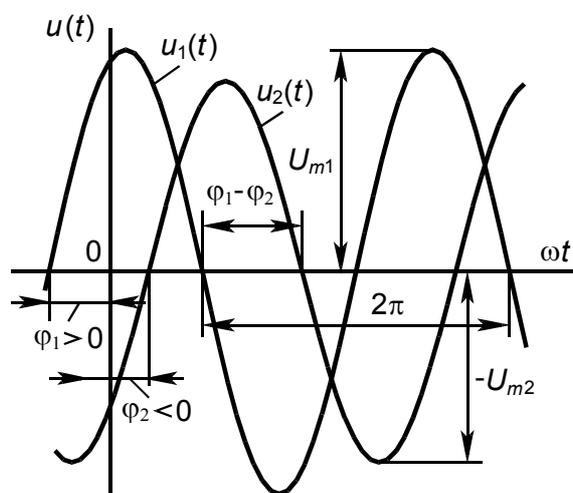


Рис. 1.17. Гармонические сигналы с положительной (u_1) и отрицательной (u_2) начальными фазами

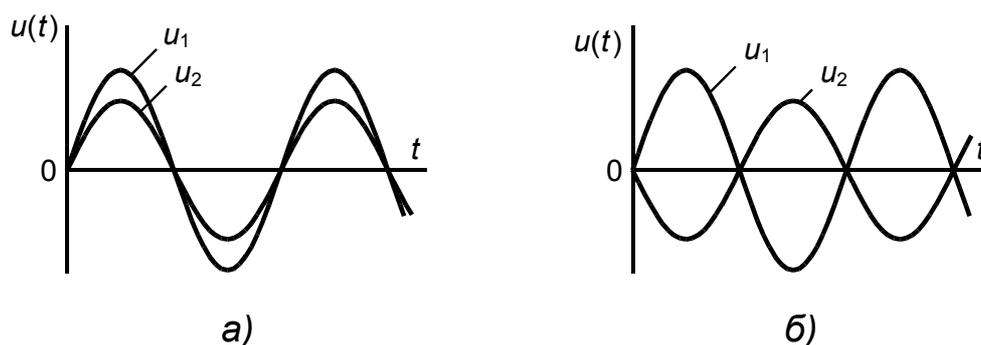


Рис. 1.18. Синфазные (а) и противофазные (б) гармонические сигналы

Если у двух синусоидальных сигналов с *одинаковой частотой* начальные фазы различны, говорят, что они *сдвинуты относительно друг друга по фазе* или *не совпадают по фазе*. Разность начальных фаз таких сигналов $\psi = \varphi_1 - \varphi_2$ называется *углом сдвига фаз* или *фазовым*

сдвигом. Для определения фазового сдвига вычисляют *угол между однородными моментами* перехода обеих синусоид через нуль из (-) в (+) или из (+) в (-) – рис. 1.17.

Если начальные фазы у двух синусоид с равными частотами одинаковы, говорят, что сигналы *синфазны (совпадают по фазе)*, если отличаются на $\pm\pi$ – *противофазны* (рис. 1.18). В случае, когда фазовый сдвиг составляет $\psi = \pm\pi/2$, синусоиды находятся *в квадратуре*.

1.5.1. Среднее и действующее значения гармонического сигнала

Анализ ЭЦ переменного тока с использованием мгновенных значений величин, меняющихся по синусоидальному закону, приводит к громоздким выражениям, неудобным для практического использования. Поэтому для характеристики синусоидальных токов и напряжений широко используются понятия *среднего* и *действующего* значения.

Среднее значение – это постоянная составляющая сигнала или его нулевая гармоника – см. выражение (1.9), раздел 1.4.1. Для определения среднего значения необходимо вычислить площадь, ограниченную кривой сигнала и осью абсцисс, и разделить полученную величину на период, т.е. усреднить площадь сигнала на периоде:

$$U_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot dt. \quad (1.15)$$

Поскольку площади положительной S^+ и отрицательной S^- полу-волн синусоиды равны по модулю (рис. 1.19), *среднее значение любого гармонического сигнала равно нулю*.

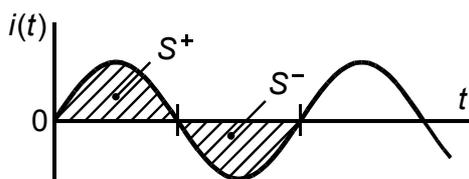


Рис. 1.19. К определению среднего значения синусоидального тока

Поэтому на практике принято находить *среднее значение гармоники за половину периода*, что соответствует *средневыпрямленному значению сигнала за период* (см. выражение (1.11), раздел 1.4.1):

$$I_{\text{cp}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \cdot \sin \omega t \cdot dt = I_{\text{срв}} = \frac{1}{T} \int_0^T |I_m \cdot \sin \omega t| \cdot dt = \frac{2I_m}{\pi} \approx 0,637I_m. \quad (1.20)$$

Именно таким образом будет определяться, например, средневывпрямленное значение напряжения на выходе двухполупериодного выпрямителя (рис. 2.4, б, диаграмма без C_Φ): $U_{\text{срв}} = 2U_m / \pi \approx 0,637U_m$.

Действующее или **среднеквадратичное** значение характеризует энергетическую эффективность сигнала (как тока, так и напряжения) и определяется выражением (см. формулу (1.12), раздел 1.4.1):

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2(t) \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2(t) \cdot dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707I_m. \quad (1.21)$$

Действующие значения обозначаются **прописной (заглавной) буквой без индекса** и являются важнейшими параметрами периодического электрического сигнала. Физический смысл этого понятия применительно к току (для напряжения аналогично): **действующее значение переменного** тока равно такому **постоянному** току, который, проходя по цепи с тем же активным сопротивлением, что и переменный ток, выделяет за период то же количество тепла. Действительно, если обе части уравнения (1.21) возвести в квадрат и результат умножить на RT , получим уравнение, описывающее известный закон Джоуля-Ленца:

$$Q = W = I^2 RT = \int_0^T i^2(t) \cdot R \cdot dt,$$

где Q – теплота, равная энергии W , выделяемая в активном сопротивлении R за время T при протекании по нему электрического тока I .

Подчеркнем: **действующее** значение **синусоидального** тока (напряжения) в $\sqrt{2} \approx 1,41$ раз **меньше его амплитуды**; для **постоянного** же **тока действующее** и **мгновенное** значения **совпадают** по величине.

1.5.2. Векторная и комплексная формы представления гармонического сигнала

Наряду с традиционным графическим представлением в виде временной диаграммы в декартовой системе координат, гармонический сигнал не менее часто изображают графически в виде вращающегося радиус-вектора – рис. 1.20.

Частота вращения вектора задается равной ω , т.е. угловой частоте рассматриваемого сигнала. За положительное принимается направление вращения векторов против часовой стрелки. На диаграмме отражается состояние векторов, соответствующих синусоидальным величинам в момент времени $t = 0$. Длина вектора в определенном масштабе

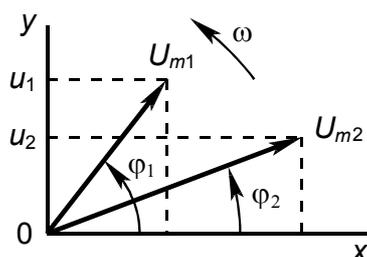


Рис. 1.20. Векторная форма представления гармонического сигнала

представляет амплитуду синусоиды U_m (или I_m), а угол, на который повернут вектор относительно положительного направления оси абсцисс – начальную фазу φ . Мгновенное значение синусоидальной величины, представленной вращающимся радиус-вектором, определяется проекцией вектора на ось ординат y , т.е. в любой момент справедливо: $y = u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, что соответствует описанию исследуемого сигнала. Совокупность радиус-векторов, отражающих гармонические сигналы одной частоты, наблюдающиеся в некоторой электрической цепи, называют **векторными диаграммами (ВД)**. Поскольку **взаимное расположение векторов, вращающихся с одинаковой частотой**, не меняется, с ними можно производить определенные графо-аналитические операции: складывать и вычитать по известным правилам, определять взаимные фазовые сдвиги и т.п. Это позволяет использовать ВД для оценочного (приближенного) анализа и расчета ЭЦ.

Поскольку точность расчетов с применением векторных диаграмм не всегда удовлетворяет исследователя, появился **комплексный метод** анализа ЭЦ переменного тока, сочетающий в себе простоту и наглядность ВД с возможностью производить расчеты с любой степенью точности. Комплексный метод базируется на представлении векторов в **комплексной плоскости** и описании их **комплексными числами**.

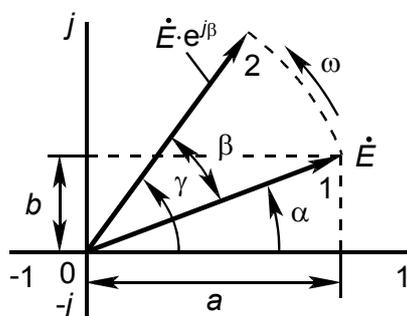


Рис. 1.21. Комплексная форма представления гармонического сигнала; a, b – действительная и мнимая части комплекса \dot{E} ; E – модуль, α – аргумент

Комплексная плоскость – это прямоугольная система координат, подобная декартовой. Ось абсцисс на комплексной плоскости представляет собой ось **вещественных (действительных)** чисел и обозначается знаками +1 (положительная полуось) и –1 (отрицательная полуось). Ось ординат является **мнимой** осью и обозначается по аналогии с вещественной +j и –j, где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица. Вдоль вещественной оси откладывается **a** – **действительная** часть комплексного числа, а вдоль мнимой – **комплексная** часть **jb** – рис. 1 21. Комплексные числа, **являющиеся функциями времени**, обозначают точкой сверху: $\dot{I}, \dot{E}, \dot{U}$; остальные – выделяют подчеркиванием снизу: $\underline{Z}, \underline{B}, \underline{X}$.

Комплексным числом или **комплексом** называется сумма действительного и мнимого чисел, например $\dot{E} = a + jb$, где **a** – действительная часть комплекса \dot{E} , а **jb** – его мнимая часть – рис. 1 21. Поскольку комплексная плоскость является прямоугольной системой координат, существуют три формы представления комплексного числа \dot{E} : **алгебраическая** (уже знакомая нам), и вытекающие из нее математически **тригонометрическая** и **показательная**:

$$\dot{E} = a + jb = E \cdot \cos \alpha + jE \cdot \sin \alpha = E \cdot e^{j\alpha}. \quad (1.22)$$

Здесь: $E = \sqrt{a^2 + b^2}$ – модуль комплекса, равный длине вектора, отображающего комплексное число; $\alpha = \arctg(b/a)$ – аргумент комплекса – угол между вещественной осью и вектором; $\cos \alpha + j \sin \alpha = e^{j\alpha}$ – формула Эйлера; e – основание натуральных логарифмов.

Положительным направлением вращения вектора на комплексной плоскости считается направление вращения против часовой стрелки. Поэтому положительный угол α откладывают от полуоси +1 против часовой стрелки, а отрицательный – по часовой стрелке. При отрицательных углах ($-\alpha$) формула Эйлера преобразуется к виду:

$$e^{-j\alpha} = \cos(-\alpha) + j \sin(-\alpha) = \cos \alpha - j \sin \alpha.$$

Таким образом, в общем случае для комплексного числа справедливо:

$$\dot{C} = a \pm jb = C \cdot \cos \alpha \pm jC \cdot \sin \alpha = C \cdot e^{\pm j\alpha}. \quad (1.23)$$

Поворот вектора $\dot{E} = E \cdot e^{j\alpha}$ на комплексной плоскости из положе-

ния 1 в положение 2 против часовой стрелки на угол β (рис. 1.21) математически (в комплексной форме) отражается следующим образом:

$$E \cdot e^{j\gamma} = E \cdot e^{j(\alpha+\beta)} = E \cdot e^{j\alpha} \cdot e^{j\beta} = \dot{E} \cdot e^{j\beta},$$

где выражение $E \cdot e^{j\gamma}$ – математическое описание вектора, занявшего положение 2.

Следовательно, умножение комплексного числа на величину $e^{\pm j\beta}$ равносильно повороту вектора на комплексной плоскости на угол $\pm\beta$. Поэтому выражение $e^{\pm j\beta}$ называют **оператором поворота вектора** или **поворотным множителем**.

Подставляя в формулу Эйлера значение $\beta = \pm\pi / 2$, получаем:

$$e^{\pm j\pi/2} = \cos(\pi / 2) \pm j \sin(\pi / 2) = \pm j.$$

Отсюда следует, что умножение комплекса на $\pm j$ обеспечивает поворот вектора, соответствующего комплексному числу на комплексной плоскости, на угол $\pm\pi / 2$.

Если угол поворотного множителя сделать функцией времени, задав значение $\beta = \omega t$, то поворотный множитель преобразуется в **оператор вращения** $e^{j\omega t}$. Умножая некоторый вектор на $e^{j\omega t}$ мы превращаем его в радиус-вектор, вращающийся на комплексной плоскости со скоростью ω против часовой стрелки:

$$\dot{A} = A \cdot e^{j\varphi} \cdot e^{j\omega t} = A \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}. \quad (1.24)$$

Последнее выражение называется **комплексной функцией времени** или **комплексным мгновенным значением**.

Рассмотрим на комплексной плоскости вращающийся вектор $\dot{I}_m \cdot e^{j\omega t}$, изображающий синусоидальный ток $i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi)$ и составляющий с осью +1 (действительных чисел) угол $\omega t + \psi$ – рис. 1.22.

Опишем вектор $\dot{I}_m \cdot e^{j\omega t}$ соответствующим комплексным числом:

$$\dot{I}_m \cdot e^{j\omega t} = i' + ji'' = I_m \cdot \cos(\omega t + \psi) + jI_m \cdot \sin(\omega t + \psi) = I_m \cdot e^{j(\omega t + \psi)} = I_m \cdot e^{j\psi} \cdot e^{j\omega t}.$$

Здесь: $I_m \cdot e^{j\psi} = \dot{I}_m$ – комплексное число, описывающее положение вектора в начальный момент времени $t = 0$ и называемое **комплексной амплитудой**; ψ – начальная фаза; $e^{j\omega t}$ – множитель вращения, преобра-

зующий неподвижный вектор \dot{I}_m в радиус-вектор $\dot{I}_m \cdot e^{j\omega t}$.

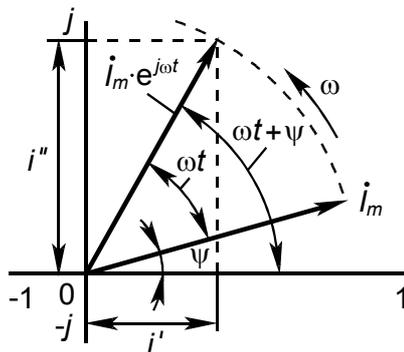


Рис. 1.22. Комплексная функция времени гармонического тока

Видно, что **мнимая составляющая комплексного числа** представляет собой **синусоидальный** ток

$$i'' = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi) = \text{Im}[I_m \cdot e^{j(\omega t + \psi)}] = \text{Im}[I_m \cdot \cos(\omega t + \psi) + jI_m \cdot \sin(\omega t + \psi)],$$

т.е. самую распространенную на практике форму описания гармонического сигнала.

Символ Im (от английского слова Imaginary – мнимый) означает, что от комплексной функции времени (выражения в квадратных скобках) берется лишь мнимая часть.

В расчетах ЭЦ, чтобы не усложнять математические операции с комплексами, множитель вращения не учитывают, оперируя только комплексными амплитудами, отражающими положения векторов при $t = 0$. Это обусловлено тем, что множитель $e^{j\omega t}$ не влияет на результат, поскольку все векторы на комплексной плоскости вращаются с одной скоростью и их **взаимное расположение** от времени не зависит.

На практике вместо комплексных амплитуд обычно используют комплексы **действующих значений**, так как действующее значение гармонического сигнала является более важным параметром с энергетической точки зрения и чаще используется в инженерной деятельности. Переход от комплексных амплитуд (\dot{U}_m, \dot{I}_m) к комплексам действующих значений (\dot{U}, \dot{I}) синусоиды осуществляется очень просто (см. выражение (1.21)):

$$\dot{U} = \dot{U}_m / \sqrt{2} = U_m \cdot e^{j\psi} / \sqrt{2} = U \cdot e^{j\psi}. \quad (1.24)$$

Раздел 2. Основные сведения об электрических измерениях

2.1. Основные определения. Понятие о средствах измерений

Измерение – это *экспериментальное* определение значения физической величины при помощи средств измерений. **Средства измерения** – технические устройства, используемые при проведении измерений. К средствам измерения относят *меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки и измерительные информационные системы*.

Мера – средство измерения, воспроизводящее с высокой точностью некоторую физическую величину определенного значения. Например, для воспроизведения электрического сопротивления существуют высокоточные *измерительные резисторы*, электрического тока – эталонные *измерительные источники тока* и т.д. Как правило, мера воспроизводит единицу измерения либо ее значение, увеличенное или уменьшенное в 10 раз.

Измерительный прибор – средство измерения, вырабатывающее сигнал о значении измеряемой электрической величины в форме, доступной для восприятия экспериментатором. Существуют *аналоговые* и *цифровые* измерительные приборы. *Аналоговые* приборы предназначены для измерений параметров аналоговых сигналов и представляют результат в аналоговой форме. Типично *аналоговыми* являются, например, широко распространенные до настоящего времени приборы со стрелочным отсчетом, в которых результат измерения определяется по положению указателя (стрелки) шкалы, проградуированной в соответствующих единицах. Точность измерений такими приборами относительно невелика, однако они до сих пор используются из-за относительно малой стоимости и простоты получения результата.

Цифровые измерительные приборы, как и аналоговые, измеряют параметры аналоговых сигналов, однако результат измерений у них представляется в цифровой форме и отражается десятичными цифрами на индикаторном табло. По сравнению с аналоговыми точность измерений у цифровых приборов существенно выше, поэтому, несмотря на относительно высокую стоимость, цифровые приборы различного назначения все шире используются в измерительной технике, постепенно вытесняя аналоговые.

Измерительный преобразователь – средство измерения, с помощью которого измеряемая величина преобразуется во вспомогательную, более удобную для обработки, передачи и дальнейшего преобразования. К измерительным преобразователям относятся *шунты, делители напряжения, измерительные усилители, измерительные трансфор-*

маторы и т.п. Такие устройства позволяют, например, существенно расширить диапазон значений измеряемого сигнала при использовании прибора с ограниченным диапазоном измерений. Действительно, применив в дополнение к вольтметру измерительный усилитель или делитель напряжения, можно одним и тем же прибором измерять и весьма малые, и относительно большие по величине сигналы.

Измерительная установка – средство измерения, представляющее собой несколько различных средств измерений, преобразователей и вспомогательных устройств, объединенных в одном корпусе для эффективного проведения комплексных измерений определенного характера.

Измерительная информационная система – автоматизированное средство измерения, осуществляющее сбор измерительных сигналов от нескольких источников, передачу их по каналам связи и преобразование в вид, удобный для считывания, записи и дальнейшей обработки.

Измерения подразделяют на **прямые** и **косвенные**. Измерение называют **прямым**, если его результат получен непосредственно из эксперимента – например, измерение сопротивления резистора омметром.

Косвенным называется измерение, при котором искомая величина непосредственно **не измеряется**, а ее значение **рассчитывается** по известной зависимости между этой величиной и другими, значения которых получены в результате прямых измерений. Например, используя формулу $X_C = 1 / \omega C = U_C / I_C$, рассчитывают модуль сопротивления конденсатора, измерив предварительно вольтметром и амперметром напряжение конденсатора U_C и проходящий по нему ток I_C .

2.2. Погрешности измерений

Проводя измерение в цикле однотипных измерений, определяют **приближенное** A_n ($n = 1, 2, \dots$ – целое число) значение искомой величины, отличающееся от **истинного** A в большей или меньшей степени. Отклонение результата измерения от истинного значения называется **погрешностью измерения**. Поскольку **истинное значение** измеряемой величины **неизвестно** (к нему можно только приближаться, совершенствуя средства и методику проведения измерений), при расчете погрешностей вместо истинного значения используют так называемое **действительное** A_d , определенное **образцовым** (высокоточным) прибором, или как среднее арифметическое A_{cp} результатов нескольких n измерений:

$$A_d = A_{cp} = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) / n. \quad (2.1)$$

Погрешность измерений обусловлена различными причинами. Различают *погрешности*: а) *метода измерений*; б) *средств измерений*; в) *погрешности от внешнего влияния на средства измерений*.

Погрешность метода обусловлена степенью несовершенства применяемой методики измерений, некорректностью приемов использования средств измерений, а также неточностью применяемых расчетных соотношений.

Погрешность средств измерений, называемая *инструментальной*, обусловлена конструктивными и технологическими недостатками используемых в эксперименте измерительных приборов: нестабильностью параметров отдельных компонентов электрической схемы прибора, несовершенством нанесенной на шкалу градуировки и т.д.

Погрешность от внешнего влияния на средства измерений напрямую связана с нестабильностью напряжения питания схемы прибора, с влиянием на его метрологические характеристики внешних электрических и магнитных полей, температуры и влажности окружающей среды и других факторов. В зависимости от условий эксплуатации различают основную и дополнительную погрешности средств измерений.

Основная погрешность, указанная в паспорте измерительного прибора, характеризует точность проведенных с его помощью измерений в нормальных условиях: при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, относительной влажности $(60 \pm 15)\%$, атмосферном давлении (1000 ± 40) гПа и напряжении питающей сети (220 ± 22) В.

Дополнительная погрешность характеризует точность средств измерений, эксплуатирующихся в условиях, существенно отличающихся от нормальных, и *приводится в паспорте в виде дополнительного слагаемого к основной погрешности или множителя к результату измерений*.

Причины появления погрешности измерений различны. На практике выделяют *систематические погрешности*, которые проявляются с *определенной закономерностью* при неоднократных измерениях какой-то физической величины с помощью конкретного измерительного прибора. Причины возникновения систематической погрешности – старение элементов схемы прибора, существенное отличие температурных условий эксперимента от нормальных и т.п. Такие погрешности относительно легко выявляются, и их влияние сводится к минимуму путем внесения поправок в результат, что способствует повышению точности измерений.

Кроме систематических, имеют место *случайные погрешности*, в проявлении которых отсутствуют закономерности и влияние которых невозможно учесть, скорректировав результат измерений. Для оценки

случайных погрешностей используется хорошо развитый математический аппарат теории вероятностей. К случайным относят и *грубые погрешности* измерений, так называемые *промахи*, обусловленные небрежностью оператора или резким изменением условий измерения. Результаты, явно несущие в себе грубую погрешность, принято исключать при обработке результатов измерений.

При оценке точности используемых средств измерений используют *абсолютную, относительную и среднеквадратичную* погрешности.

Абсолютная погрешность – разность между полученным результатом измерения A_n и его действительным значением A_d (см. (2.1)):

$$\Delta A_n = A_n - A_d. \quad (2.2)$$

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины и включает в себя систематическую $\Delta A_{нс}$ и случайную $\Delta A_{нсл}$ составляющие

$$\Delta A_n = \Delta A_{нс} + \Delta A_{нсл}, \quad (2.3)$$

о которых упоминалось выше.

Величина $(-)\Delta A_n$, т.е. абсолютная погрешность, взятая с противоположным знаком, называется *поправка*.

Следует подчеркнуть, что абсолютная погрешность не отражает точность измерений, поскольку значение $\Delta A_n = 5$ В, например, при $A_d = 10$ В – это слишком большая величина (соответствующая *промаху*), а при $A_d = 2000$ В – пренебрежимо малая, свидетельствующая о высокой точности результата. Поэтому для оценки точности измерений полученную абсолютную погрешность целесообразно сопоставить с измеряемой величиной, т.е. определить *относительную* погрешность γ (безразмерная величина, выражаемая в процентах):

$$\gamma = (\Delta A_n / A) \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Поскольку, как уже отмечалось, истинное значение A измеряемой величины неизвестно, на практике рассчитывают *действительную относительную погрешность*

$$\gamma_d = (\Delta A_n / A_d) \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

используя в расчете вместо истинного A действительное значение A_d . Действительная относительная погрешность γ_d – важная величина, широко применяемая в измерительной технике и характеризующая точность результата, полученного при проведении измерений.

Приведенная относительная погрешность $\gamma_{пр}$ – выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности измерения к максимально возможному для используемого прибора значению измеряемой величины $A_{пр}$ (верхнему пределу измерений)

$$\gamma_{пр} = (\Delta A_n / A_{пр}) \cdot 100\% . \quad (2.6)$$

В качестве верхнего предела при расчете $\gamma_{пр}$ используется либо конечное значение рабочей части шкалы прибора, либо сумма модулей конечных значений (для приборов со шкалой, нулевая отметка которой находится внутри рабочей части шкалы).

В зависимости от величины **наибольшей** основной приведенной погрешности (соответственно, от степени точности результатов проводимых измерений) отечественные **аналоговые электроизмерительные приборы** делятся на 9 классов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4. Если, например, по амперметру класса точности 2,5 со шкалой 0–100 А проходит ток 100 А (полное отклонение указателя шкалы), то основная приведенная погрешность показаний прибора гарантированно не превысит 2,5 процента ($\gamma_{пр100} = (2,5 / 100) \cdot 100\% = 2,5\%$). Если же этим прибором измерять ток величиной 20 А, то погрешность измерений существенно возрастет: $\gamma_{пр20} = (2,5 / 20) \cdot 100\% = 12,5\%$. Таким образом, для увеличения точности измерений, например, тока, целесообразно выбирать амперметр с верхним пределом, наиболее близким к ожидаемому результату – в этом случае действительная погрешность будет близка по величине к приведенной. **Этот вывод справедлив при выборе измерительных приборов для измерения любых физических величин.**

Среднеквадратичная погрешность σ результатов n измерений определяется по формуле

$$\sigma = \pm \sqrt{(\Delta A_1^2 + \Delta A_2^2 + \dots + \Delta A_n^2) / (n - 1)} . \quad (2.7)$$

Исследованиями доказано, что наибольшая погрешность ΔA_{max} , проявляющаяся в цикле из n измерений, всегда меньше удвоенного значения σ , т.е. $\Delta A_{max} \leq 2\sigma$, что всегда учитывается при оценке достоверности полученных результатов измерений.

2.3. Универсальное средство измерений – электронный цифровой вольтметр (на примере прибора В7-22А)

По своему принципу действия цифровой вольтметр (ЦВ) измеряет **только постоянное напряжение**, поэтому все другие физические величины, которые согласно техническому описанию может измерять прибор – переменное **синусоидальное напряжение**, постоянный и переменный **синусоидальный ток**, **активное сопротивление** – **преобразуются в постоянное напряжение пропорционально измеряемой величине** с помощью специальных преобразователей, входящих в состав прибора:

- делителя напряжения;
- преобразователя переменного напряжения в постоянное: $U_{\sim}-U_{=}$;
- преобразователя «ток-напряжение»: $I-U$;
- преобразователя «сопротивление-напряжение»: $R-U$.

Рассмотрим принцип работы указанных преобразователей.

Делитель напряжения уменьшает величину входного напряжения в заданное число раз и используется для работы вольтметра с достаточно высокими напряжениями величиной десятки–сотни вольт. Схема простейшего резистивного делителя приведена на рис. 4.2 (раздел 4). Уровень напряжения на выходе делителя получается ниже, чем на входе, поскольку часть входного напряжения падает на верхнем по схеме резисторе. Коэффициент передачи цепи, называемый в случае делителя **коэффициентом деления**, определяется выражением:

$$K_{\text{дел}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \leq 1. \quad (2.8)$$

Резистивный делитель широко применяется в электронике.

Преобразователь $U_{\sim}-U_{=}$. Функцию преобразования переменного синусоидального напряжения в постоянное выполняет **выпрямитель** – устройство, в основе принципа действия которого лежит использование электронных приборов с односторонней проводимостью – **диодов (вентилей)**. Диод (рис. 2.1, а) обладает вентильными свойствами: хорошо пропускает ток в одном (**прямом**) направлении (диод открыт), т.к. сопротивление диода малó, и практически не пропускает ток в обратном направлении (диод заперт), поскольку сопротивление диода при этом достаточно великó. На практике сопротивление открытого диода обычно принимают равным нулю, и в схемах замещения открытый диод заменяют короткой (рис. 2.1, б). В запертом состоянии диод принято

полагать разрывом (рис. 2.1, в). Условное графическое обозначение (УГО) диода (рис. 2.1, а) представляет собой стрелку, указывающую направление тока через диод в прямом направлении. Состояние диода зависит от полярности приложенного к нему напряжения. При полярности напряжения на диоде, показанной на рис. 2.1, б, диод открыт и пропускает ток в прямом направлении (направление стрелки тока I_{VD} совпадает с направлением стрелки в УГО диода). Для противоположной полярности (рис. 2.1, в) диод закрыт и не пропускает ток в обратном направлении, т.е. ток через прибор практически равен нулю.

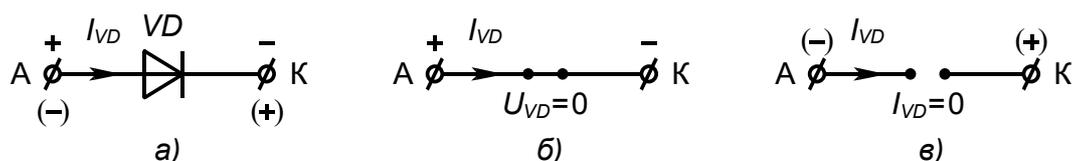


Рис. 2.1. Условное графическое обозначение диода (а); простейшая эквивалентная схема диода в открытом (б) и закрытом (в) состоянии; А – анод; К – катод

Рассмотрим процесс выпрямления синусоидального напряжения на примере схем одно- и двухполупериодного выпрямителей.

Пусть на вход **однополупериодного выпрямителя** (рис. 2.2, а) поступает синусоидальное входное напряжение $u_{вх}$ (рис. 2.2, б), полярность которого периодически меняется. Если полуволна напряжения расположена выше оси абсцисс, считают, что напряжение положительно (на схеме полярность такого напряжения указана без скобок); если полуволна располагается ниже – напряжение отрицательно (полярность показана в скобках). Диод на схеме обозначен VD . При положительной полярности входного напряжения диод открыт (рис. 2.3, а), поэтому почти все входное напряжение приложено к выходу (на диаграмме $u_{вых}$ присутствует положительная полуволна синусоиды). Отрицательная полярность входного напряжения запирает диод (рис. 2.3, б). Его сопротивление становится практически бесконечно большим, цепь тока разрывается, и выход схемы оказывается отключенным от входа (все входное напряжение выделяется на запертом диоде). Очевидно, что при этом напряжение на выходе равно нулю. Как видно из диаграммы (рис. 2.2, б), на выходе присутствует только одна полуволна положительного напряжения. Для получения практически постоянного напряжения используют **сглаживающие фильтры**, простейшим представителем которых является фильтровой конденсатор C_{ϕ} (на рисунке не показан), подключаемый параллельно к выходу выпрямителя. Конденсатор заряжается через открытый диод во время действия положительной полуволны на входе выпрямителя и относительно медленно разряжает-

ся на нагрузку во время паузы, когда диод заперт, поддерживая тем самым положительное выходное напряжение выпрямителя при запертом VD и уменьшая его пульсацию. Таким образом, при относительно большой емкости фильтрового конденсатора ($C_{\phi} \rightarrow \infty$) напряжение на выходе выпрямителя приближается по форме к постоянному.

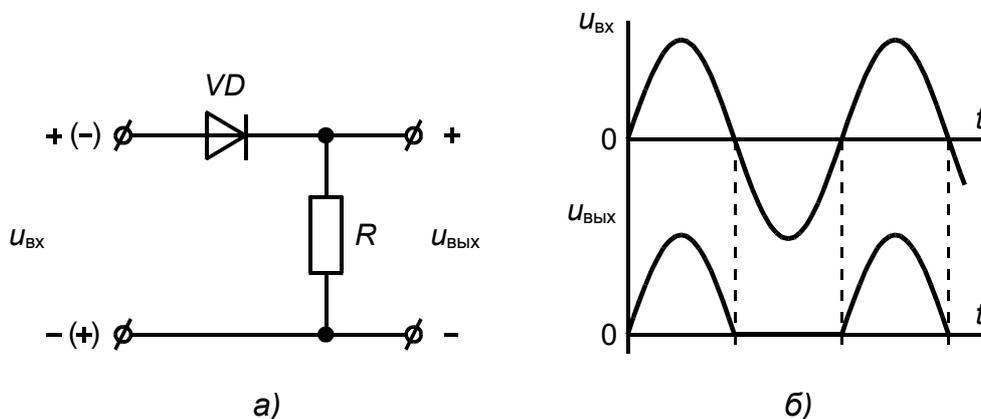


Рис. 2.2. Схема однополупериодного выпрямителя (а) и диаграммы работы (б)

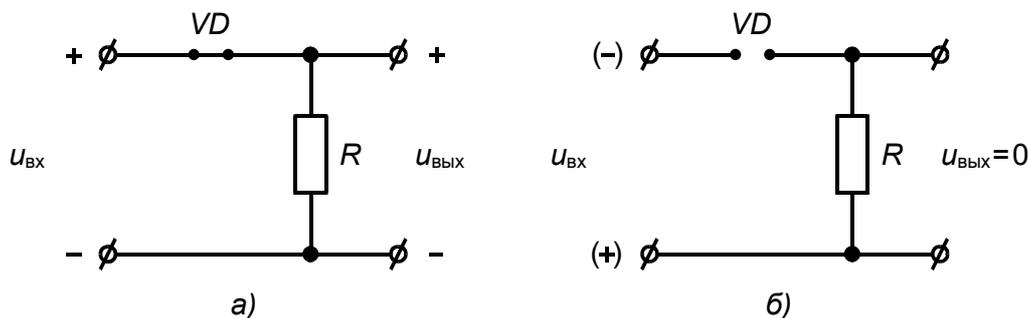


Рис. 2.3. Эквивалентная схема однополупериодного выпрямителя при отпирающей (а) и запирающей (б) диод полярности входного напряжения

Более совершенным видом преобразователя переменного напряжения в постоянное является устройство, изображенное на рис. 2.4, а. Рассмотрим работу этого выпрямителя без учета конденсатора C_{ϕ} . В отличие от предыдущей схемы здесь на выход устройства поступают **обе полуволны** входного напряжения (рис. 2.4, б), отсюда название – **двухполупериодный выпрямитель**. Особенность схемы заключается в том, что при одной полярности входного сигнала два диода, для которых $u_{ВХ}$ является положительным, находятся в проводящем состоянии, а другие два, для которых это же напряжение отрицательно – в запертом. При смене полярности входного напряжения состояния диодов меняются на противоположные. Рассмотрим работу схемы подробнее.

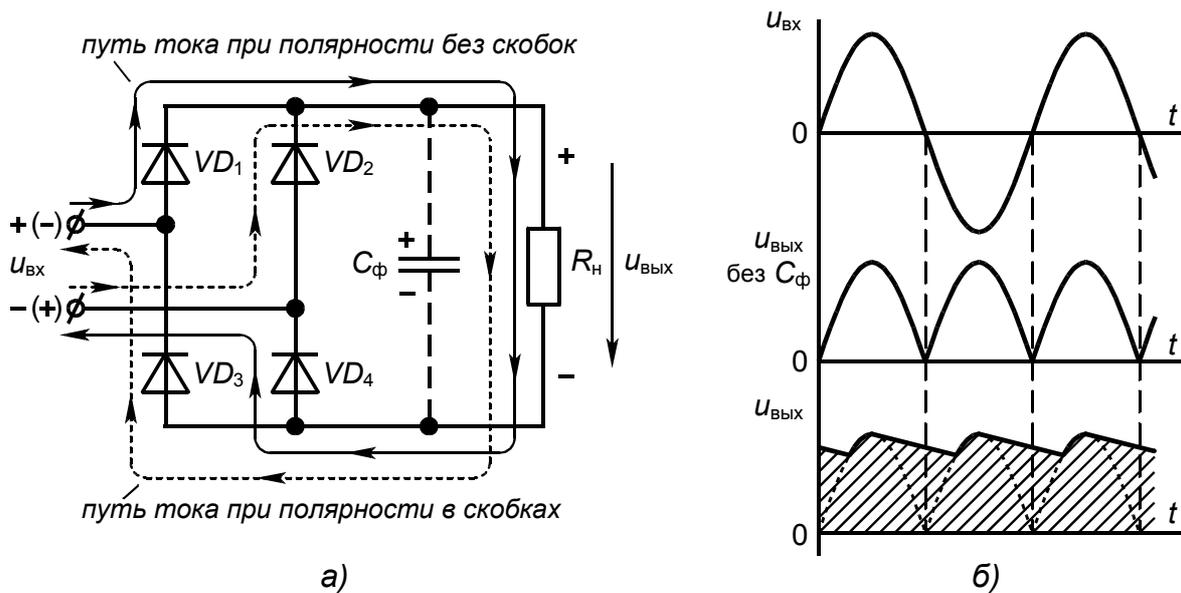


Рис. 2.4. Схема двухполупериодного выпрямителя (а) и диаграммы работы (б)

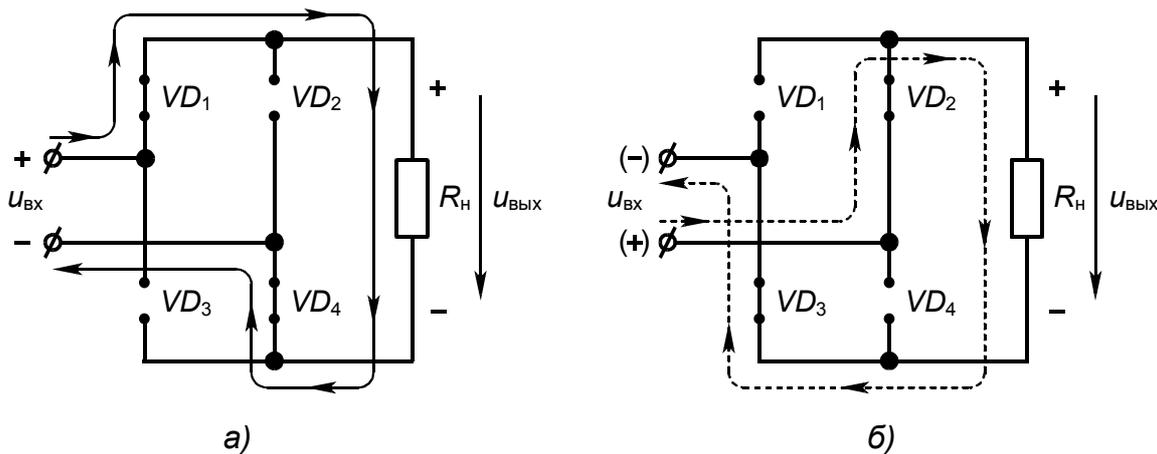


Рис. 2.5. Эквивалентная схема двухполупериодного выпрямителя при положительной (а) и отрицательной (б) полярности входного напряжения

Под действием $u_{вх}$ положительной полярности открываются диоды VD_1, VD_4 , при этом в цепи протекает ток, путь которого показан на рис. 2.4, а и 2.5, а сплошной линией. На выход выпрямителя проходит положительная полуволна входного напряжения (рис. 2.4, б). С приходом отрицательной полуволны $u_{вх}$ открываются диоды VD_2 и VD_3 . Путь протекания тока в этом случае на схеме (рис. 2.4, а и 2.5, б) показан пунктирной линией. Пройдя через выпрямитель, отрицательная полуволна входного напряжения «переворачивается», меняя свою полярность на противоположную. Действительно, при любой полярности напряжения на входе ток через R_n протекает только в одном направлении,

поэтому $u_{\text{вых}}$ получается однополярным. Для уменьшения пульсаций выходного напряжения в схеме выпрямителя установлен фильтровой конденсатор $C_{\text{ф}}$. Периодически накапливая и отдавая электрическую энергию в нагрузку, конденсатор формирует напряжение на выходе, близкое по форме к постоянному (показано штриховкой на рис. 2.4, б), т.е. пульсации напряжения на нагрузке $R_{\text{н}}$ относительно малы.

Преобразователь I - U . Для измерения величины тока в цифровом вольтметре используются *прецизионные (высокоточные) резисторы*, с помощью которых измеряемый ток I_x преобразуется в пропорциональное ему напряжение. Ток I_x пропускают через прецизионный резистор $R_{\text{прец}}$ с известной величиной сопротивления (рис. 2.6), получая на выходе напряжение $U_{R_x} = I_x \cdot R_{\text{прец}}$.

Если ток переменный, то на выходе преобразователя получается переменное напряжение, которое затем выпрямляется с помощью рассмотренных схем выпрямления. Поскольку универсальный вольтметр в режиме измерения тока включается в разрыв цепи, как обычный амперметр, величина сопротивления $R_{\text{прец}}$ прецизионного резистора выбирается достаточно малой, чтобы не оказывать заметного влияния на величину измеряемого тока в исследуемой схеме. Подчеркнем: **в режиме измерения тока универсальный цифровой вольтметр, несмотря на название, обладает свойствами обычного амперметра**.

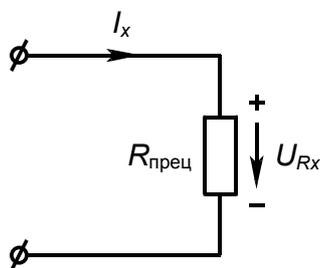


Рис. 2.6. Схема преобразователя «ток-напряжение»

Преобразователь R - U . Измерение прибором *активного сопротивления* осуществляется путем пропускания прецизионного постоянного тока $I_{\text{прец}}$ известной величины по измеряемому сопротивлению R_x (рис. 2.7), на котором при этом выделяется напряжение $U_{R_x} = I_{\text{прец}} \cdot R_x$, прямопропорциональное R_x .

Таким образом, в цифровом вольтметре все измеряемые величины преобразуются вначале в постоянное напряжение, которое затем измеряется прибором с индикацией результата в цифровом виде (последовательность цифр в десятичном коде) на специальном индикаторе.

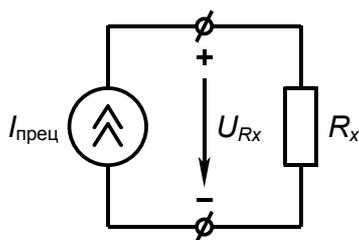


Рис. 2.7. Схема преобразователя «сопротивление-напряжение»

Операция преобразования постоянного напряжения (аналоговый сигнал) в определенную последовательность логических сигналов (цифры в двоичном коде) и последующее преобразованием двоичных цифр в десятичные осуществляется аналого-цифровым преобразователем (АЦП), который является важнейшим функциональным блоком любого цифрового вольтметра.

Следует отметить, что ЦВ по принципу действия измеряет средневыпрямленное (т.е. среднее по модулю) значение гармонического напряжения, но проградуирован в действующих (среднеквадратичных) значениях. Операция пересчета осуществляется внутри прибора и является весьма простой, поскольку средневыпрямленное $U_{св}$ и среднеквадратичное U значения гармоники связаны между собой постоянным коэффициентом: $U / U_{св} = (U_m / \sqrt{2}) / (2U_m / \pi) = \pi / 2\sqrt{2} \approx 1,11$.

2.3.1. Основные методы проведения электрических измерений с помощью универсального цифрового вольтметра (ЦВ)

Определение величины тока, напряжения или активного сопротивления с помощью ЦВ возможно как прямыми измерениями, так и косвенными (см. раздел 2.1). Перед проведением измерений прибор должен быть **включен и прогрет** не менее 3-х минут. Рассмотрим подробнее методы прямых измерений.

Измерение тока

В режиме измерения тока ЦВ, как уже отмечалось, является **амперметром** с малым, практически не влияющим на измеряемую цепь, внутренним сопротивлением. Для измерения тока в некоторой ветви электрической цепи необходимо:

- 1) **отключить** входной сигнал, воздействующий на исследуемую схему;
- 2) **выключить** источник питающего напряжения, если для работы схемы предусмотрено его использование;
- 3) **выделить ветвь** ЭЦ, в которой необходимо измерить ток, и **организовать ее разрыв** в месте, где подключение ЦВ будет достаточно удобным (на монтажной панели (МП) должны быть заблаговременно

организованы свободные гнезда для подключения прибора).

Примечание: для экономии времени наличие свободных гнезд для подключения измерительных приборов (осциллографа, вольтметра и т.п.) целесообразно предусматривать на этапе монтажа исследуемой схемы на МП, предварительно ознакомившись с программой лабораторной работы и уяснив круг задач, которые предстоит решать в ходе ее выполнения. Гнезда, к которым будет впоследствии подключаться ЦВ в режиме измерения тока, необходимо закоротить между собой короткой перемычкой, вместо которой на этапе измерения и подключается ЦВ;

4) перевести ЦВ в режим измерения тока с учетом рода измеряемой величины – *постоянный* или *переменный* ток (см. раздел 3.4);

5) к точкам разрыва ветви подключить сигнальные провода ЦВ. Отметим, что как и любой амперметр, в режиме измерения тока **ЦВ включается последовательно с элементами, находящимися в выделенной ветви!** Поскольку внутреннее сопротивление амперметра весьма мало, точки разрыва ветви соединяются через это сопротивление, восстанавливая путь для тока, величину которого нужно измерить;

6) включить источник питающего напряжения;

7) подать на вход цепи входной сигнал;

8) измерить величину тока, начиная с самого грубого предела (см. правила проведения измерений в разделе 3.4). Зафиксировать результат;

9) рассчитать основную погрешность измерения (см. раздел 3.4);

10) **отключить** входной сигнал, **выключить** источник питающего напряжения, **отсоединить** ЦВ (и сразу же перевести его в режим измерения *напряжения*), **восстановить целостность выделенной ветви**;

11) продолжить выполнение программы работы.

Измерение напряжения

В режиме измерения напряжения ЦВ представляет собой высококачественный вольтметр с **весьма большим входным сопротивлением**, что обеспечивает минимальное влияние подключенного прибора на режим работы исследуемой цепи. Измерение напряжения на некотором участке (или элементе) электрической цепи производится в следующей последовательности:

1) отключить входной сигнал и выключить источник питания исследуемой схемы;

2) на монтажной панели организовать свободные гнезда, электрически связанные с узлами ЭЦ, к которым планируется подключение ЦВ для измерения напряжения (см. предыдущее *примечание*).

3) перевести ЦВ в режим измерения **напряжения** нужного рода – *постоянное* или *переменное* (см. раздел 3.4);

4) подключить сигнальные провода ЦВ к подготовленным гнездам на МП. Подчеркнем, что в режиме измерения напряжения **ЦВ включается**

ется параллельно участку цепи или элементу, сигнал на котором измеряется! Так как внутреннее сопротивление **вольтметра** весьма велико, режим работы исследуемой цепи при этом практически не меняется, что обеспечивает минимальную погрешность измерения.

5) включить источник питающего напряжения, затем подать на вход схемы входной сигнал;

6) измерить величину напряжения, начиная с самого грубого предела (см. правила проведения измерений в разделе 3.4). Зафиксировать результат;

7) рассчитать основную погрешность измерения (см. раздел 3.4);

8) отключить ЦВ, продолжить выполнение программы работы.

Измерение активного сопротивления

В режиме измерения активного сопротивления ЦВ представляет собой, как уже отмечалось, **источник прецизионного тока** $I_{\text{прец}}$, который пропускается по участку цепи (или элементу), сопротивление которого измеряется. Таким образом, для получения относительно точного результата измерения исследуемый участок или элемент должны быть **электрически изолированы** от посторонних цепей для исключения замыкания по ним части $I_{\text{прец}}$. К примеру, при подключении ЦВ к резистору, находящемуся в электрическом соединении с другими элементами исследуемой ЭЦ (диодами, транзисторами, другими резисторами...), результат измерения будет отражать активное сопротивление участка цепи между точками подключения прибора, а не сопротивление резистора.

Для измерения активного сопротивления с помощью ЦВ нужно:

1) **отключить** входной сигнал и **выключить** источник питания исследуемой схемы;

2) **электрически изолировать** элемент или исследуемый участок цепи от других компонентов схемы, организовав при этом на монтажной панели наличие соседних свободных гнезд в задействованных триадах для последующего подключения ЦВ к измеряемой цепи.

Примечание: при измерении сопротивления **одиночного резистора** целесообразно перенести его из исследуемой схемы на гнезда свободных триад монтажной панели;

3) перевести ЦВ в режим измерения **сопротивления** (раздел 3.4). Замкнуть накоротко концы сигнального кабеля ЦВ и убедиться, что на индикаторном табло индицируется при этом число, близкое к нулю, что свидетельствует об исправности прибора;

4) подключить штекеры сигнального кабеля ЦВ к свободным гнездам МП, электрически связанным с измеряемой цепью;

5) определить искомое сопротивление, действуя по правилам про-

ведения измерений (раздел 3.4). Зафиксировать результат, рассчитать и внести в рабочую тетрадь погрешность проведенного измерения;

6) отключить ЦВ (и сразу же *перевести* его в режим измерения *напряжения*), восстановить исходные соединения исследуемой ЭЦ;

7) *включить* источник питающего напряжения; *подать* на вход схемы входной сигнал; продолжить выполнение программы работы.

2.4. Электронный осциллограф. Основные сведения о приборе

2.4.1. Устройство и принцип действия

Осциллограф – измерительный прибор, предназначенный для визуального наблюдения и исследования электрических сигналов.

В основе принципа действия осциллографа лежит преобразование исследуемых электрических сигналов в видимое изображение на экране электронно-лучевой трубки. Упрощенная функциональная схема осциллографа показана на рис. 2.8.

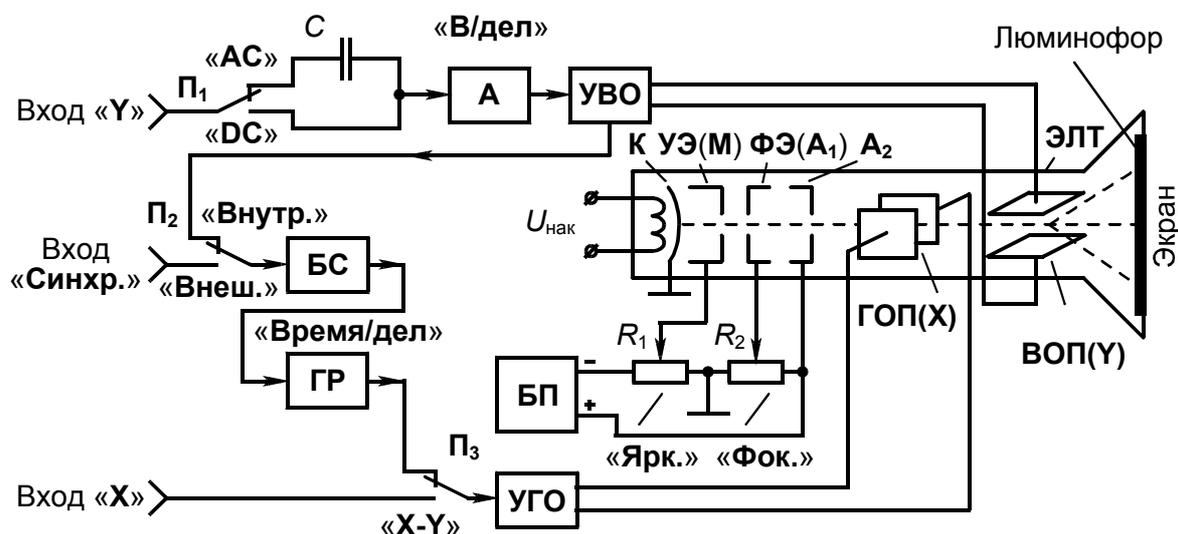


Рис. 2.8. Функциональная схема осциллографа. P_1 – переключатель режима входа («АС» – закрытый вход, «ДС» – открытый вход); P_2 – переключатель источника синхронизации («Внутр.» – внутренняя синхронизация, «Внеш.» – внешняя синхронизация); P_3 – переключатель входов УГО

В состав функциональной схемы прибора входят следующие основные блоки: электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), аттенюатор (А), усилитель канала вертикального отклонения (УВО), усилитель канала горизонтального отклонения (УГО), блок синхронизации (БС), генератор развертки (ГР), блок питания (БП).

Главным узлом осциллографа является электронно-лучевая трубка, представляющая собой стеклянную колбу, запаянную с одной стороны и расширяющуюся с другой стороны на конус. Сама трубка, как правило, имеет цилиндрическую форму, а расширяющаяся часть может быть

как цилиндрической, так и прямоугольной формы. Расширяющаяся часть трубки заканчивается плоскостью, которая образует так называемый **экран ЭЛТ**. Внутренняя часть экрана покрыта специальным составом – **люминофором**, основным свойством которого является способность светиться при бомбардировке его электронным пучком. Это свойство люминофора называется **люминесценция**.

Внутри трубки вдоль центральной оси располагается **электронный прожектор**, представляющий собой систему электродов, с помощью которой формируется узкий поток электронов (электронный пучок) – **электронный луч**. Кроме прожектора, внутри трубки находятся две пары взаимно перпендикулярных пластин, предназначенных для перемещения электронного пучка вдоль экрана, обуславливающего отображение на экране так называемых **осциллограмм**. Одна пара пластин (**Y-пластины**), расположенных горизонтально и параллельно друг другу, называется вертикально отклоняющими пластинами (**ВОП**). Вторая пара (**X-пластины**) расположена вертикально и называется горизонтально отклоняющими пластинами (**ГОП**).

В состав электронного прожектора входят:

1. **Катод (К)** – является источником электронов, испускаемых под действием высоких температур (этот процесс называется **термоэлектронной эмиссией**). Для нагрева катода используется специальная спираль, на которую подается напряжение накала $U_{\text{нак}}$.

2. **Управляющий электрод (УЭ)** или **модулятор (М)** – предназначен для первоначального фокусирования электронного пучка и регулирования яркости свечения изображения на экране. К управляющему электроду прикладывается отрицательное напряжение относительно катода, формирующее тормозящее электрическое поле для электронов пучка.

3. **Фокусирующий электрод (ФЭ)** или **первый анод (A_1)** – служит для ускорения электронов, входящих в электронный пучок и его фокусировки, т.е. для уменьшения поперечного сечения пучка. К фокусирующему электроду прикладывается положительное напряжение относительно катода.

4. **Второй анод (A_2)** используется для дальнейшего ускорения электронов. К этому электроду прикладывается самое большое напряжение относительно катода, составляющее несколько единиц–десятков киловольт. В совокупности с фокусирующим электродом второй анод также предназначен для фокусировки электронного пучка.

Конструктивно все электроды электронного прожектора выполнены в виде соосных полых цилиндров, расположенных вдоль оси трубки и имеющих перегородки с отверстиями. Два соседних электрода обра-

зуют так называемую *электронную линзу*.

Упрощенная схема подачи напряжений на элементы электронного прожектора показана на рис. 2.8. Катод соединен с «земляной» шиной и, следовательно, имеет нулевой потенциал относительно «земли». На фокусирующий электрод, предназначенный, как уже отмечалось, для фокусировки электронного луча, подается положительное напряжение относительно катода, величину которого можно менять с помощью специального потенциометра R_2 «**Фок.**» (фокус). К аноду A_2 также приложено положительное напряжение, превышающее напряжение, подаваемое на **ФЭ**. Величина напряжения на A_2 подбирается при настройке прибора. Для управления интенсивностью электронного луча к **УЭ** относительно катода приложено отрицательное напряжение, величина которого регулируется потенциометром R_1 «**Ярк.**» (яркость).

Электронный прожектор излучает узкий пучок электронов – электронный луч, который проходит между парами отклоняющих пластин. Под действием напряжений, подаваемых на эти пластины, электронный луч отклоняется по осям X и Y , вызывая перемещение светового пятна на экране **ЭЛТ**.

Рассмотрим принцип формирования видимого изображения на экране осциллографа.

1. Если к отклоняющим пластинам (**ОП**) не прикладывать напряжения, то электронный луч будет падать в центральную точку экрана 1 (рис. 2.9).

2. Если подвести *постоянное* напряжение только к Y -пластинам, то светящаяся точка сместится на некоторое расстояние вверх или вниз от центра (в зависимости от полярности и величины приложенного напряжения) вдоль вертикальной оси экрана. Это обусловлено тем, что электронный пучок, заряженный отрицательно, притягивается к пластине с положительным (относительно «земли») потенциалом и отталкивается от пластины с отрицательным.

3. Если подвести к Y -пластинам, например, синусоидальное напряжение, а вторую пару (X -пластины) оставить свободной, то на экране будем видеть светящуюся вертикальную линию 2, симметричную относительно центра экрана, длина которой будет пропорциональна двойной амплитуде приложенного напряжения (рис. 2.9).

Примечание: почему мы видим линии на экране? Если бы глаз человека был совершенным, т.е. обладал бесконечно большой скоростью восприятия информации, то человек видел бы процесс перемещения точки по экрану. Поскольку глаз является инерционным органом, при достаточно большой частоте входного сигнала человек видит на экране светящуюся линию. Если частоту входного сигнала

сделать маленькой (≈ 1 Гц), то глаз будет видеть, как светящаяся точка движется по экрану.

4. Подадим синусоидальное напряжение к X-пластинам, а Y-пластины оставим свободными, без потенциалов. В этом случае на экране будет отображаться горизонтальная линия 3, длина которой определяется двойной амплитудой сигнала (рис. 2.9).

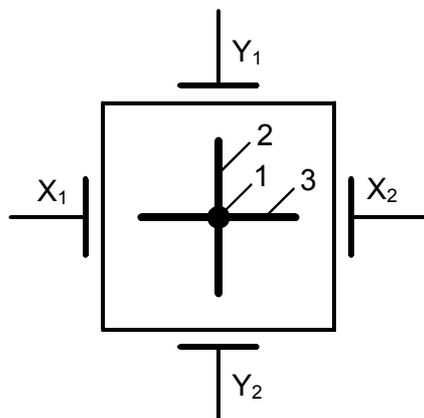


Рис. 2.9. Схематическое изображение отклоняющих пластин и примеры формирования изображения на экране ЭЛТ

5. Если одну и ту же синусоиду подать одновременно на X- и Y-пластины (что равносильно подаче на пластины синфазных сигналов), то на экране будем видеть симметричную линию, расположенную под углом 45° относительно горизонтальной оси (рис. 2.10).

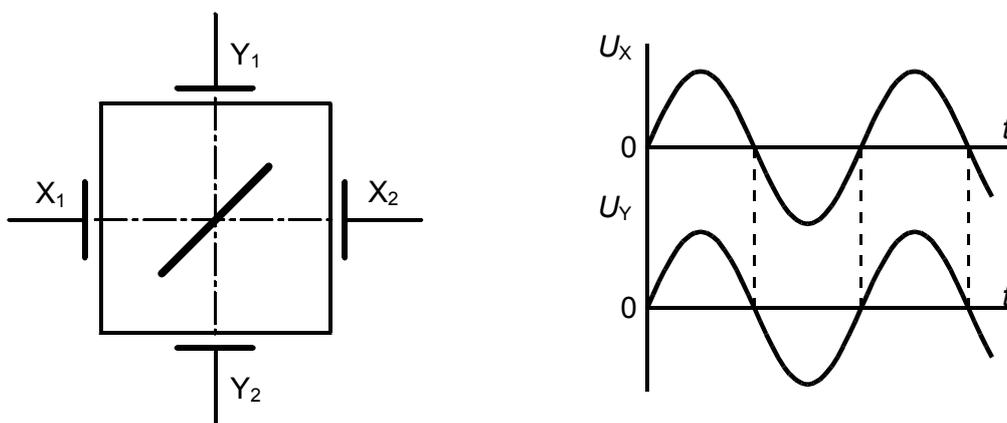


Рис. 2.10. Изображение на экране ЭЛТ при подаче на ОП двух синфазных синусоидальных напряжений

6. Если на обе пары ОП подать равные по модулю противофазные напряжения (рис. 2.11), то на экране электронный луч сформирует линию, проходящую через центр экрана под углом минус 45° .

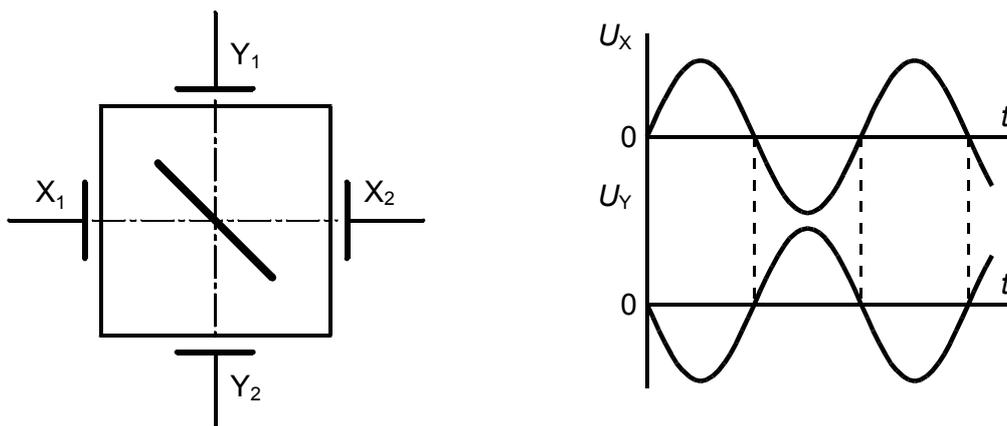


Рис. 2.11. Изображение на экране ЭЛТ при подаче на ОП противофазных сигналов

7. При подаче на пластины одинаковых по модулю синусоидальных сигналов, сдвинутых на $\pm \pi/2$, в центре экрана отобразится окружность (рис. 2.12).

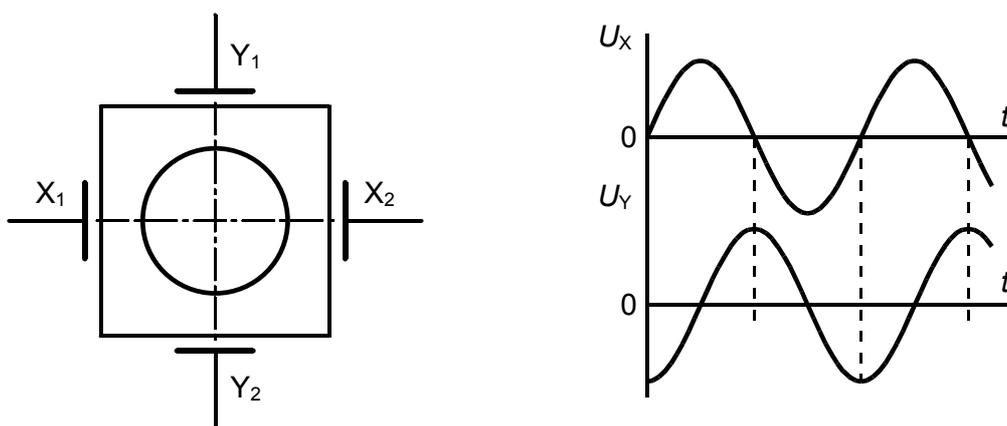


Рис. 2.12. Изображение на экране ЭЛТ при подаче на ОП гармонических сигналов с фазовым сдвигом $\pi/2$

Изображение, полученное на экране осциллографа под действием двух синусоидальных сигналов, поступающих на пластины горизонтального и вертикального отклонения одновременно, называется **фигурой Лиссажу**. По виду данной фигуры можно определить фазовый сдвиг между двумя синусоидальными сигналами **с одинаковой или кратной** частотой. В общем случае фигура, получаемая на экране осциллографа **при равенстве частот синусоид**, представляет собой эллипс (рис. 2.13). Если при этом **модули амплитуд синусоид одинаковы**, то фазовый сдвиг между ними, в градусах, рассчитывается по формуле $\varphi = \arcsin(A/B)$, где А – расстояние между точками пересечения эллипса и центральной вертикальной линии экрана; В – максимальный размер эллипса по вертикали.

Измерение разности фаз методом фигур Лиссажу можно производить только с помощью двухлучевого (или двухканального) осциллографа, работающего в специализированном режиме **X-Y**.

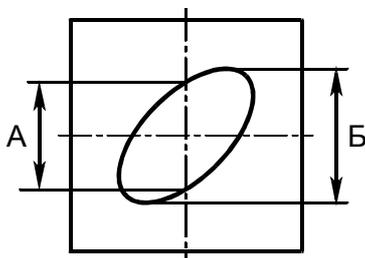


Рис. 2.13. Фигура Лиссажу

Режим **X-Y** позволяет получить зависимость между двумя величинами в декартовой системе координат на экране осциллографа. Например, данный режим позволяет получать на экране осциллографа вольт-амперные характеристики диода, стабилитрона, петли гистерезиса магнитных материалов и др. Режим **X-Y** является специфическим и используется достаточно редко. В обычном режиме, *классическом*, исследуемый сигнал подается на **ВОП**, а на **ГОП** – линейно изменяющееся напряжение (рис. 2.14), называемое *напряжением развертки* (или просто – *развертка*) и вырабатываемое *генератором развертки* (иначе – *генератор пилообразного напряжения (ГПН)* или *генератор «пилы»*).

Если на пластины горизонтального отклонения подавать только напряжение развертки, а на **ВОП** ничего не подавать, то на экране будет наблюдаться горизонтальная светящаяся линия развертки. За время прямого хода $t_{\text{пх}}$ светящаяся точка перемещается с постоянной скоростью из крайнего левого положения в крайнее правое. За короткое время обратного хода $t_{\text{ох}}$, много меньшее времени $t_{\text{пх}}$, светящаяся точка практически мгновенно возвращается в крайнее левое положение, и далее процессы периодически повторяются.

Если при поступающем на **X**-пластины напряжении развертки на **ВОП** подать какое-либо напряжение, которое нужно исследовать, например, синусоиду (т.е. **Y**-сигнал), то на экране появится изображение этой синусоиды. Полученный эффект обусловлен тем, что световое пятно под действием **Y**-сигнала будет отклоняться в вертикальном направлении и одновременно – под действием напряжения развертки – в горизонтальном.

Изображение на экране будет неподвижно только в том случае, когда период исследуемого сигнала равен, либо кратен (в меньшую сторону) периоду напряжения развертки.

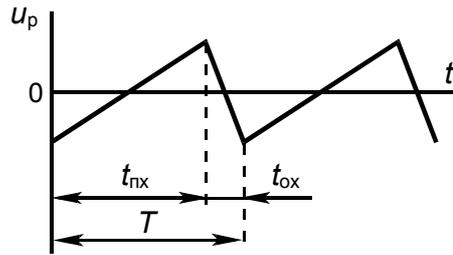


Рис. 2.14. Диаграмма напряжения развертки (пилы)

Для получения устойчивого изображения исследуемого сигнала в осциллографе осуществляется **синхронизация** напряжения развертки с исследуемым сигналом. Блок синхронизации (БС) вырабатывает импульсы, запускающие генератор развертки (ГР) синхронно с изменением исследуемого сигнала. На рис. 2.15 приведены диаграммы напряжений на отклоняющих пластинах для входного синусоидального сигнала. БС запускает ГР, когда напряжение на входе достигает уровня запускающего напряжения $U_{зап}$ на каждом периоде синусоиды. На экране ЭЛТ отображается только часть исследуемого сигнала, в течение которой действует напряжение развертки.

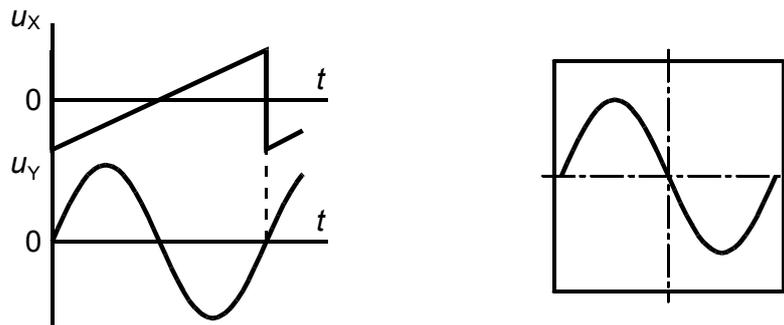


Рис. 2.15. Диаграммы напряжений на ОП и изображение на экране ЭЛТ

Различают два вида синхронизации: внутренняя и внешняя. При внутренней синхронизации (переключатель Π_2 находится в положении «Внутр.») запуск ГР осуществляется непосредственно самим входным сигналом. В режиме внешней синхронизации (переключатель Π_2 – в положении «Внеш.») ГР запускается внешним сигналом, поступающим на вход внешней синхронизации «Синхр.». Очевидно, что если нет внешнего сигнала, то нет и развертки, а, следовательно, и изображения на экране.

В режиме внутренней синхронизации в БС осциллографа организовано два различных режима работы генератора развертки, которые задаются специальным переключателем (на рис. 2.8 не показан): ждущий и автоколебательный (автоматический). Схема синхронизации БС постоянно производит отбор (селекцию) поступающих на вход «Y» вход-

ных сигналов по величине и полярности (критерии отбора задаются внешними органами управления). В ждущем режиме, если эти параметры соответствуют требуемым, **БС** вырабатывает импульсы, запускающие **ГР** синхронно с входными сигналами, и на экране **ЭЛТ** формируется четкое изображение, синхронизированное с входным напряжением. При несоответствии параметров входных сигналов требуемым **ГР** не запускается, следовательно, изображение на экране отсутствует.

В автоколебательном режиме, если параметры входных сигналов соответствуют требуемым, **БС** и **ГР** работают так же, как в ждущем режиме. Если же параметры входных сигналов не соответствуют требованиям по величине, или сигналы вовсе отсутствуют на входе осциллографа, **ГР** запускается автономно (в автоколебательном режиме) с частотой, приблизительно равной 100 Гц. В этом случае при отсутствии входных сигналов на экране видна горизонтальная линия развертки. Если же какой-либо случайный входной сигнал появляется на входе, то его изображение будет нечетким, несинхронизированным – на экране наблюдаются размытые «зашумленные, плавающие» осциллограммы.

Принцип действия осциллографа по функциональной схеме

В «классическом» режиме работы (вход «**X**» переключателем **П₃** отключен) входной сигнал последовательно поступает на вход «**Y**», аттенюатор (частотно-компенсированный делитель) **A** и усилитель **УВО**, где нормируется по величине (усиливается или ослабляется) до уровня, удобного для наблюдения. Усиленный сигнал поступает на пластины вертикального отклонения **ЭЛТ** и одновременно, при внутренней синхронизации, запускает генератор развертки, вырабатывающий пилообразное напряжение. Генератор развертки выдает сигнал на **УГО**, где пилообразное напряжение усиливается до требуемой величины. Усиленная пила поступает на горизонтальные отклоняющие пластины **ЭЛТ**. Таким образом, на экране **ЭЛТ** появляется видимое изображение входного сигнала.

Переключатель **П₁** задает состояние входа «**Y**». Положение переключателя «**АС**» соответствует «закрытому» входу, т.к. конденсатор **C** препятствует прохождению постоянной составляющей сигнала, следовательно, на экране будет отображаться осциллограмма сигнала без постоянной составляющей. В положении «**ДС**» на экране виден непосредственно входной сигнал.

Блок питания **БП** вырабатывает необходимые питающие напряжения, поступающие на все функциональные блоки осциллографа.

В режиме **X-Y** переключатель **П₃** отключает **ГР** и подключает вход «**X**» непосредственно к усилителю **УГО**.

Раздел 3. Рабочее место учебной лаборатории. Техническое описание оборудования и контрольно-измерительных приборов

3.1. Общие сведения

В комплект оборудования рабочего места учебной лаборатории кафедры ПМЭ входят:

- переносная монтажная панель, располагаемая на лабораторном столе, на которой монтируются исследуемые в лабораторной работе электрические (электронные) цепи, составленные из реальных электронных компонентов, установленных на специальных модулях;
- лабораторный источник питания (ЛИП), обеспечивающий исследуемые цепи постоянными напряжениями требуемого качества; кроме лабораторного источника питания на каждом рабочем месте имеется несколько розеток с подведенными к ним переменными напряжениями 36 В и 220 В, 50 Гц;
- двухканальный универсальный осциллограф GOS-620;
- генератор синусоидальных сигналов ГЗ-109;
- генератор прямоугольных импульсов Г5-54;
- вольтметр универсальный цифровой В7-22А;
- наборы модулей с расположенными на них реальными электронными компонентами;
- комплекты соединительных проводников.

3.2. Монтажная панель

Монтажная панель (МП) предназначена для монтажа исследуемых электронных цепей путем подключения к гнездам панели модулей с распаянными на них реальными электронными компонентами с последующей коммутацией последних соединительными проводниками. Панель содержит электрокоммутационные гнезда, соединенные в группы определенным образом. На панели расположены (рис. 3.1):

1 – **входная шина** (верхняя и нижняя) – **группа электрически соединенных между собой гнезд**, предназначенных для подачи входных сигналов и подключения измерительных приборов;

2 – **триады** (группы из трех электрически соединенных между собой гнезд) – для синтеза исследуемых электрических цепей;

3 – **выходная шина** (верхняя и нижняя) – для снятия сигнала с выхода исследуемой цепи и подключения измерительных приборов; в качестве **выходной** шины можно использовать нижнюю **входную** шину;

4 – **общая («земляная») шина** – для подключения общей точки («земли») исследуемой цепи.

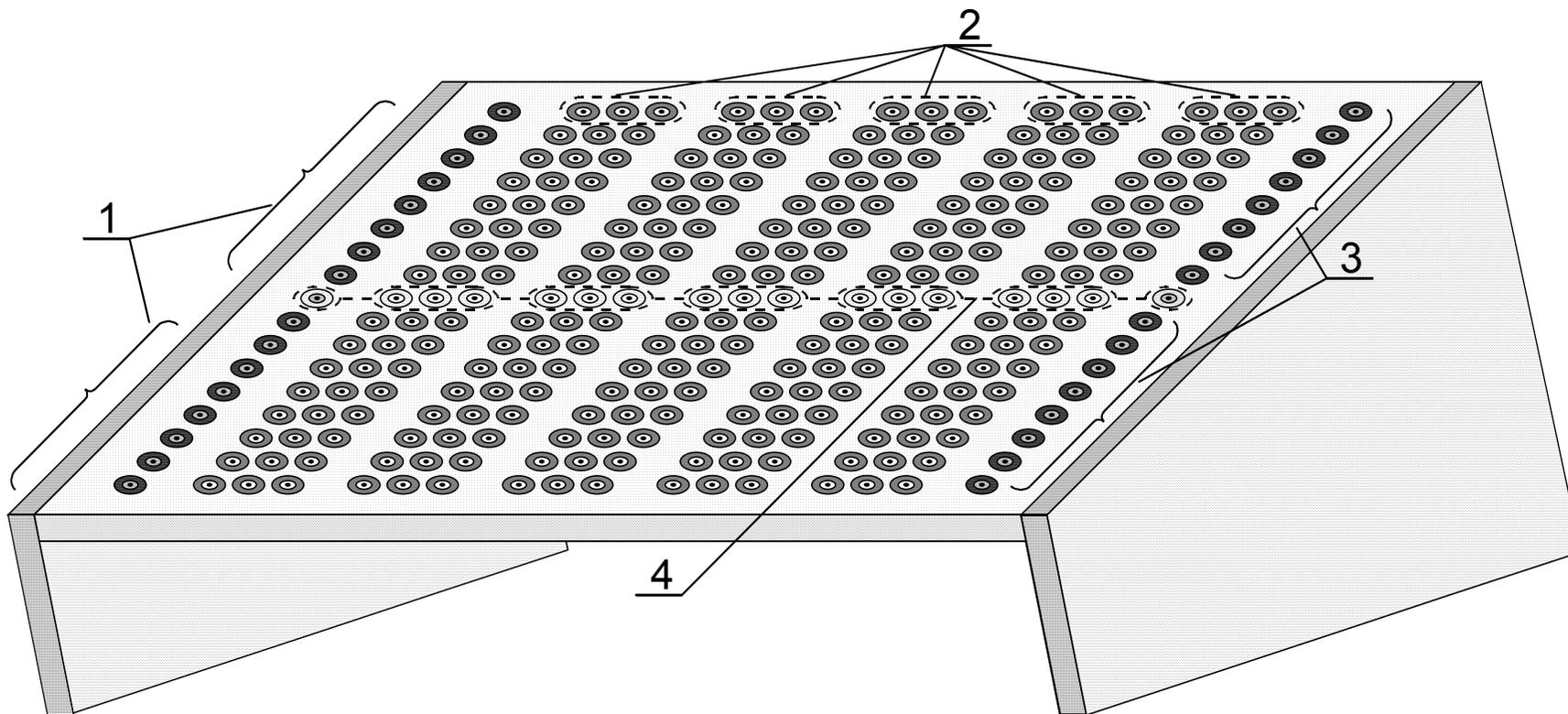


Рис. 3.1. Монтажная панель, общий вид

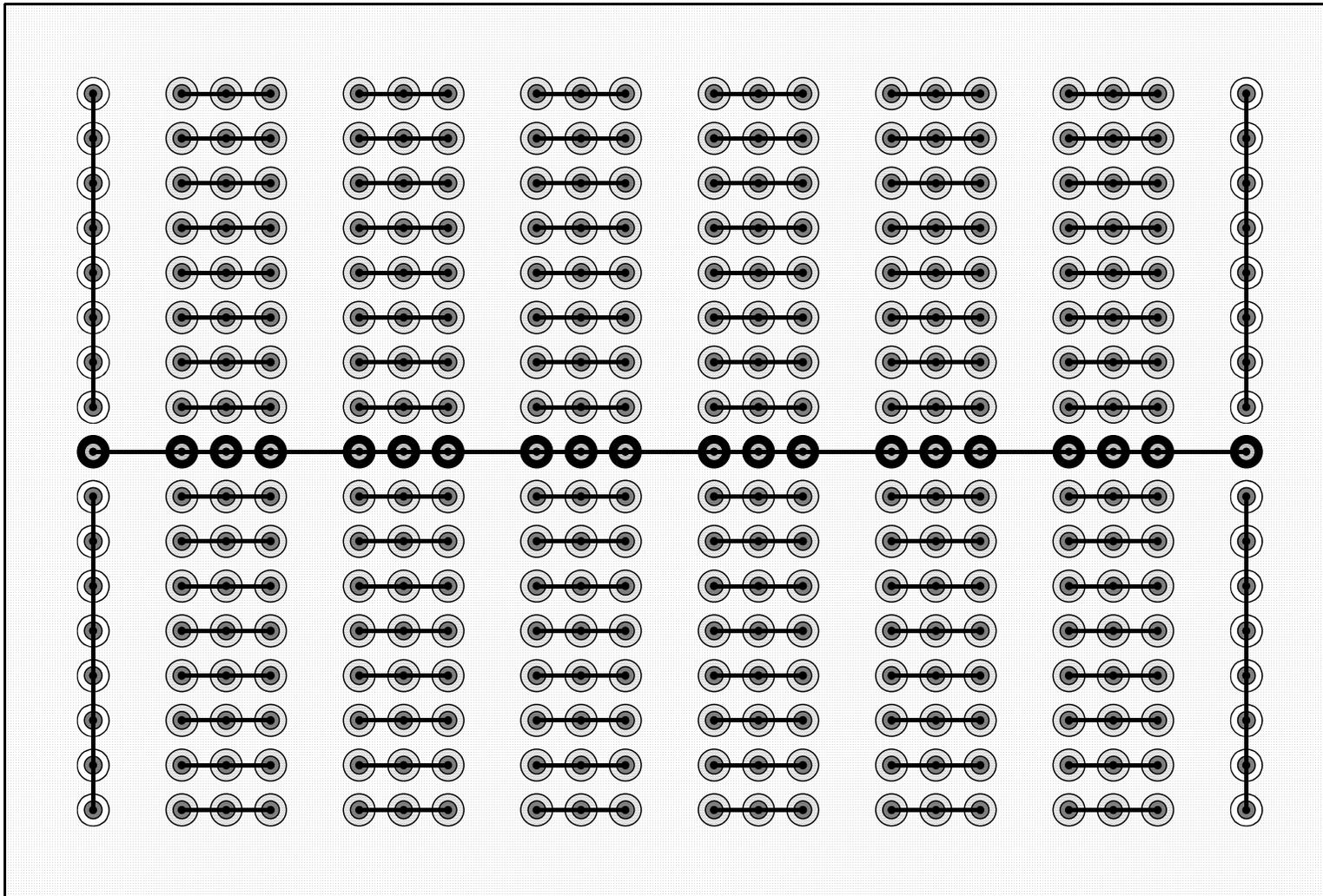


Рис. 3.2. Монтажная панель, вид снизу

Реальные компоненты, входящие в состав исследуемой электрической цепи, расположены (распаяны) на специальных панелях (модулях) из электроизоляционного материала с металлическими *стержнями (выводами)*, посредством которых модуль подключается к гнездам МП. Количество выводов модуля, как правило, равно количеству выводов компонентов. Модули с компонентами на МП следует располагать таким образом, чтобы не было паразитных «закороток» и существовала возможность с помощью минимального количества внешних проводников реализовать все необходимые подключения.

Основные требования при монтаже:

– обеспечение компактности цепи при *минимуме* соединительных проводников. Для минимизации количества переключателей целесообразно *заранее* в рамках подготовки к выполнению лабораторной работы подготовить схему соединений для каждой исследуемой цепи;

– использование *минимально коротких* соединительных проводников, обладающих минимальными значениями паразитных параметров и потому незначительно искажающими результаты измерений.

– организация свободных гнезд в характерных узлах схемы для подключения измерительных приборов.

3.3. Лабораторный источник питания

Лабораторный источник питания (ЛИП) предназначен для получения *постоянного* напряжения требуемого качества (величина, полярность, стабильность, уровень пульсаций и др.), используемого для питания исследуемой в лабораторной работе электрической цепи.

На рис. 3.3 изображена передняя (лицевая) панель ЛИП с обозначением органов управления, присоединения, контроля и индикации:

1 – тумблер «**СЕТЬ**» – выключатель питающего напряжения прибора, предназначенный для включения и выключения ЛИП;

2 – светодиодный индикатор, свечение которого свидетельствует о включенном состоянии источника питания.

3 – встроенный вольтметр, индицирующий величину напряжения на выбранном выходе (канале);

4 – переключатель, подключающий встроенный вольтметр к выбранному выходу (каналу) в соответствии с номером положения;

5 – выходные гнезда каналов с указанной полярностью потенциала соответствующего гнезда – выходы ЛИП, к которым подключаются провода, подводящие к исследуемой схеме питающее напряжение;

6 – ручки потенциометров, предназначенных для регулирования выходных напряжений каналов в пределах, указанных на передней панели.

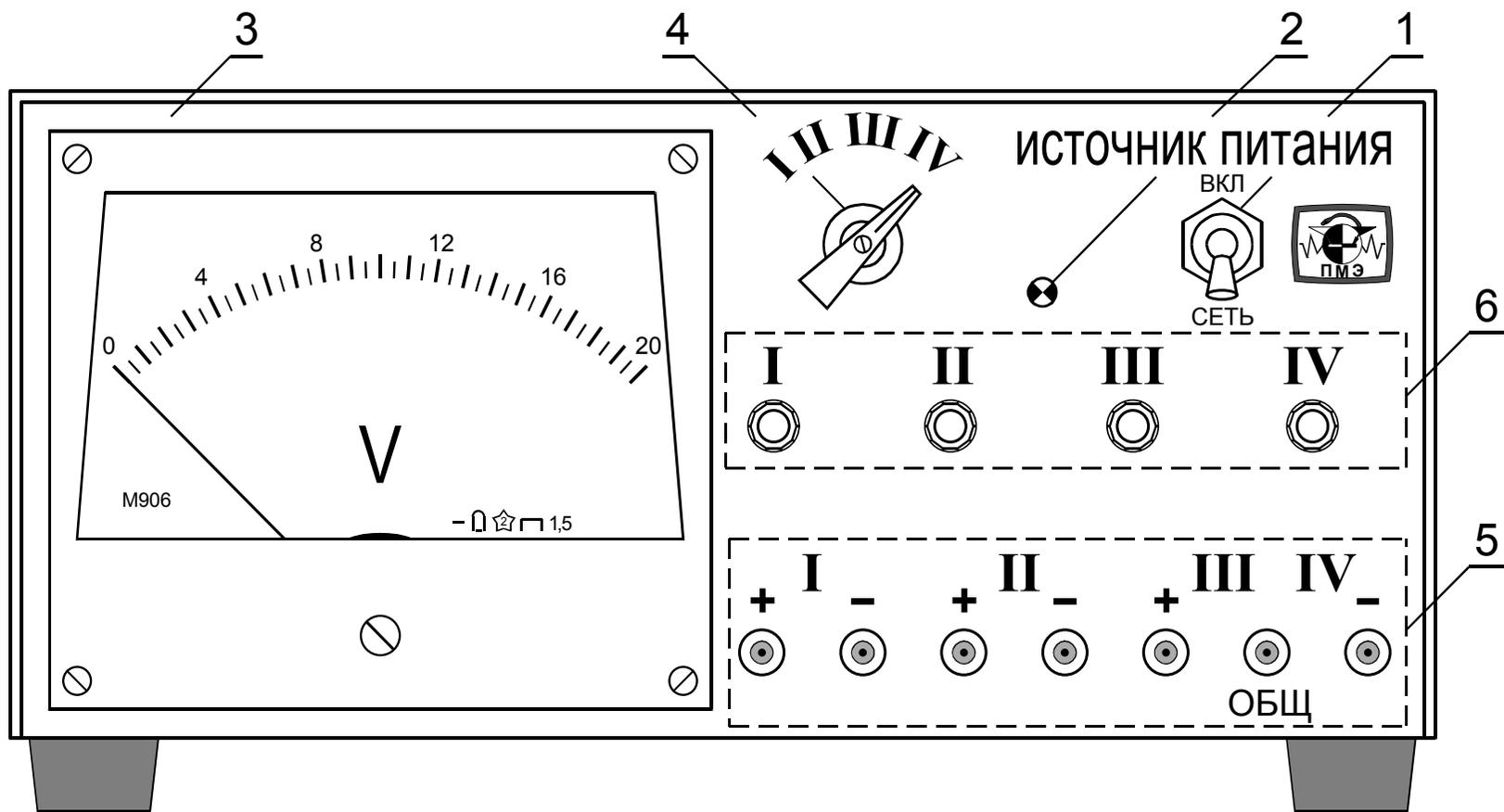


Рис. 3.3. Лицевая панель лабораторного источника питания

Питание ЛИП осуществляется от сети переменного напряжения ~ 36 В, частотой 50 Гц. Источник имеет 4 выхода (канала), два из которых, I и II каналы, полностью автономны (не связаны между собой электрически), а III и IV – имеют общую точку (рис. 3.3; 3.4).

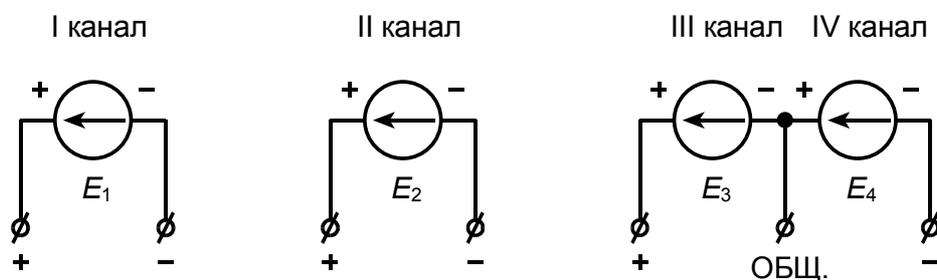


Рис. 3.4. Эквивалентные схемы выходов ЛИП

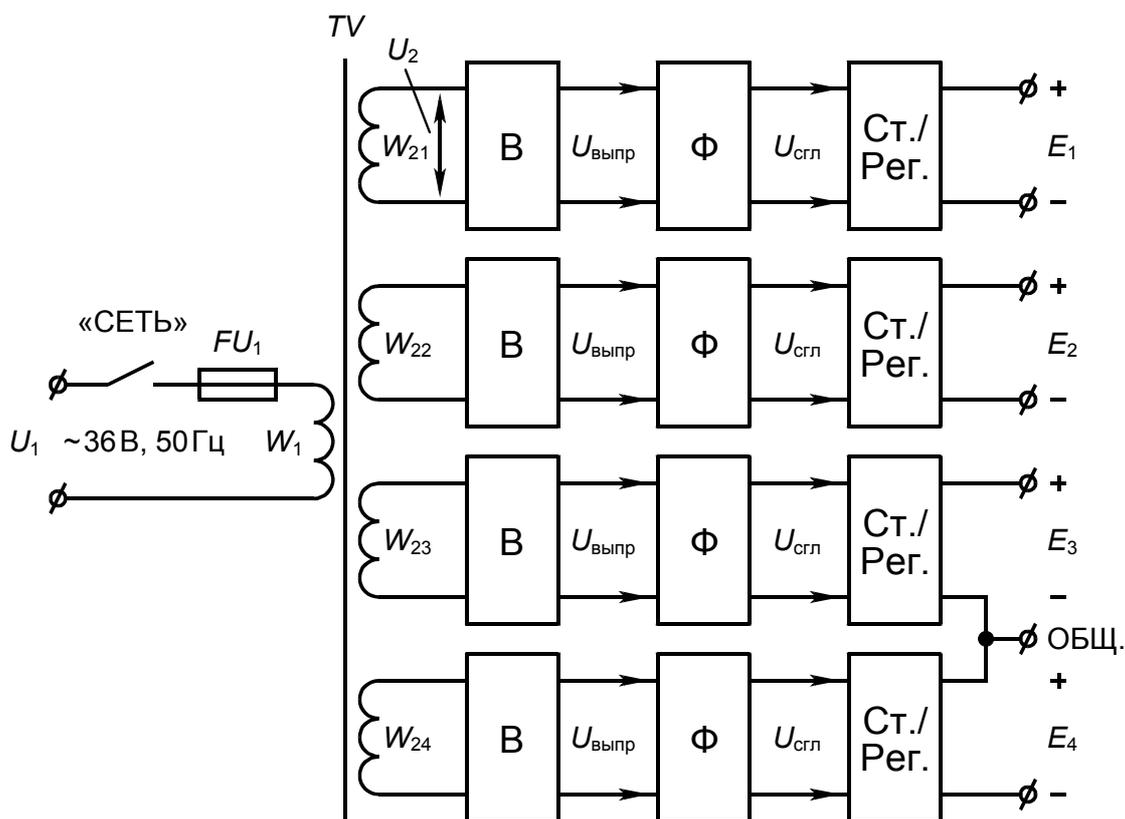


Рис. 3.5. Функциональная схема лабораторного источника питания.
 TV – трансформатор напряжения; W_1 – первичная обмотка трансформатора;
 $W_{21} - W_{24}$ – вторичные обмотки трансформатора; В – выпрямитель; Ф – сглаживающий фильтр; Ст./Рег. – стабилизатор-регулятор

Выходы выступают в качестве источников напряжения. Диапазоны регулировки выходных напряжений (указаны на панели): I канал: $3 \div 6$ В; II канал: $3 \div 9$ В; III, IV каналы: $9 \div 15$ В. Объединенные выходы III и IV позволяют без дополнительных проводов получать широко используемое на практике (например, для питания микросхем) двухполярное напряжение требуемого уровня: $\pm 6,3$ В; $\pm 12,6$ В; ± 15 В и др.

Выбор для использования в каждом конкретном случае того или иного выхода ЛИП определяется, прежде всего, величиной требуемого питающего напряжения. Если нужно напряжение относительно малое, используется I или II выход, даже при необходимости получения от источника двухполярного напряжения (выходы I и II электрически автономны, что позволяет включать их последовательно между собой в любом порядке). При повышенном выходном напряжении и необходимости получения разнополярного напряжения используются выходы III и IV.

Величина выходного напряжения выставляется грубо (приблизительно) с помощью ручки *соответствующего* потенциометра, вращая которую можно менять выбранное для использования выходное напряжение. Величина выходного напряжения контролируется с помощью встроенного вольтметра, который подключается к соответствующему выходу с помощью переключателя 3 (рис. 3.3). Точность встроенного вольтметра невысока, поэтому окончательную установку выходного напряжения следует осуществлять с применением универсального цифрового вольтметра.

Принцип действия ЛИП по функциональной схеме

Функциональная схема прибора приведена на рис. 3.5.

Лабораторный источник питания имеет 4 идентичных канала. Трансформатор *ТН* обеспечивает гальваническую развязку источника от питающей сети и необходимую величину переменного напряжения на входе выпрямителя каждого канала. Выпрямитель осуществляет выпрямление переменного напряжения, т.е. преобразование знакопеременного двухполярного напряжения в переменное однополярное. Сигнал на выходе выпрямителя представляет собой пульсирующее напряжение, достаточно сильно отличающееся от постоянного. Снижение уровня пульсаций этого напряжения достигается за счет применения сглаживающего фильтра. Для поддержания величины напряжения на выходе каждого канала неизменным в схему введен еще один блок: стабилизатор-регулятор, поскольку под действием разного рода дестабилизирующих факторов (изменение напряжения питающей сети, температуры окружающей среды, нагрузки, подключаемой к выходу канала)

выходное напряжение может достаточно сильно меняться. Кроме того, данный блок позволяет регулировать величину напряжения на выходе каждого канала.

**Последовательность действий при использовании ЛИП
(к выходам источника ничего не должно быть подключено!)**

1. Убедившись в том, что вилка шнура питания прибора подключена к электрической розетке с *напряжением ~36 В, 50 Гц*, включить прибор, переведя рычаг тумблера «**СЕТЬ**» в верхнее положение (при этом загорается индикаторный светодиод).

2. Установить переключатель встроенного вольтметра в нужное положение в зависимости от выбранного для использования выхода ЛИП.

3. Руководствуясь показаниями встроенного вольтметра, ручкой соответствующего потенциометра выставить нужную величину питающего напряжения.

4. **Выключить ЛИП!**

5. Используя двух- либо трехпроводной шнур, подключить штекеры шнура к соответствующим гнездам ЛИП (проводник красного цвета обычно используется в качестве «земляного» провода при подключении питающего напряжения).

Примечание. В учебной лаборатории «земляные» проводники принято обозначать **красным цветом**, следовательно, все проводники **красного** цвета следует подключать к «земле» как ЛИП, так и исследуемой цепи.

Подключение «земляного» (или общего) провода схемы к «+» или «-» одного из каналов ЛИП определяется требуемой полярностью питающего схему напряжения. Для получения положительного напряжения питания необходимо общий провод схемы подключить к «-» канала, а потенциальный провод – к «+» того же канала (рис. 3.6, а). Таким образом, относительно общей точки («земли») напряжение будет иметь положительную полярность. Для организации напряжения отрицательной относительно «земли» полярности следует действовать наоборот – рис. 3.6, б. Аналогично изложенному следует поступать для получения двухполярного напряжения: «земляной» провод питания схемы подключается к общей точке источников III и IV, относительно которой выходное напряжение источника III является положительным, а IV – отрицательным (рис. 3.6, в).

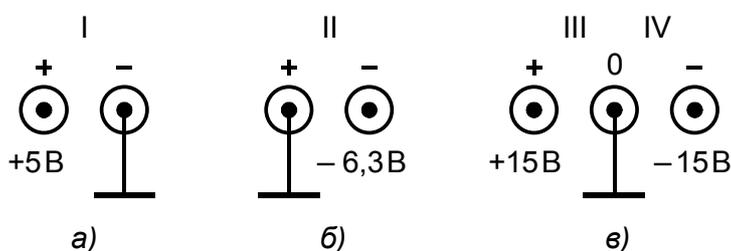


Рис. 3.6. Примеры организации положительного (а), отрицательного (б) и двухполярного (в) выходных напряжений

6. Стержни штекеров свободного конца питающего шнура подключить к монтажной панели, причем *«земляной» конец подключается к общей шине.*

7. Подключить сигнальные провода универсального цифрового вольтметра (далее – **ЦВ**) к гнездам МП, на которые подано питающее напряжение («земляной» провод подключается к общему гнезду вольтметра и общей шине монтажной панели). ***Предварительно ЦВ должен быть подготовлен к проведению измерения постоянного напряжения*** требуемой величины.

8. Включить ЛИП.

9. Руководствуясь показаниями ЦВ, откорректировать величину питающего напряжения с помощью соответствующей ручки потенциометра на передней панели ЛИП. Допускается отличие устанавливаемого напряжения от заданной величины не более чем на $\pm 10\%$ (требуемая точность в инженерных расчетах и исследованиях).

10. Выключить ЛИП.

11. Отсоединить ЦВ от монтажной панели. Потенциальный конец провода питающего напряжения подсоединить в нужную точку схемы на МП.

12. Включить ЛИП – исследуемая схема получила требуемое напряжение питания.

Внимание! При выполнении действий по пунктам 1–10 напряжения на исследуемую схему подавать запрещается!

В процессе эксплуатации лабораторного источника питания **недопустимо**:

- осуществлять ***любые манипуляции*** с кабелем питания ЛИП;
- подавать внешние напряжения на выходы источника;
- соединять выходы источника ***параллельно*** между собой;
- соединять накоротко выходные клеммы любого канала ЛИП.

3.4. Вольтметр универсальный цифровой В7-22А

1. Назначение

Вольтметр универсальный цифровой В7-22А предназначен для измерения:

- напряжения и силы постоянного тока;
- напряжения и силы переменного тока (***измеряет средневыпрямленное, отградуирован в среднеквадратичном значении***);
- активного сопротивления постоянному току.

2. Основные технические данные

2.1. Прибор обеспечивает измерение напряжения, силы тока и сопротивления в нормальных условиях в соответствии с данными, приведенными в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Измеряемая величина		Предел измерения, В, мА, кОм	Предел допускаемой основной погрешности, %
Напряжение постоянного тока		0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,15 + 0,2 U_{\text{пр}}/U_x)$
		1000*	$\pm (0,15 + 0,4 U_{\text{пр}}/U_x)$
Сила постоянного тока		0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,25 + 0,25 I_{\text{пр}}/I_x)$
		2000	$\pm (0,25 + 0,3 I_{\text{пр}}/I_x)$
Сопротивление постоянному току		0,2; 2; 20; 200	$\pm (0,3 + 0,25 R_{\text{пр}}/R_x)$
		2000	$\pm (0,3 + 0,3 R_{\text{пр}}/R_x)$
Напряжение переменного тока** частоты	от 0,045 до 20 кГц	0,2; 2	$\pm (0,5 + 0,5 U_{\text{пр}}/U_x)$
	от 0,045 до 10 кГц	20; 200	$\pm (0,6 + 0,6 U_{\text{пр}}/U_x)$
		300*	$\pm (0,6 + 0,4 U_{\text{пр}}/U_x)$
	свыше 10 до 20 кГц	20; 200	$\pm (1,2 + 0,5 U_{\text{пр}}/U_x)$
свыше 20 до 100 кГц	0,2; 2	$\pm (4 + 0,5 U_{\text{пр}}/U_x)$	
Сила переменного тока ** частоты	от 0,045 до 10 кГц	0,2; 2; 20; 200; 2000	$\pm (0,6 + 0,6 I_{\text{пр}}/I_x)$

* – на переключателе пределов нажата кнопка « **2000** ».

** – гармонической формы с искажениями не более 0,5 %.

Обозначения, принятые в таблице:

$U_{\text{пр}}, I_{\text{пр}}, R_{\text{пр}}$ – предел измерений напряжения, силы тока, сопротивления постоянному току, соответственно;

U_x, I_x, R_x – показание прибора или номинальное значение меры напряжения, силы тока, сопротивления постоянному току (при поверке).

2.2. Дополнительная погрешность измерения (изменение показаний) при изменении температуры воздуха от нормальных до предельных значений в рабочем диапазоне температур не превышает половины основной погрешности на каждые 10° С.

- 2.3. Входное активное сопротивление прибора
- при измерении напряжения постоянного тока:
 - не менее 100 МОм на пределах 0,2 и 2 В;
 - $10 \pm 0,1$ МОм на остальных пределах измерения;
 - при измерении напряжения переменного тока:
 - не менее 10 МОм на пределах 0,2 и 2 В;
 - $10 \pm 0,1$ МОм на остальных пределах измерения.
- 2.4. Входная емкость не превышает 120 пФ.
- 2.5. Сила входного тока при измерении напряжения постоянного тока на пределах 0,2 и 2 В не превышает 2 нА.
- 2.6. Величина силы тока через измеряемое сопротивление:
- 1000 ± 5 мкА – на пределах 0,2 и 2 кОм;
 - $10 \pm 0,05$ мкА – на пределах 20 и 200 кОм;
 - $1 \pm 0,005$ мкА – на пределе 2000 кОм.
- 2.7. Падение напряжения на входном сопротивлении прибора при измерении постоянного и переменного токов:
- до 220 мВ – на пределах 0,2; 2; 20 мА;
 - до 500 мВ – на пределах 200 и 2000 мА.
- 2.8. Прибор выдерживает в течение 1 минуты перегрузку напряжением постоянного тока и перегрузку силой постоянного или переменного токов по входам в соответствии с таблицей 3.2.

Таблица 3.2

Положение переключателя пределов	Испытательное напряжение на входе	Испытательный ток на входе I, R (нажаты кнопки « mA » или « V_{\sim} » и « mA »)	Испытательное напряжение на входе I, R (нажата кнопка « $k\Omega$ »)
0,2 и 2	250 В, 2-й вход	20 мА	20 В
20	1200 В, 1-й вход	0,2 А	20 В
200	1200 В, 1-й вход	1 А	20 В
2000	1200 В, 1-й вход	2,5 А	20 В

Обозначения, принятые в таблице и далее в тексте:

- 1-й вход – вход прибора для измерения напряжения постоянного и переменного тока более 2 В;
- 2-й вход – вход прибора для измерения напряжения постоянного и переменного тока до 2 В;
- 3-й вход – вход прибора для измерения силы тока и активного сопротивления.

2.9. Прибор обеспечивает ослабление внешних помех:

а) нормального вида, представляющих собой напряжение с частотой питающей сети, приложенное между 2-м и общим входами, не менее 40 дБ. Напряжение помехи при этом не превышает 0,2 предела измерения;

б) общего вида, представляющих собой напряжение с частотой питающей сети, приложенное ко 2-му и общему входам прибора относительно корпуса (при несимметрии входа 1 кОм), не менее 52 дБ. Напряжение помехи при этом не превышает 250 В.

2.10. Выбор пределов измерения, установка нуля – ручные, определение и индикация полярности и перегрузки по входам – автоматические.

2.11. Время установления показаний не превышает при измерении:

а) напряжения и силы постоянного тока* – 2 с;

б) напряжения и силы переменного тока* – 5 с;

в) сопротивления постоянному току на пределе 2000 кОм – 3 с, на остальных пределах – 2 с.

* – при сопротивлении источника сигнала не более 1 кОм.

2.12. Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных техническими условиями, по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 минут.

2.13. Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 24 часов при сохранении своих технических характеристик в пределах норм, установленных техническими условиями.

2.14. Уход нуля не превышает:

а) ± 5 знаков младшего разряда в течение 24 часов непрерывной работы;

б) ± 1 знак младшего разряда в течение 2 часов непрерывной работы.

2.15. Прибор имеет технологический выход на цифropечатающее устройство (не изолированный от входов).

2.16. Рабочие условия эксплуатации:

а) окружающая температура от 263 до 313 К (от минус 10 до плюс 40 °С);

б) относительная влажность до 80 % при температуре воздуха 293 К (20 °С);

в) электропитание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и содержанием гармоник до 5 %.

3. Устройство и принцип действия прибора

Структурная схема прибора представлена на рис. 3.7.

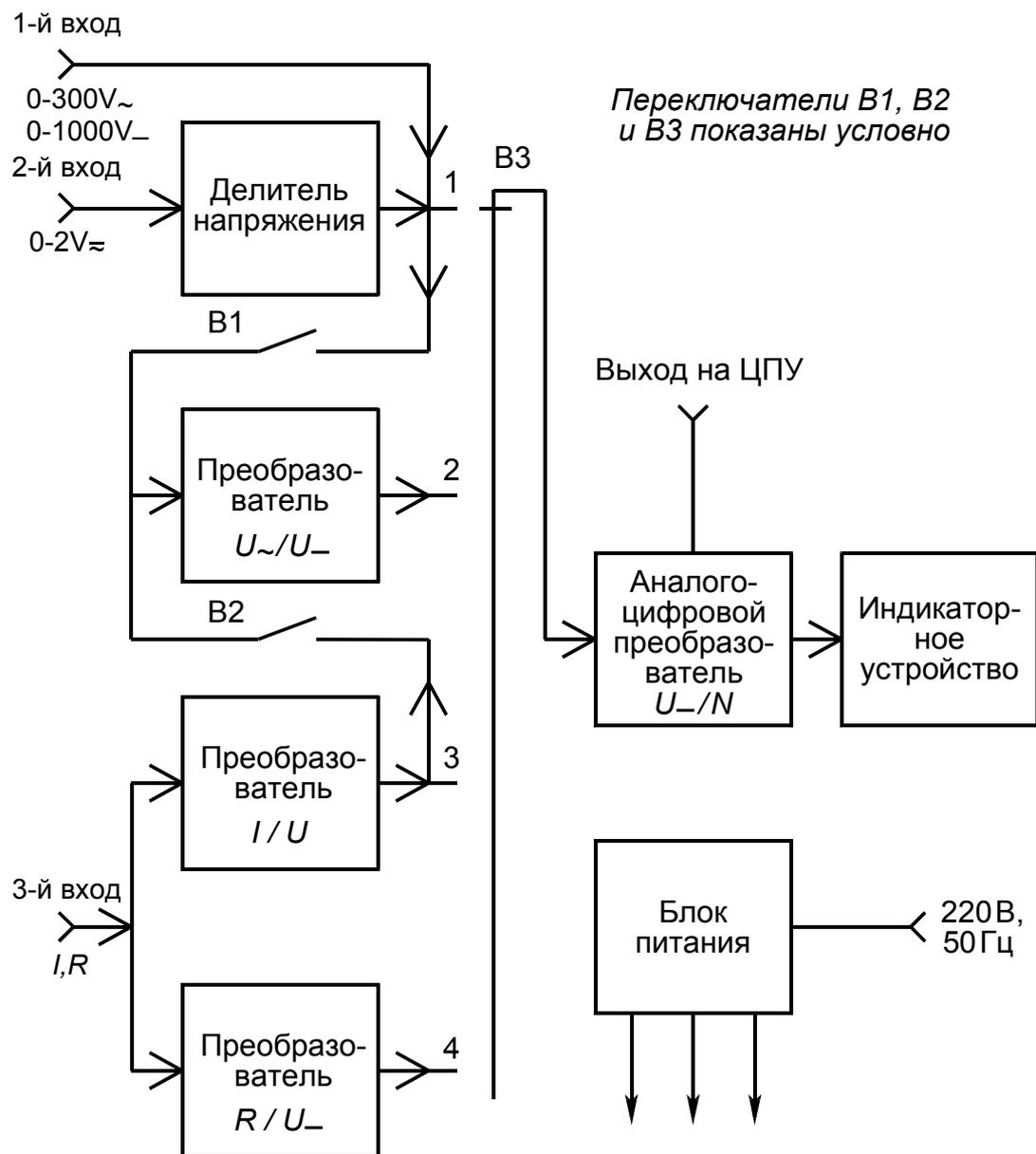


Рис. 3.7. Структурная схема вольтметра В7-22А.

На схеме и далее в тексте приняты следующие обозначения:

- преобразователь $U\sim/U_$ – преобразователь переменного напряжения в постоянное;
- преобразователь $R/U_$ – преобразователь сопротивления в напряжение постоянного тока;
- преобразователь I/U – преобразователь тока в напряжение;
- преобразователь $U_/T$ – преобразователь напряжения постоянного тока в интервал времени;

- преобразователь T / N – преобразователь интервала времени в дискретную величину;
- преобразователь U_- / N – аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – преобразователь напряжения постоянного тока в дискретную величину;
- I_- – постоянный ток;
- I_{\sim} – переменный ток;
- ЦПУ – цифropечатающее устройство.

Принцип действия прибора основан на преобразовании измеряемой величины в пропорциональный ей интервал времени с последующим преобразованием этого интервала в дискретную форму и в цифровой код.

Измеряемые величины U_- , U_{\sim} , R , I_- и I_{\sim} посредством делителя напряжения и соответствующих преобразователей трансформируются в нормированное постоянное аналоговое напряжение, поступающее на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

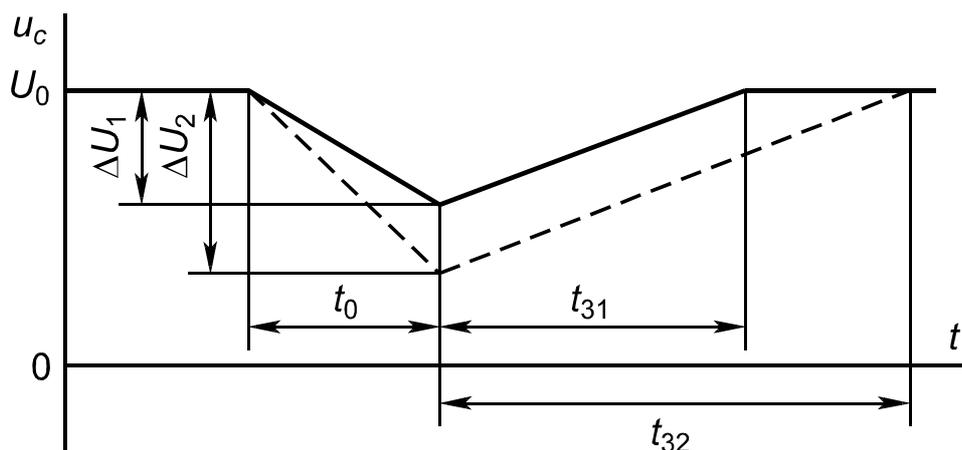


Рис. 3.8. Диаграмма напряжения на интегрирующем конденсаторе, поясняющая метод двухтактного интегрирования. Штриховая линия соответствует большему значению измеряемой величины

Работа АЦП состоит из двух стадий.

На первой стадии нормированное постоянное аналоговое напряжение преобразуется во временной интервал (преобразование U_- / T) методом двухтактного интегрирования. Сущность этого метода поясняется диаграммами на рис. 3.8 и заключается в следующем. В течение фиксированного интервала времени t_0 , который задается счетчиком и определяется временем генерации в приборе 1000 импульсов, происходит первый такт интегрирования входного напряжения АЦП. В это время ин-

тегрирующий конденсатор, заряженный в исходном состоянии до определенного напряжения U_0 , разряжается током, пропорциональным входному напряжению. Поскольку скорость разряда конденсатора определяется величиной разрядного тока, глубина разряда ΔU получается пропорциональной входному напряжению, т.е. измеряемой величине.

По окончании интервала t_0 начинается второй такт интегрирования, заключающийся в заряде конденсатора эталонным током до исходного напряжения U_0 .

Так как скорость заряда конденсатора постоянна, интервал t_3 , за который конденсатор зарядится до U_0 , будет пропорционален входному напряжению АЦП, т.е. значению измеряемой величины. Таким образом, чем больше измеряемая величина, тем больше входное напряжение АЦП, глубина разряда ΔU и время заряда t_3 интегрирующего конденсатора, и наоборот (рис. 3.8).

После заряда конденсатора до первоначального значения U_0 начинается вторая стадия работы АЦП – преобразование T/N . Выделенный интервал времени t_3 заполняется счетными импульсами, следующими с определенной частотой и поступающими на входы ЦПУ и индикаторного устройства.

Индикаторное устройство производит подекадный пересчет этих импульсов с последующей индикацией результата в десятичном коде.

Входные напряжения постоянного тока величиной до 2 В поступают на вход АЦП непосредственно со 2-го входа прибора. При измерении напряжений более 2 В используется делитель напряжения, и входной сигнал подается на 1-й вход (рис. 3.7).

Измеряемые напряжения переменного тока, а также напряжение с преобразователя I/U при измерении силы переменного тока, поступают на вход АЦП через преобразователь U_{\sim}/U_{-} .

Преобразователь U_{\sim}/U_{-} представляет собой точный однополупериодный выпрямитель на основе операционного усилителя, выделяющий средневывпрямленное значение входного сигнала.

Преобразование I/U осуществляется путем выделения падения напряжения, создаваемого измеряемым током на калиброванном шунте, а преобразование R/U_{-} – путем выделения падения напряжения, созданного эталонным током на измеряемом сопротивлении. Входные сигналы в этом случае подаются на 3-й вход прибора.

Все необходимые коммутации между функциональными блоками структурной схемы осуществляются с помощью переключателя рода работ, роль которого на схеме условно выполняют ключи В1 ÷ В3 (рис. 3.7). Так, например, при измерении переменного тока общая структурная схема прибора преобразуется к виду, представленному на рис. 3.9 (В1 – разомкнут, В2 – замкнут, В3 – в положении 2).

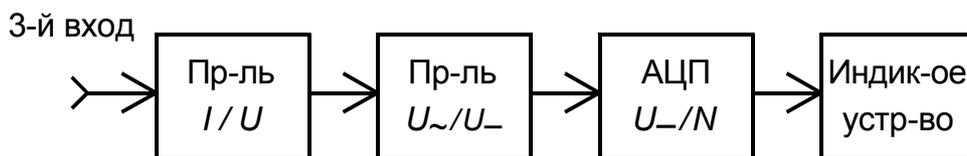


Рис. 3.9. Структурная схема прибора в режиме измерения переменного тока

4. Описание органов управления, присоединения и контроля

На лицевой панели прибора, изображенной на рис. 3.10, расположены:

- 1 – индикаторное устройство – для индикации знака измеряемой величины и результата измерения в десятичном коде;
- 2 – переключатель пределов измерения;
- 3 – переключатель рода работ – для задания характера и вида измеряемой величины;
- 4 – входные гнезда – для подключения входного кабеля;
- 5 – тумблер включения–выключения вольтметра « СЕТЬ ».

Предохранитель входа « **I, R** » расположен в гнезде « **I, R** ». Для смены предохранителя необходимо отвернуть и извлечь центральный электрод гнезда.

На задней стенке прибора расположены:

- два сетевых предохранителя на 0,25 А в защитных корпусах;
- клемма защитного заземления « \oplus »;
- шнур питания.

На верхней крышке прибора расположено гнездо с выведенным под шлиц потенциометром « $\blacktriangleright 0 \blacktriangleleft$ », предназначенным для установки нуля индикаторного устройства.

На нижней крышке прибора установлено гнездо разъема для подключения внешнего цифрорпечатающего устройства.

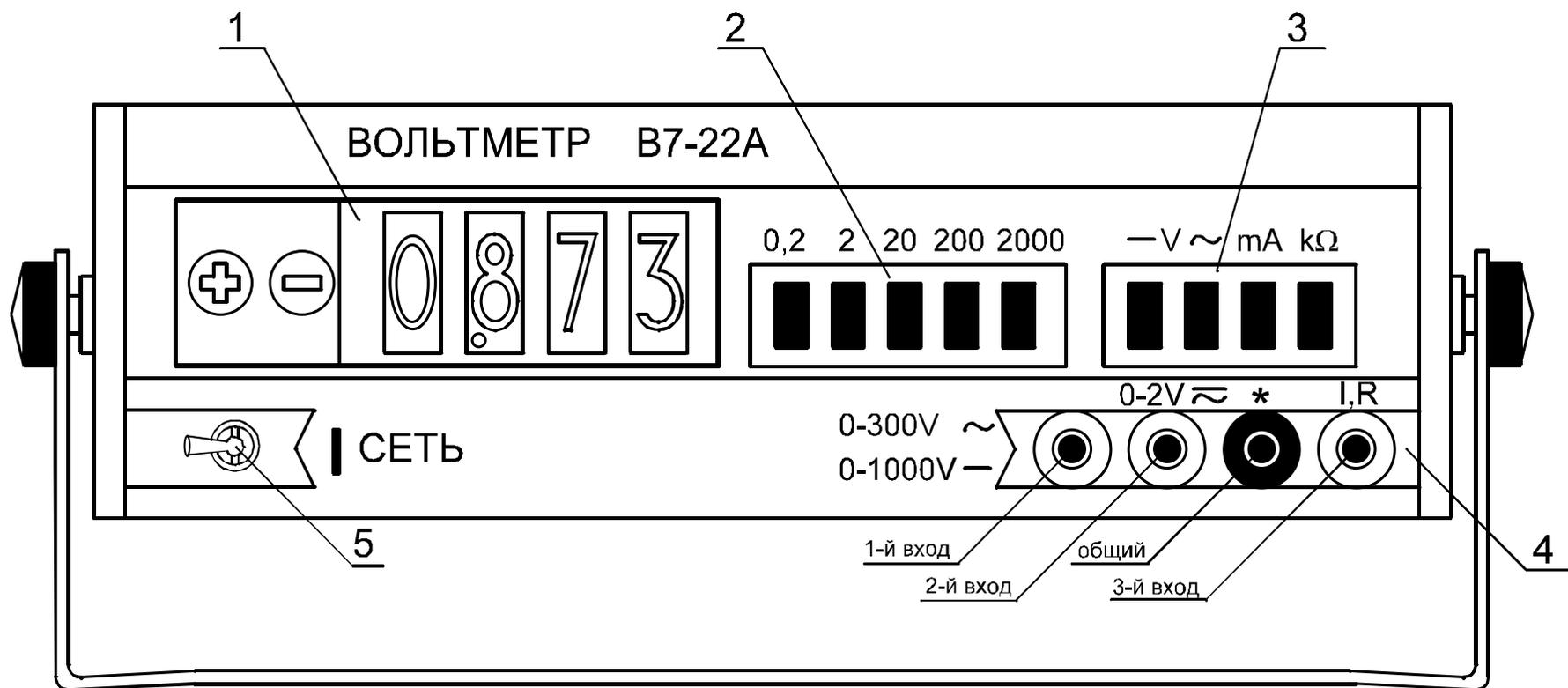


Рис. 3.10. Лицевая панель универсального цифрового вольтметра В7-22А

5. Общие указания по эксплуатации прибора

5.1. Подключение прибора к питающей сети необходимо производить в следующем порядке:

– выключите (поставьте в левое положение) тумблер « СЕТЬ » прибора;

– подключите прибор к шине защитного заземления, соединив проводником клемму « \oplus » на задней стенке прибора с контуром заземления;

– вставьте вилку шнура питания в розетку, подключенную к электрической сети.

ВНИМАНИЕ!

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРА БЕЗ ЕГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ!

5.2. Отключение прибора от сети необходимо производить в следующем порядке:

– выключите тумблер « СЕТЬ »;

– отсоедините вилку шнура питания от сети;

– отсоедините прибор от шины защитного заземления.

5.3. Общее гнездо « * » изолировано от корпуса прибора и допускает рабочее напряжение переменного тока не более 250 В. При проведении измерений в цепях с напряжением более 250 В относительно «земли» общее гнездо « * » необходимо заземлить.

5.4. При подключении сигнальных кабелей руководствуйтесь следующими обозначениями входных гнезд прибора, нанесенными на лицевую панель:

а)	$0 - 300 V_{\sim}$ $0 - 1000 V_{-}$	– 1-й вход;
б)	$0 - 2 V_{\sim}$	– 2-й вход;
в)	*	– общий;
г)	I, R	– 3-й вход.

5.5. Будьте внимательны при манипулировании кнопками переключателей. **Начинайте измерения с более грубого предела** (2000, 200). Переходите на больший предел, когда прибор показывает перегрузку («мигание» двойки старшего разряда). В случае индикации перегрузки на пределе 2000, для всех режимов, кроме режима измерения сопротивлений, отключите прибор от измеряемой цепи.

5.6. **Недопустимо подавать измеряемое напряжение на 3-й вход (« I, R ») во избежание перегорания предохранителя на входе!**

После измерения сопротивления или токов рекомендуется переставлять входной кабель в гнездо 1-го входа!

5.7. При ненадежном контакте (обрыве) во внешней цепи прибора, отжатых кнопках либо нажатии кнопки, не соответствующей характеру, роду или пределу измеряемой величины, индикаторное устройство прибора может показывать случайное число или перегрузку счетчика.

5.8. Для измерений в высоковольтных цепях используйте только высоковольтные щупы.

5.9. Производите замену предохранителей только в отключенном от сети приборе.

6. Подготовка к работе

6.1. Поставьте тумблер « СЕТЬ » прибора в левое положение.

6.2. Заземлите прибор, соединив проводником клемму « \oplus » на задней стенке прибора с контуром заземления.

6.3. Подключите прибор к питающей сети, вставив вилку шнура питания в розетку.

6.4. **Поставьте органы управления в исходное положение**, для чего нажмите кнопки « МА » и « 2000 ».

6.5. Включите тумблер « СЕТЬ » (переведите в правое положение « I ») и прогрейте прибор в течение 15 минут.

6.6. Регулировкой органа, обозначенного значком « $\blacktriangleright 0 \blacktriangleleft$ » на верхней крышке прибора, добейтесь положения, когда знаки « + » и « - » на индикаторном устройстве индицируются поочередно. При этом допустимо показание табло до ± 0002 .

6.7. Проверьте прибор на функционирование измерением:

а) известного сопротивления, подключаемого к 3-му и общему входам. При этом необходимо нажать кнопку « $k\Omega$ » и соответствующую кнопку предела;

б) напряжения сети, для чего необходимо нажать кнопки « V_{\sim} » и « 2000 » и подать измеряемое напряжение к 1-му и общему входам.

Если показания индикаторного устройства соответствуют требуемым – прибор функционирует нормально и ГОТОВ К РАБОТЕ.

После проведения подготовки к работе прибор, не выключая, целесообразно оставить подготовленным к режиму измерения напряжения (см. пункт 6.7.б).

7. Порядок работы

7.1. Ознакомиться с общими указаниями по эксплуатации прибора по пункту 5.

7.2. Подготовить прибор к работе в соответствии с пунктом 6.

7.3. Измерение постоянного напряжения до 1000 В:

- a) нажмите кнопки « V_{-} » и « 2000 »;
- b) подключите сигнальные кабели к 1-му и общему входам;
- c) подайте на вход прибора измеряемое напряжение;
- d) для повышения точности измерения переходите на меньший предел (последовательно нажимайте кнопки « 200 », « 20 », избегая, однако, перегрузки счетчика);
- e) после установления показаний индикаторного устройства (время установления – не более 5 секунд в любом режиме измерения) зафиксируйте результат измерений.

7.4. Измерение переменного напряжения до 300 В:

- a) нажмите кнопки « V_{\sim} » и « 2000 »;
- b) подключите кабели к 1-му и общему входам;
- c) подайте на вход измеряемое напряжение;
- d) для повышения точности измерения перейдите на меньший предел, последовательно нажимая кнопки « 200 », « 20 ». При индикации перегрузки счетчика вернитесь на больший предел измерения;
- e) по истечении времени установления показаний зафиксируйте результат измерений.

7.5. Измерения постоянного и переменного напряжений до 2 В, когда точность измерения этих напряжений по пунктам 7.3, 7.4. недостаточна:

- a) соедините сигнальные кабели со 2-м и общим входами;
- b) нажмите соответственно кнопку « V_{-} » или « V_{\sim} » и кнопку « 2 » или « 0,2 »;
- c) подайте на вход прибора измеряемое напряжение;
- d) по истечении времени установления показаний прибора зарегистрируйте результат измерений.

7.6. Измерение силы постоянного тока и сопротивления постоянному току:

- a) нажмите, соответственно, кнопку « mA » или « k Ω » и кнопку « 2000 »;
- b) соедините входными кабелями 3-й и общий входы прибора с измеряемой цепью (**при измерении тока цепь в нужном месте разрывается, и прибор включается в разрыв цепи!**);
- c) для повышения точности измерений последовательно переходите на меньшие пределы, избегая перегрузки счетчика;
- d) после установления показаний индикаторного устройства зафиксируйте результат измерений.

7.7. Измерение силы переменного тока:

- a) нажмите кнопку « 2000 » и одновременно кнопки « V_{\sim} » и « mA » переключателя рода работы;
- b) соедините входными кабелями 3-й и общий входы с измеряемой цепью;
- c) для повышения точности измерений последовательно переходите на меньшие пределы, избегая перегрузки счетчика;
- d) по истечении времени установления показаний зарегистрируйте результат измерения.

7.8. По завершении работы переведите органы управления прибором в режим измерения напряжения (см. пункт 6.7.b) и выключите прибор (тумблер « СЕТЬ » – в левое положение – « 0 »).

8. Запрещенные режимы работы прибора и действия пользователя

8.1. Эксплуатация цифрового вольтметра без заземления его корпуса запрещена!

8.2. Нельзя использовать прибор, если известно, что величина измеряемого параметра заведомо превышает предельно допустимые для данного ЦВ значения: ток – 2 А; напряжения: постоянное – 1000 В, переменное – 300 В.

8.3. Запрещено одновременное нажатие двух кнопок в одной функциональной группе, за исключением режима измерения переменного тока!

8.4. Запрещена подача напряжения на 3-й вход «I,R». *После измерения тока или сопротивления потенциальный конец сигнального кабеля следует переставлять на 1-й вход!*

8.5. Начинайте измерение с самого большого (грубого) предела.

8.6. Прибор выдерживает перегрузку в течение 1 минуты. Перегрузка отображается миганием цифры 2 в старшем разряде индикатора. В этом случае переключайтесь на бóльший предел во всех режимах работы, за исключением режима измерения сопротивления. Если мигание происходит на пределе 2000, незамедлительно отключите прибор от измеряемой цепи!

9. Контрольные вопросы и задания

9.1. Какой параметр переменного сигнала (мгновенное, среднее, действующее или амплитудное значение) измеряет и индицирует универсальный цифровой вольтметр (ЦВ) В7-22А?

9.2. Опишите состояние органов управления, присоединения и контроля ЦВ в исходном состоянии.

9.3. Чему равно минимальное (в худшем случае) значение входного

сопротивления ЦВ в режиме измерения напряжения?

- 9.4. Назовите назначение всех входов ЦВ.
- 9.5. Укажите порядок подключения прибора к питающей сети.
- 9.6. Каким образом ЦВ реагирует на перегрузку?
- 9.7. Произведите, с комментариями, подготовку прибора к работе.
- 9.8. Укажите порядок работы с прибором в случае:
 - a) измерения постоянного напряжения до 350 В (до 1 В);
 - b) измерения переменного напряжения до 50 В;
 - c) измерения постоянного тока;
 - d) измерения переменного тока;
 - e) измерения сопротивления.
- 9.9. Измерьте (под контролем преподавателя) напряжение промышленной сети ~ 220 В, 50 Гц (~ 36 В, 50 Гц) в электророзетках лабораторного стола.
- 9.10. Поясните, каким образом провести измерение заданного параметра с максимально возможной точностью.
- 9.11. Измерьте сопротивление резисторов, предложенных преподавателем. Определите основную погрешность измерения в каждом конкретном случае.
- 9.12. Расскажите принцип действия аналого-цифрового преобразователя, используемого в приборе.
- 9.13. Какова максимально допустимая величина коэффициента гармоник измеряемого синусоидального напряжения, при которой еще обеспечивается паспортная точность измерения?
- 9.14. Укажите время установления показаний прибора в худшем случае.
- 9.15. Какова паразитная входная емкость ЦВ?
- 9.16. Каким образом производится установка нуля индикаторного устройства? Какое показание табло считается при этом допустимым?
- 9.17. Назовите максимально допустимые значения измеряемых величин: постоянного и переменного напряжения и тока, сопротивления.
- 9.18. Приведите структурную схему прибора в режиме измерения переменного напряжения свыше 2 В.
- 9.19. Какое время должен прогреваться прибор для выхода на режим?
- 9.20. Укажите величину входного тока прибора в режиме измерения постоянного напряжения на пределах 0,2 и 2 В.
- 9.21. Приведите схему подключения прибора для измерения входного тока какой-либо пассивной электрической цепи.
- 9.22. Можно ли с помощью ЦВ измерить амплитуду прямоугольного импульса меандра с частотой 1 кГц? Аргументируйте ответ.

3.5. Осциллограф двухканальный GOS-620

1. Назначение

Двухканальный универсальный осциллограф GOS-620 (аналог отечественного осциллографа С1-83) предназначен для визуального наблюдения и исследования электрических сигналов путем:

- а) измерения амплитудных и временных параметров исследуемого сигнала;
- б) одновременного изображения двух исследуемых сигналов на одной развертке;
- в) изображения функциональных зависимостей между двумя сигналами в режиме X–Y.

Прибор позволяет осуществлять:

- измерение напряжений в диапазоне от 4 мВ до 300 В, временных интервалов – в диапазоне от 80 нс до 4 с;
- наблюдение напряжений в диапазоне от 1 мВ до 300 В, временных интервалов – в диапазоне от 10 нс до 4 с.

Нормальные условия эксплуатации (НУЭ):

- температура окружающей среды (10 ÷ 35)°С;
- относительная влажность до 65 %;
- атмосферное давление (750 ± 30) мм рт. ст.

2. Основные технические параметры осциллографа GOS-620

Таблица 3.3

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЯ
канал вертикального отклонения	
Полоса пропускания	0...20 МГц (при неравномерности АЧХ не более 3 дБ) (0...7 МГц при усилении ×5)
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел...5 В/дел (шаг 1-2-5); усиление ×5
Погрешность установки значения	±3% (±5% при усилении ×5)
Регулировка	Плавное перекрытие в 2,5 раза
Время нарастания	≤ 17,5 нс (≤ 50 нс при усилении ×5)
Входной импеданс	1 МОм / 25 пФ
Максимальное входное напряжение	300 В (DC+AC _{пик} , до 1 кГц)
Режимы работы	Канал I; канал II; канал II инвертированный; каналы I+II; каналы I и II поочередно или прерывисто
Выход канала I	≥ 20 мВ/дел на 50 Ом

канал горизонтального отклонения	
Коэффициент развертки	0,2 мкс/дел...0,5 с/дел (шаг 1-2-5); растяжка ×10
Погрешность установки значения	±3 % (±5 % при растяжке ×10)
Регулировка	Плавное перекрытие в 2,5 раза
синхронизация	
Источники синхронизации	Автовыбор; канал I; канал II; сеть; внешний
Режимы запуска развертки	Автоколебательный; ждущий; ТВ (кадр, строка)
Уровень внешней синхронизации	До 300 В (DC+АС _{пик.} , до 1 кГц)
Вход внешней синхронизации	1 МОм / 30 пФ
X-Y вход	
Полоса пропускания (-3 дБ)	0...500 кГц (-3 дБ)
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел...5 В/дел (±4 %)
Разность фаз X-Y	≤ 3° в диапазоне 0...50 кГц
Z-вход	
Частотный диапазон	0...2 МГц
Чувствительность	≥ 5 В (макс. до 30 В DC+АС _{пик.} , до 1 кГц)
Входное сопротивление	47 кОм
ЭЛТ	
Размер экрана	8 × 10 дел. (1 дел. = 10 мм)
общие данные	
Напряжение питания	115 В / 230 В ± 15%, 50 / 60 Гц
Потребл-я мощность	40 ВА
Габаритные размеры	310 × 150 × 455 мм
Масса	8 кг

3. Перевод обозначений органов управления

Таблица 3.4

POWER	сеть
INTEN	яркость
TRACE	луч
TRACE ROTATION	поворот луча
FOCUS	фокус
ILLUM	подсветка

CAL	калибратор
VERTICAL POSITION	положение по вертикали
VOLTS/DIV	вольт/деление
VAR	плавно
PULL×5MAG	тянуть для увеличения в 5 раз
CH1, CH2	канал I, канал II
DUAL	двойной (двухканальный)
AC/DC	постоянный/переменный
GND	«земля» (корпус прибора)
ALT/CHOP/ADD	поочередно/прерывисто/сумма
INV	инверсия
HORIZONTAL POSITION	положение по горизонтали
TIME/DIV	время/деление
×10 MAG	растяжка в 10 раз
TRIGGER LEVEL	уровень запуска развертки
TRIGGER ALT	развертка поочередно
MODE	режим
SOURCE	источник
SLOPE	полярность
TV-V	ТВ-кадры
TV-H	ТВ-строки

4. Описание органов управления осциллографом

Расположение органов управления, присоединения и контроля на *передней панели* прибора приведено на рис. 3.11.

4.1. Общие органы управления, присоединения и контроля

(6) – кнопка « **POWER** » (питание) – выключатель сетевого питания. При нажатии кнопки происходит включение прибора и загорается индикатор (5). Следующее нажатие выключает осциллограф.

(1) – штырь « **CAL** » – выход встроенного калибратора, формирующего калиброванные положительные импульсы (меандр) с амплитудой 2 В и частотой 1 кГц.

(15) – клемма « **GND** » – служит для подключения к прибору провода заземления.

4.2. Органы управления ЭЛТ

(2) – ручка « **INTEN** » (яркость) – регулирует яркость изображения.

(3) – ручка « **FOCUS** » (фокус) – регулировка фокуса изображения.

(33) – экран электронно-лучевой трубки.

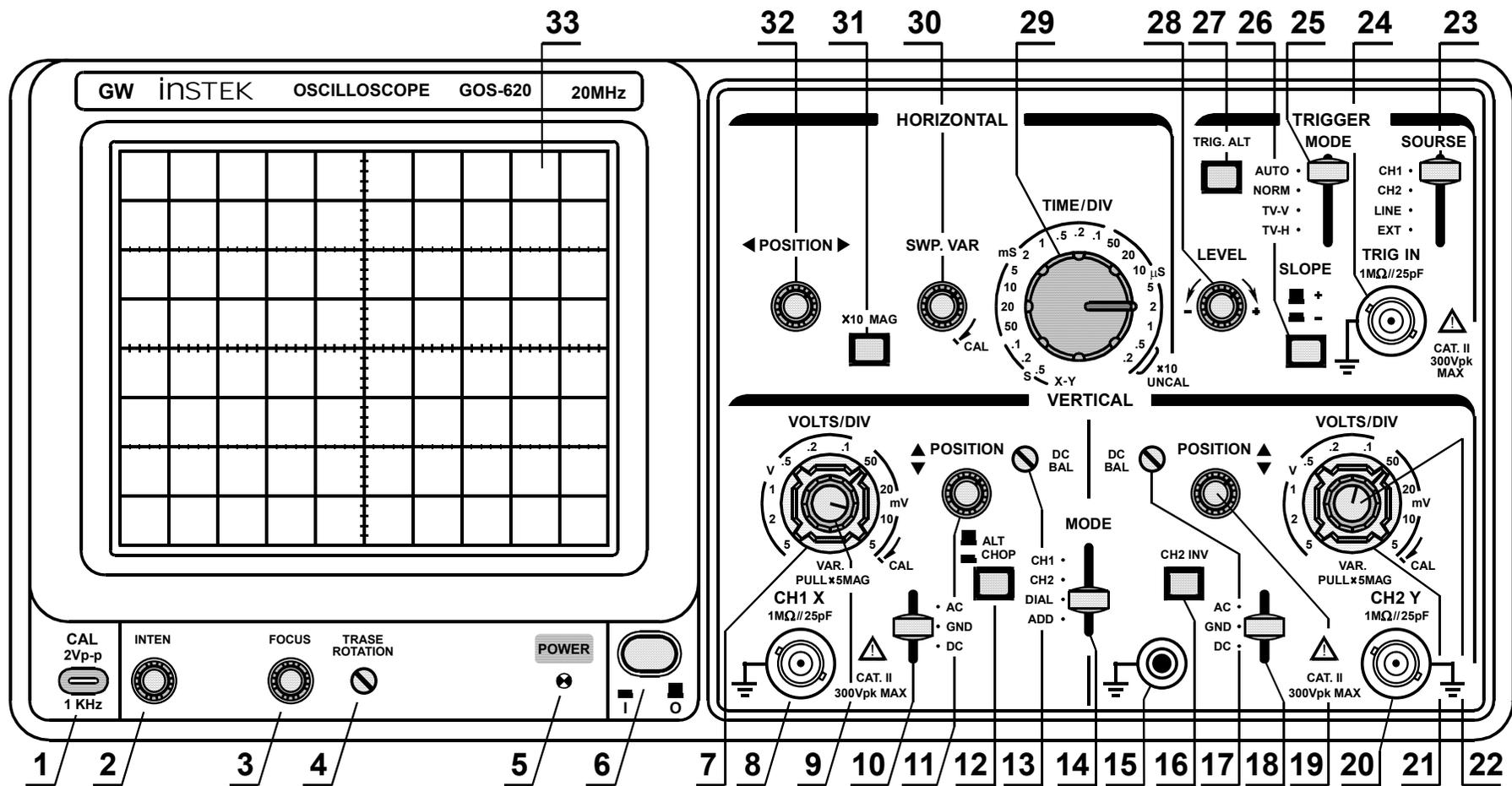


Рис 3.11. Расположение органов управления, присоединения и контроля на передней панели осциллографа GOS – 620

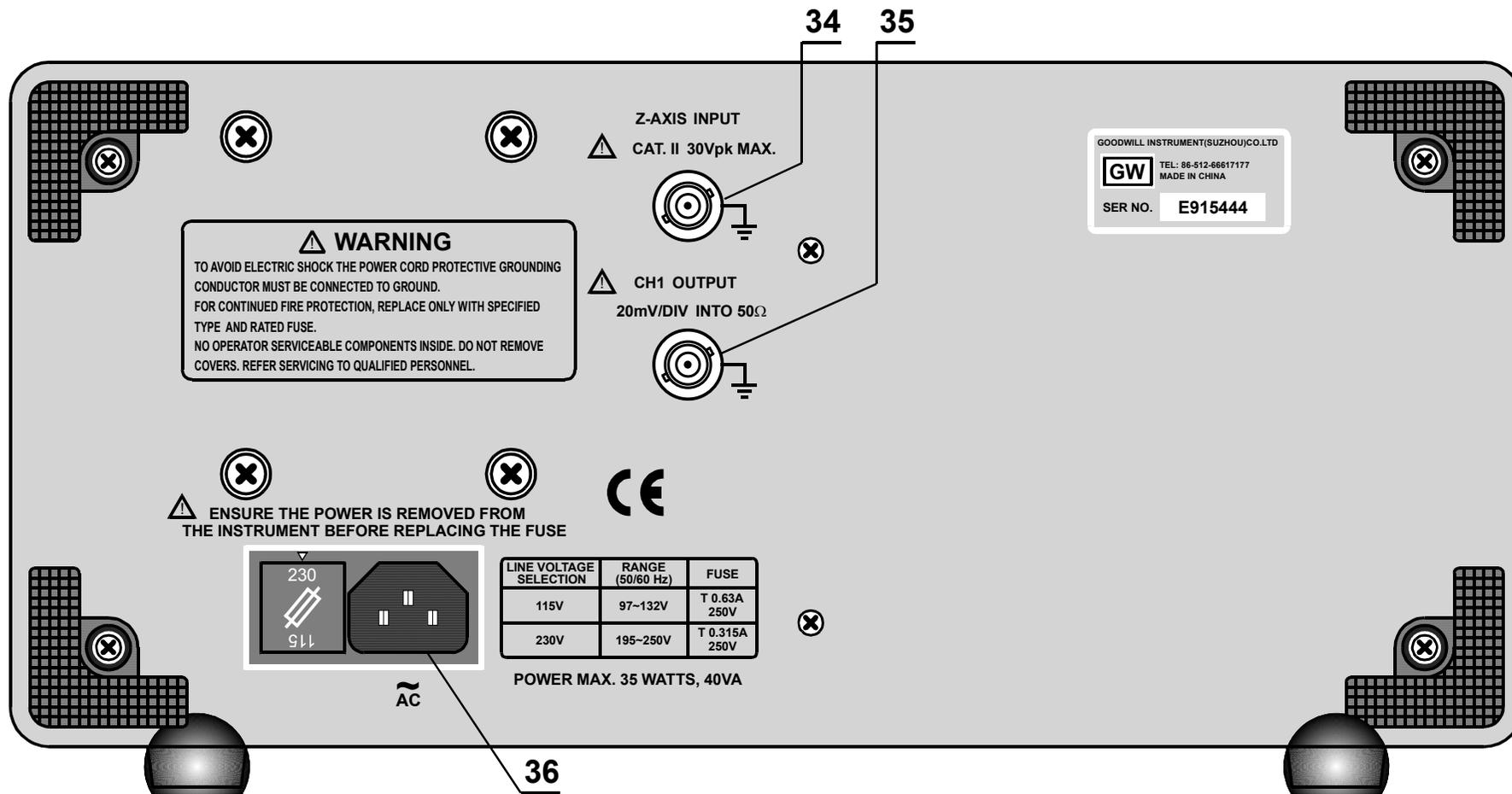


Рис 3.12. Расположение органов присоединения на задней панели осциллографа GOS-620

(4) – потенциометр « **TRACE ROTATION** » (поворот линии) – регулировка угла наклона линии развертки изображения относительно линий шкалы экрана.

4.3. Органы управления тракта вертикального отклонения

(8) – гнездо « **CH 1 (X)** » (Канал I) – вход канала I. В режиме **X-Y** – входной канал X-оси.

(20) – гнездо « **CH 2 (Y)** » (Канал II) – вход канала II. В режиме **X-Y** – входной канал Y-оси.

(10), (18) – переключатели « **AC-GND-DC** » каналов « **CH1** » и « **CH2** », соответственно – переключают режимы работы входов усилителя в соответствии с положением:

« **DC** »: открытый вход (на вход усилителя пропускается весь сигнал, включая постоянную составляющую);

« **AC** »: закрытый вход (на вход усилителя через разделительный конденсатор пропускается только переменная составляющая сигнала);

« **GND** »: вход усилителя отключается от источника сигнала и «заземляется» (подсоединяется к «корпусу» прибора).

(7), (21) – переключатели « **VOLTS/DIV** » (вольт/деление) каналов « **CH1** » и « **CH2** », соответственно. Устанавливают коэффициенты отклонения каналов от 5 мВ/дел до 5 В/дел в 10 диапазонах с шагом 1-2-5.

(9), (22) – ручки « **VARIABLE** » (плавно) каналов « **CH1** » и « **CH2** », соответственно. При вращении ручки происходит плавное изменение коэффициента отклонения каналов с перекрытием не менее чем в 2,5 раза в каждом положении переключателей « **VOLTS/DIV** ». *Когда ручка «вытянута» (режим «×5»), происходит увеличение размера изображения (чувствительности усилителя) в 5 раз.*

(13), (17) – потенциометры « **DC BAL** » каналов « **CH1** » и « **CH2** » – используются для балансировки лучей каналов I и II, соответственно.

(11), (19) – ручка « **POSITION** » (положение) – регулировка положения лучей каналов I и II, соответственно, по вертикали экрана.

(16) – кнопка « **CH 2 INV** » (инверсия II канала) – инвертирует сигнал, поступающий на усилительный тракт канала II (*только!*).

(14) – переключатель « **VERT MODE** » (режимы) – устанавливает режимы работы усилителей каналов I и II в соответствии с положением:

« **CH 1** » – на экране наблюдается только сигнал канала I;

« **CH 2** » – на экране наблюдается только сигнал канала II;

« **DUAL** » (двухканальный) – на экране наблюдаются изображения сигналов, поступающих на оба канала;

« **ADD** » – на экране наблюдается алгебраическая сумма (*или разность – при нажатии кнопки « CH 2 INV »*) сигналов каналов I и II.

(12) – кнопка « **ALT/СНОР** » – управляет логикой работы коммутатора каналов в двухканальном режиме работы осциллографа. Когда кнопка *отжата*, коммутатор работает в режиме **ALT (поочередный)**. В этом случае сигналы, поступающие на I и II каналы, прорисовываются на экране *по очереди*: за один проход луча по экрану происходит отображение сигнала, поступающего на канал I, а за следующий – поступающего на канал II. Режим **ALT** целесообразно использовать на высоких скоростях развертки. При нажатии на кнопку « **ALT/СНОР** » коммутатор переключается в режим **СНОР (прерывистый)**, при котором луч с частотой ≈ 250 кГц «перескакивает» с изображения одного канала на изображение другого, прорисовывая одновременно (*для глаза!*) сигналы обоих каналов. Режим **СНОР** целесообразно использовать на относительно низких скоростях развертки.

4.4. Органы управления синхронизацией

(23) – переключатель « **SOURCE** » (источник). Устанавливает режим *внутренней* и (или) *внешней* синхронизации развертки осциллографа в соответствии с положением:

« **CH 1** » (канал I; X-Y): развертка синхронизируется сигналом, поступающим с первого канала;

« **CH 2** » (канал II): развертка синхронизируется сигналом со второго канала;

« **LINE** » (сеть): развёртка синхронизируется от питающей сети переменного напряжения;

« **EXT** » (внешний): развёртка синхронизируется внешним сигналом.

(24) – гнездо « **EXT TRIG IN** » – вход для подачи сигнала внешней синхронизации или исследуемого сигнала непосредственно на входной усилитель X. Перед использованием этого входа следует перевести переключатель (23) в положение « **EXT** ».

(27) – кнопка « **TRIG ALT** ». При нажатии этой кнопки развертка *поочередно* синхронизируется сигналами, поступающими с I и II каналов. В результате на экране осциллографа отображается *устойчивое изображение даже несинхронизированных по времени сигналов*, поступающих на оба канала осциллографа.

(26) – кнопка « **SLOPE** » (полярность) – переключатель полярности синхронизирующего сигнала:

« + » (кнопка *отжата*): развёртки синхронизируются *положительным перепадом* исследуемого сигнала;

« – » (кнопка *нажата*): развёртки синхронизируются *отрицательным перепадом* исследуемого сигнала.

(28) – ручка « LEVEL » (уровень) – задает уровень сигнала синхронизации, при котором происходит запуск развёртки.

(25) – переключатель « TRIGGER MODE » – определяет режим работы схемы запуска развертки в соответствии с положением:

« AUTO » – автоматический режим запуска развертки; *используется, если нет сигнала синхронизации или его частота меньше 25 Гц*;

« NORM » – ждущий режим: развертка запускается *только при наличии сигнала синхронизации (либо входного, либо внешнего)*;

« TV-V » – синхронизация по вертикали (по телевизионным кадрам);

« TV-H » – синхронизация по горизонтали (по строкам).

4.5. Органы управления развёрткой

(29) – переключатель « TIME/DIV » (время/деление) – устанавливает коэффициент развёртки от 0,2 мкс/дел до 0,5 с/дел 20 ступенями с шагом 1-2-5. *При установке переключателя в положение « X-Y » (крайнее левое) осциллограф переводится в режим отображения фигур Лиссажу.*

(30) – ручка « SWP VAR » (развертка плавно) – обеспечивает плавную регулировку коэффициента развёртки с перекрытием 2,5 раза в каждом положении переключателя « TIME/DIV ». *При определении временных интервалов с помощью сетки, нанесенной на экран осциллографа, ручка должна находиться в крайнем правом положении до щелчка (риска « CAL »)!*

(31) – кнопка « ×10 MAG » (увеличение в 10 раз) – «лупа» – *при нажатой кнопке скорость развёртки увеличивается в 10 раз.*

(32) – ручка « POSITION » (положение) – перемещает изображение на экране по горизонтали.

Расположение органов присоединения на *задней* панели прибора приведено на рис. 3.12. На задней панели расположены:

(34) – гнездо « Z-ВХОД ». Вход для подачи сигнала, модулирующего яркость луча.

(35) – гнездо « CH 1 Signal Output » – выход сигнала канала I (с напряжением приблизительно 20 мВ/дел на нагрузке 50 Ом), предназначенный для подключения частотомера или другого оборудования.

(36) – гнездо разъема для подключения кабеля сетевого питающего напряжения.

5. Включение, проверка работоспособности осциллографа

5.1. Одноканальный режим

5.1.1. Использование канала I

Перед включением прибора убедитесь, что его клемма заземления соединена с «землей». Установите органы управления осциллографом в положения, указанные в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Наименование	Номер	Положение переключателя
« POWER »	(6)	Отжат
« INTEN »	(2)	Среднее положение
« FOCUS »	(3)	Среднее положение
« VERT MODE »	(14)	« CH1 »
« ALT/CHOP »	(12)	Отжат (« ALT »)
« CH2 INV »	(16)	Отжат
« POSITION »	(11), (19)	Среднее положение
« VOLTS/DIV »	(7), (21)	« 5 В/дел »
« VARIABLE »	(9), (22)	« CAL » (крайнее правое положение по часовой стрелке до щелчка)
« AC-GND-DC »	(10), (18)	« GND »
« SOURCE »	(23)	« CH 1 »
« SLOPE »	(26)	« + »
« TRIG ALT »	(27)	Отжат
« TRIGGER MODE »	(25)	« AUTO »
« TIME/DIV »	(29)	« 0,5 мс/дел »
« SWP VAR »	(30)	Крайнее правое положение
« POSITION »	(32)	Среднее положение
« ×10 MAG »	(31)	Отжат
« LEVEL »	(28)	Среднее положение

После установки органов управления в соответствующие положения, подключите сетевой шнур к розетке и затем действуйте в указанной последовательности.

1. Включите кнопку (6) – « **POWER** » и убедитесь, что загорается индикатор сети (5). В течение приблизительно 20 секунд на экране должна появиться линия развертки. Если изображение не появляется примерно в течение минуты, проверьте правильность установки органов управления (прежде всего – ручек « **INTEN** » и « **POSITION** »).

2. Вращая ручку (11) – « VERTICAL POSITION » канала I – переместите линию развертки на середину экрана.

3. Установите желательную яркость и фокус изображения с помощью ручек (2) – « INTEN » и (3) – « FOCUS », соответственно.

4. Установите переключатель (10) – « AC-GND-DC » – канала I в положение « DC » – открытый вход.

5. Экспериментально определите, какой из концов (проводов) двухпроводного входного кабеля канала I является потенциальным, а какой – «земляным». Запомните результат.

Примечание: в учебной лаборатории, как уже отмечалось, для определенности «земляные» проводники (концы) входных двухпроводных кабелей *всех приборов*, входящих в состав рабочего места, выполнены гибким проводом с изоляцией *красного* цвета. На конце каждого проводника установлен *штекер – однополюсная вилка*, представляющая собой контактный стержень (*штырь*) из металла, закрепленный в корпусе из изолирующего материала. К штырю припаяна центральная *жила* проводника. Штырь и гнездо монтажной панели, в которое он вставляется, образуют *штепсельное соединение* – миниатюрный электрический разъем, обеспечивающий электрический контакт между жилой проводника и компонентом ЭЦ, электрически связанным с используемым гнездом МП.

В общем случае для выявления назначения концов сигнального кабеля осциллографа необходимо провести следующий эксперимент:

1) возьмите один конец кабеля в одну руку, а другой – в другую, *не касаясь металлических стержней штекеров*;

2) кратковременно прикасаясь к *одному* из штырей пальцем, наблюдайте за реакцией луча на экране осциллографа: если касание не вызывает никакой реакции луча, то испытуемый конец является «земляным». Если же на экране появляется ярко выраженная помеха достаточно большой величины, то тестируемый конец кабеля является потенциальным;

3) проделав указанные манипуляции с одним проводом, повторите их (для надежности результатов эксперимента) со вторым – назначение концов кабеля должно определиться *однозначно*;

4) описанный метод тестирования рекомендуется использовать также в случае, когда есть подозрения во внутреннем обрыве сигнальной жилы входного кабеля (*довольно распространенная на практике неисправность*): очевидно, что в такой ситуации реакция луча на касание *обоих* стержней штекеров *будет отсутствовать*.

Проверка калибровки канала I осциллографа

Точность результатов измерений, проводимых с помощью осциллографа, напрямую зависит от величины нормированных коэффициентов отклонения луча по вертикали и горизонтали экрана, задаваемых соответствующими положениями переключателей « VOLTS/DIV » и « TIME/DIV ». Чтобы удостовериться, что значения коэффициентов отклонения соответствуют требуемым, *перед началом любых измерений*

всегда проводится проверка калибровки осциллографа.

Для проверки калибровки в осциллографе GOS-620 имеется **встроенный** генератор калиброванных импульсов, на выходе которого ((1) – штырь « CAL ») у включенного прибора постоянно присутствует **эталонный** прямоугольный сигнал положительной полярности с частотой 1 кГц, коэффициентом заполнения $\gamma = t_{и}/T = 0,5$ и амплитудой импульсов 2 В.

Суть проверки калибровки осциллографа заключается в экспериментальном измерении параметров изображения калиброванного сигнала (амплитуда U_m , длительность импульса $t_{и}$ и период $T = 1/f$), подаваемого на тестируемый канал вертикального отклонения прибора, и сравнении полученных результатов с истинными значениями. Если результаты измерения соответствуют требуемым с погрешностью, не превышающей толщину сфокусированного луча, делается вывод, что канал откалиброван, и никаких действий по корректировке коэффициентов отклонения канала не требуется. Несоответствие результатов измерений истинным значениям свидетельствует о том, что прибору (в частности, тестируемому каналу) требуется калибровка – подстройка коэффициентов вертикального и горизонтального отклонения луча для обеспечения точностных характеристик осциллографа. О выявленных неполадках необходимо незамедлительно доложить преподавателю или заведующему лабораторией, которые, при необходимости, откалибруют прибор.

Для проверки калибровки **канала I** осциллографа необходимо последовательно выполнить нижеперечисленные действия.

1. Дайте прибору прогреться после включения в течение 3–5 минут.
2. Убедитесь, что ручки (9) – « VARIABLE » и (30) – « SWP VAR » плавной регулировки находятся **в крайнем правом положении** (до щелчка).
3. Подсоедините **потенциальный** провод сигнального шнура канала I к штырю (1) – выходу калибратора « CAL » («земляной» провод сигнального кабеля при работе с калибратором никуда не подключается, поскольку последний **имеет общую с обоими каналами «землю»**).
4. Если изображение неустойчиво, вращая ручку (28) – « LEVEL » (уровень), добейтесь устойчивого изображения калиброванного сигнала.
5. Для удобства работы и повышения точности измерений сформируйте «начало координат»: с помощью ручек (11) – « VERTICAL POSITION » канала I и (32) – « HORIZONTAL POSITION » переместите изображение таким образом, чтобы начало развертки сигнала было четко «привязано» к одной из вертикальных и одной из горизонтальных линий шкалы в левой и средней части экрана.

6. Измерьте параметры изображения сигнала, соблюдая важное требование: **измеряемый интервал должен составлять не менее 4 делений шкалы** (при необходимости увеличьте размер изображения до требуемого переключателями (7) – «VOLTS/DIV» и (29) – «TIME/DIV»).

Возможны два способа проверки калибровки осциллографа:

а) измеряются амплитуда и период изображения калиброванных импульсов. Полученные значения должны соответствовать требуемым (соответственно, 2 В и 1000 мкс) с погрешностью, не превышающей $\pm 3\%$ **в нормальных условиях эксплуатации** (НУЭ – см. стр. 83). Если рассчитанная погрешность превышает допустимое значение, о выявленной неисправности прибора следует сразу же сообщить преподавателю, ведущему занятие;

б) переключателями «VOLTS/DIV» и «TIME/DIV» устанавливаются коэффициенты «0,5 В/дел» и «0,1 мс/дел», соответственно. При этом изображение сигнала по вертикали должно занимать ровно 4 клетки шкалы, а по горизонтали в 10 клетках должно помещаться точно 10 периодов сигнала. Отклонение измеряемых параметров более чем на $\pm 3\%$ от нормы свидетельствует о необходимости калибровки прибора, о чем сразу же сообщается преподавателю.

Если проведенная проверка калибровки не выявила существенных отклонений метрологических характеристик прибора от паспортных значений, **I канал** осциллографа можно использовать для проведения электрических измерений, т.е. **прибор готов к работе**.

5.1.2. Использование канала II

Характеристики и параметры трактов вертикального отклонения каналов I и II осциллографа GOS-620 практически идентичны, поэтому исследование **одиночного** электрического сигнала можно проводить, подавая его либо на вход канала I, либо на вход канала II. Единственное, что отличает **второй** канал от первого – наличие **дополнительной** технической функции: возможность **инвертирования** изображения сигнала на экране осциллографа, т.е. поворота его на 180° относительно истинного состояния с помощью специальной кнопки (16) – «CH2 INV». В некоторых случаях «переворачивание» изображения делает его более естественным, понятным для оператора, или обеспечивает определенные удобства при проведении измерений.

Подготовка к включению осциллографа и работа с прибором в **одноканальном** режиме с **каналом II**, включая проверку калибровки второго канала, незначительно отличаются от описанных в подразделе

ле 5.1.1. В основном, положения органов управления в исходном состоянии прибора соответствуют указанным в таблице 3.5. Отметим *отличия*, которые необходимо учесть, используя *только канал II*.

1. *Во время подготовки к включению* осциллографа переключатели (14) – « **VERT MODE** » (режим) и (23) – « **SOURCE** » (источник синхронизации) установите в положение « **CH2** ».

2. Включите прибор, нажав кнопку (6) – « **POWER** », при этом должен загореться индикатор сети (5).

3. После появления на экране линии развертки переместите ее в центр экрана, вращая ручку (19) – « **VERTICAL POSITION** » канала II.

4. Отрегулируйте яркость и фокус изображения с помощью ручек (2) – « **INTEN** » и (3) – « **FOCUS** ».

5. Установите переключатель (18) – « **AC-GND-DC** » канала II в положение « **DC** » – открытый вход.

6. Пользуясь методикой, описанной в п. 5 подраздела 5.1.1, определите экспериментально назначение концов входного кабеля канала II (потенциальный, «земляной»).

7. Действуя по тому же алгоритму, что был использован для тестирования канала I, проверьте калибровку канала II. В этом случае при манипуляциях с изображением сигнала необходимо использовать органы управления лучом, *относящиеся к каналу II*: ручки (22), (30) должны находиться в крайнем правом положении, ручками (19) и (32) осуществляют перемещение изображения по экрану, переключателями (21) и (29) меняют дискретно размер изображения по вертикали и горизонтали, соответственно.

Если результаты измерений параметров калиброванного сигнала отличаются от требуемых менее чем на $\pm 3\%$ (в *НУЭ*), делается вывод, что *канал II* осциллографа *может быть использован для проведения исследований электрических сигналов*, т.е. *прибор готов к работе*.

5.2. Подготовка к включению и работе осциллографа в «классическом» двухканальном режиме работы

подавляющее время своего функционирования двухканальные (двухлучевые) осциллографы работают в «классическом» двухканальном режиме, поскольку данный режим позволяет наблюдать одновременно два различных синхронизированных во времени электрических сигнала (*сфазированные осциллограммы*), что существенно облегчает настройку и исследование электронных устройств. Таким образом, классический *двухканальный режим работы осциллографа является основным* и широко используется в практической деятельности специалиста-электронщика.

При подготовке осциллографа к включению и работе в двухканальном режиме установите органы управления прибором в положения, указанные в таблице 3.5 (*единственное, но существенное отличие* – переключатель (14) – «**VERT MODE**» необходимо поставить в положение «**DUAL**»). Затем выполните следующие действия.

1. Включите осциллограф, нажав кнопку (6) – «**POWER**» (о включении прибора свидетельствует свечение индикатора сети (5)). Через несколько секунд на экране должны появиться *две* горизонтальные прямые линии: развертки канала I и канала II, соответственно. Если экран остается темным примерно в течение минуты, проверьте правильность установки органов управления. Чтобы разобраться, какая из линий относится к первому, а какая – ко второму каналу, поверните на небольшой угол ручку (11) – «**VERTICAL POSITION**» канала I – при этом линия развертки *первого канала* сместится в вертикальном направлении относительно исходного состояния.

2. *Поочередно*, с помощью ручек (11) и (19) – «**POSITION**» переместите линию развертки канала I в *верхнюю* половину экрана, а канала II – в *нижнюю*, совместив их с горизонтальными линиями шкалы.

3. Установите желательную яркость и фокус линий развертки с помощью ручек (2) – «**INTEN**» и (3) – «**FOCUS**», соответственно.

4. Поставьте переключатели (10) и (18) – «**AC-GND-DC**» каналов I и II, соответственно, в положение «**DC**» – открытый вход.

5. Пользуясь методикой, изложенной в пункте 5 (подраздел 5.1.1), *поочередно* определите с помощью эксперимента назначение концов сигнальных кабелей первого и второго каналов. Запомните результат.

6. Переведите осциллограф в *одноканальный режим* (канал I), для чего поставьте переключатели (14) – «**VERT MODE**» (режим) и (23) – «**SOURCE**» (источник) в положение «**CH 1**». *Проверьте калибровку первого канала* по алгоритму, использованному в подразделе 5.1.1.

7. Установив переключатели (14) – «**VERT MODE**» (режим) и (23) – «**SOURCE**» (источник) в положение «**CH 2**», смените режим работы прибора на *одноканальный с использованием канала II*. *Проверьте калибровку второго канала* (см. подраздел 5.1.2).

8. Если проверка калибровки обоих каналов не выявила грубых отклонений метрологических параметров осциллографа от нормы, переведите переключатель (23) – «**SOURCE**» в положение «**CH 1**», а переключатель (14) – «**VERT MODE**» – в положение «**DUAL**», возвратив прибор в двухканальный режим.

9. Используя ручки (11) и (19) – «**POSITION**» переместите линию развертки канала I в *верхнюю* половину экрана, а канала II – в *ниж-*

ною, совместив их с горизонтальными линиями шкалы. *Прибор готов к проведению электрических измерений в двухканальном режиме.*

5.3. Двухканальный режим суммирования входных сигналов

Осциллограф GOS-620 позволяет наблюдать на экране *алгебраическую сумму* сигналов, поступающих на каналы **СН 1** и **СН 2**. Этот режим является *специализированным* и иногда используется при проведении электрических измерений. Прежде чем перевести осциллограф в режим суммирования, необходимо подготовить прибор к работе *в классическом двухканальном режиме*, выполнив все необходимые действия, указанные в подразделе 5.2.

Перевод в режим суммирования осуществляется установкой переключателя (14) – «**VERT MODE**» в положение «**ADD**» (суммирование). Если при этом *нажать переключатель* (16) – «**СН 2 INV**», на экране будет отображаться *разность сигналов*, поступающих на первый и второй каналы – (сигнал **СН 1** – сигнал **СН 2**).

В режиме суммирования целесообразно использовать режим внутренней синхронизации (переключатель (23) – «**SOURCE**» установлен в положение «**СН 1**» или «**СН 2**»), причем в качестве синхронизирующего следует выбирать сигнал с большей амплитудой.

Для повышения точности измерений необходимо, чтобы в режиме **ADD чувствительность обоих каналов была одинаковой**. Это требование реализуется установкой переключателей «**VOLTS/DIV**» и ручек «**VARIABLE**» каналов **СН 1** и **СН 2 в одинаковые положения**. Перемещение по вертикали результирующего изображения осуществляется ручкой «**VERTICAL POSITION**» *любого канала*.

5.4. Двухканальный режим X-Y

Режим **X-Y**, как и режим **ADD**, является *специализированным* и используется для получения на экране осциллографа диаграммы, отражающей зависимость между двумя величинами в декартовой системе координат (фигура Лиссажу, петля гистерезиса магнитного материала, вольт-амперная характеристика диода и др.). Для обеспечения точности результатов исследований, перед переходом в режим **X-Y** осциллограф предварительно необходимо подготовить к работе в классическом двухканальном режиме (см. подраздел 5.2).

Перевод прибора в режим **X-Y** осуществляется установкой переключателя (29) – «**TIME/DIV**» *в крайнее левое положение* «**X-Y**». При этом сигнал, поступающий на *вход I*, будет определять величину отклонения луча от центра экрана *по горизонтали* (вдоль воображаемой оси X), а *сигнал канала II* – *по вертикали* (вдоль оси Y).

Размер изображения по горизонтали и вертикали регулируется переключателями (7) и (21) – « VOLTS/DIV » I и II канала, соответственно. **Перемещение** диаграммы вдоль осей X и Y производится регуляторами « POSITION »: ручкой (32) – по горизонтали, и любой из ручек (11), (19) – по вертикали.

Пример измерения разности фаз двух гармонических сигналов одинаковой частоты с помощью осциллографа, работающего в режиме X-Y, приведен в подразделе 7.9.

Примечание: перед переводом осциллографа в режим X-Y следует *уменьшить* яркость лучей до минимума, поскольку при отсутствии входных сигналов пятно в центре экрана может повредить (прожечь!) люминофор.

6. Методические указания к практическому использованию осциллографа GOS-620

6.1. Общие правила работы с осциллографом

Входные усилители трактов вертикального отклонения каналов I и II обладают относительно большим входным сопротивлением (1 МОм), т.е. осциллограф, по сути, обладает свойствами высококачественного усовершенствованного **вольтметра**, отражающего на экране сигнал, прямопропорциональный подаваемому на вход **напряжению**. Поэтому и подключается осциллограф к исследуемой ЭЦ точно так же, как вольтметр: **параллельно** компоненту или участку цепи, напряжение на котором подлежит измерению.

Если необходимо исследовать ток, протекающий в некоторой ветви схемы (определить форму тока или измерить его значение), в нужном месте цепи делается разрыв, в который включается **шунт** – резистор с **небольшим** (чтобы практически не влияло на процессы) **известным** сопротивлением $R_{ш}$, с которого и снимается сигнал, пропорциональный току: $u_{R_{ш}} = i \cdot R_{ш}$. Форма тока и напряжения резистора, как известно, идентичны, а величина тока рассчитывается по формуле $i = u_{R_{ш}} / R_{ш}$.

При работе с **одним каналом** (**входной кабель второго никуда не подключен!**) концы входного кабеля можно подключать практически к любому элементу ЭЦ, соблюдая, естественно, **правила техники безопасности и эксплуатации осциллографа** (см. подраздел 8).

В большинстве практических случаев целесообразно использовать **открытые входы осциллографа**, установив переключатели (10) и (18) – « AC-GND-DC » каналов I и II, соответственно, в положение « DC » – открытый вход. В этом случае на экране отображаются как постоянные, так и переменные составляющие исследуемых сигналов при минимальных искажениях изображений (**истинный** вид сигнала).

При закрытом входе (положение «АС») постоянная составляющая задерживается **разделительным конденсатором**, подключаемым в этом режиме к входу усилителя вертикального отклонения, и на экране отображается **только переменная составляющая** сигнала. Поэтому в случаях, когда **переменная составляющая входного сигнала намного меньше постоянной**, а необходимо исследовать именно переменную составляющую (например, при измерении пульсаций на выходе выпрямителя), следует применять режим «АС».

6.2. Особенности работы в двухканальном режиме

При использовании осциллографа, работающего в двухканальном режиме, необходимо учитывать, что «земли» I и II каналов – **это одна и та же эквипотенциальная точка**, относительно которой (**только!**) и могут быть получены изображения двух различных электрических сигналов. Если без учета этого обстоятельства подключить входные сигнальные кабели каналов к элементам ЭЦ произвольным образом, **возможно образование непредвиденных закороток через «землю» прибора**, что с большой вероятностью приведет к выходу из строя, как измерительной аппаратуры, так и элементов исследуемой схемы. Поэтому существует **определенный порядок снятия сфазированных осциллограмм**, изложенный далее на примере исследования простейшей RC-цепи – рис. 3.13.

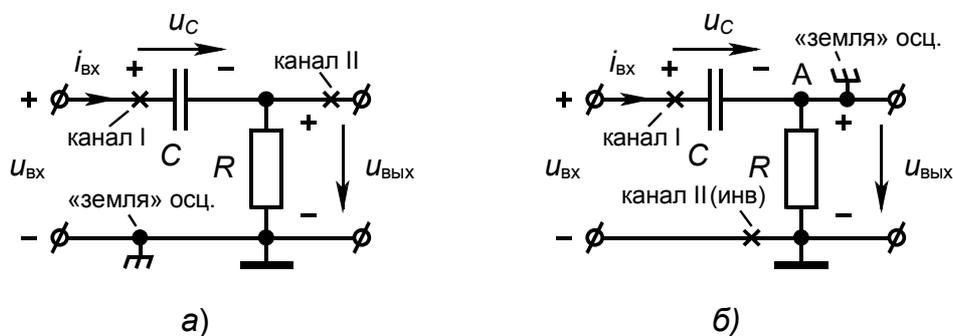


Рис. 3.13. К снятию сфазированных осциллограмм

В данном случае предстоит получить изображения трех сфазированных сигналов: входного $u_{вх}$ и выходного $u_{вых}$ напряжений, **имеющих общую точку с «землей» ЭЦ**, и напряжения на конденсаторе u_C , не имеющего такой точки («подвешенного» относительно «земли»).

Целесообразно действовать в следующей последовательности.

1. Осциллографирование сигналов, обладающих общей точкой с «земляной» шиной.

1. Изобразить эскиз исследуемой схемы; выбрать положительные

направления токов и напряжений на элементах цепи (*с учетом физики работы*) – рис. 3.13, а.

2. Определить два сигнала, имеющих *общую точку с «землей» схемы* – в нашем случае такими сигналами являются $u_{\text{вх}}$ и $u_{\text{вых}}$. Подключить «земляные» концы входных кабелей обоих каналов к земляной шине цепи. Определить полярности $u_{\text{вх}}$ и $u_{\text{вых}}$ *для усилительных трактов осциллографа*. Поскольку «земля» прибора подключена к «земле» схемы, и входной, и выходной сигналы на осциллограмме будут иметь положительную (*«прямую»*) полярность, соответствующую истинной, т.е. инвертировать изображения нет необходимости.

Примечание: поскольку «земли» каналов I и II являются эквипотенциальной точкой, при подключении сигнальных кабелей к выбранным элементам ЭЦ «земляной» конец *одного (любого)* из каналов можно никуда не подключать, оставляя свободным.

3. Установить переключатель (23) – «SOURCE» (источник синхронизации) в положение «CH I». Подключить потенциальный конец канала I к входу цепи, а канала II – к выходу – рис. 3.13, а.

4. Синхронизовать изображение сигналов с помощью ручки (28) – «LEVEL». Манипулируя органами управления, изменить размер изображения, сделав его более удобным для наблюдения и измерений. Зарисовать (эскизно, *примерно* соблюдая пропорции) полученные осциллограммы, предусмотрев место для *будущей* диаграммы u_c . Измерить (с учетом рекомендаций – см. подраздел 7) основные и дополнительные параметры сигналов. Занести результаты в рабочую тетрадь.

В общем случае, если в относительно сложной схеме есть другие сигналы, имеющие общую точку с «землей» цепи, осциллографирование остальных напряжений проводят в том же порядке, снимая осциллограммы *парами* с «привязкой» изображения неизвестного сигнала к изображению известного (например, $u_{\text{вх}}$ (или $u_{\text{вых}}$) + неизвестный).

II. Осциллографирование сигналов, не имеющих общей точки с «землей» электрической цепи (этап II проводится после этапа I).

1. На исследуемой схеме определить *общую точку А* между элементом, с которого предстоит снять осциллограмму, и элементом, изображение сигнала с которого уже получено. В нашем случае такими элементами являются конденсатор C (изображение « u_c » необходимо получить) и резистор R (диаграмма « $u_{\text{вых}}$ » уже известна) – рис. 3.13, б.

2. Подключить «земляные» концы входных кабелей обоих каналов к *выделенной точке* цепи. Определить полярности u_c и $u_{\text{вых}}$ *для усилительных трактов прибора*, т.е. *относительно точки А* («земли» ос-

циллографа). Из схемы следует, что напряжение u_c на осциллограмме будет иметь *положительную («прямую»)* полярность, соответствующую истинной, а напряжение $u_{\text{вых}}$ – *отрицательную*, т.е. *обратную* истинной – рис. 3.13, б. Следовательно, полученную осциллограмму $u_{\text{вых}}$ необходимо будет инвертировать (или искусственно, *изобразив повернутой на 180°*, или с помощью технических средств).

3. Подключить потенциальный конец канала I к входу цепи, а канала II – к «земляной шине» – рис. 3.13, б. Нажать кнопку (16) – «CH2 INV» (инверсия изображения канала II).

4. С помощью органов управления синхронизировать изображение сигналов; изменить, при необходимости, размеры для получения вида, удобного для наблюдения и проведения измерений. Зарисовать осциллограмму u_c , *сфазировав* ее с полученными ранее. С учетом рекомендаций, изложенных в подразделе 7, измерить параметры сигнала, зарегистрировать результаты в рабочей тетради.

Таким образом, снимая осциллограммы *парами* в соответствии с изложенной методикой, можно получить сфазированные диаграммы сигналов с элементов, расположенных в любой ветви любой части электрической цепи.

6.3. Установка времени развертки

Скорость развертки осциллографа, определяющая размеры изображения сигнала по горизонтали экрана, задается переключателем (29) – «TIME/DIV». Если известны временные параметры напряжения, подлежащего исследованию, для экономии рабочего времени следует *предварительно* установить этот переключатель в положение, при котором работать с изображением будет удобно. Например, наблюдать основные выходные импульсы генератора Г5-54 *в исходном режиме*, следующие с частотой 100 кГц, удобно при положении переключателя «10 мкс/дел», поскольку при этом на экране будет видна последовательность сигналов с периодом 10 мкс (одна клетка сетки экрана), что свидетельствует о исправности генератора. Поворот переключателя вправо уменьшает длительность периода развертки (*«растягивает» сигнал во времени*), влево – увеличивает. Если на экране отображается только линия развертки, целесообразно повернуть переключатель влево: возможно, на экране отражена лишь малая часть входного сигнала.

При исследовании сравнительно небольших участков изображения, расположенных относительно далеко от момента запуска развертки, целесообразно использовать кнопку (31) – «×10 MAG» («лупа»). При нажатии на эту кнопку скорость развертки увеличивается на порядок

(в 10 раз), что приводит к десятикратной «растяжке» изображения сигнала во времени и позволяет исследовать интересующий участок более детально (состояние кнопки «лупа» необходимо *учитывать* при расчете временных параметров сигнала). Пример практического применения инструмента «лупа» подробно описан в подразделе 7.4.

Следует отметить, что при включении кнопки «×10 MAG» яркость луча существенно уменьшается – *не используйте «лупу», если в этом нет необходимости!*

6.4. Синхронизация (обеспечение устойчивости изображения)

Для эффективной работы с осциллографом оператор должен уметь быстро и четко добиваться устойчивости изображения исследуемого сигнала на экране прибора, учитывая одновременное влияние нескольких факторов, поэтому *необходимо хорошо знать и понимать функции переключателей режимов и источников синхронизации.*

Функции переключателя (25) – « TRIGGER MODE »

1. Наиболее часто используемый на практике режим **AUTO** (автоматический) задается установкой переключателя в положение «**AUTO**». В этом режиме *при отсутствии сигнала синхронизации* генератор развертки работает в автоколебательном (автоматическом) режиме, и на экране отображается горизонтальная линия развертки (в режиме **DUAL** – две линии). Режим **AUTO** целесообразно использовать *при включении прибора*, чтобы убедиться в его работоспособности, о чем и свидетельствует появление на экране линии развертки или неустойчивого (как правило) изображения входного сигнала. Первоначальная картина позволяет оператору правильно сориентироваться и перевести органы управления осциллографом в нужные положения, обеспечивающие получение на экране удобного для работы синхронизированного изображения сигнала. Кроме того, режим **AUTO** целесообразно использовать при исследовании постоянных и переменных напряжений с малыми амплитудами, когда сигналы синхронизации развертки либо отсутствуют, либо их уровень недостаточен для устойчивой работы. При появлении сигнала синхронизации с нужными параметрами генератор развертки автоматически переходит в «*режим синхронизации*», запускаясь в момент поступления сигнала. При исчезновении (по каким-либо причинам) сигнала синхронизации генератор возвращается в автоколебательный режим.

2. Режим **NORM** (ждуший). В этом режиме *при отсутствии сигналов на входах осциллографа* генератор развертки не запускается, и, следовательно, *на экране прибора ничего не отображается* («темный» экран). При подаче на вход осциллографа входного сигнала развертка,

как правило, запускается не сразу: *генератор не будет запускаться до тех пор, пока оператор вращением ручки « LEVEL » (уровень) не установит необходимый уровень запуска развертки.* На каждый входной сигнал генератор развертки формирует только *один* ход луча и в дальнейшем активируется только при поступлении следующего сигнала синхронизации.

Таким образом: *в режиме NORM на экране не будет отображения луча до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации соответствующего уровня.*

3. Режимы **TV-V** и **TV-H** являются специализированными и применяются в работах по исследованию, настройке и ремонту телевизионных приемников, проводимых с помощью осциллографа. В этих режимах в цепь синхронизации осциллографа включаются специальные селективные (избирательные) цепи, выделяющие *из телевизионного сигнала*, поступающего на вход прибора, синхроимпульсы. Выделенные синхросигналы (кадровой – режим **TV-V** или строчной развертки – режим **TV-H**) запускают генератор развертки осциллографа, благодаря чему на экране устойчиво отображается соответствующая часть телевизионного сигнала. Указанные режимы *в лабораторных работах не используются* и в дальнейшем не рассматриваются.

Функции переключателя (23) – « SOURCE »

Переключатель « **SOURCE** » используется для выбора *источника синхронизации*, т.е. того источника, выходные сигналы которого направляются цепью синхронизации для запуска генератора развертки.

В зависимости от положения переключателя возможны варианты.

1. **CH 1** – *наиболее часто применяемый режим.* В качестве источника синхронизации, запускающего генератор развертки, выступает напряжение, поступающее на вход усилителя **CH 1**. Применяется как в одноканальном режиме работы осциллографа (когда используется *только* канал I), так и в двухканальном.

2. **CH 2** – в качестве сигнала синхронизации задействовано входное напряжение канала **CH 2**. Используется в одноканальном режиме (когда сигнал подается *только* на канал II), а также в двухканальном, если амплитуда сигнала, поступающего на канал II, существенно превышает амплитуду входного напряжения канала I, либо сигнал канала II имеет более благоприятную для четкого запуска генератора развертки форму (например, прямоугольную).

3. **LINE** – для запуска генератора развертки используется сигнал, частота которого равна частоте питающей осциллограф сети переменного тока (формируется в схеме осциллографа). Данный режим эффек-

тивен только тогда, когда частота исследуемого сигнала имеет четкое временное соотношение с частотой питающей сети.

4. **EXT** – развёртка запускается *внешним* сигналом, который подаётся на вход внешнего запуска (24) – « **TRIG IN** » от какого-либо *внешнего* генератора. Поскольку развёртка синхронизируется в этом случае внешним сигналом с *неизменными параметрами*, режим позволяет после разовой настройки исследовать сигналы различной амплитуды, частоты и формы *без перестройки режимов синхронизации*.

Функции переключателя-кнопки (12) – « ALT/CHOP »

Кнопка « **ALT/CHOP** » (поочередный–прерывистый) используется только в *двухлучевом* режиме работы осциллографа. Если кнопка *ненажата*, коммутатор, управляющий логикой работы каналов, функционирует в режиме **ALT** (*поочередный*). Особенностью этого режима является *поочередное* отображение на экране изображений сигналов первого и второго канала, т.е. на одном периоде развертки прорисовывается только, например, сигнал канала I, а на следующем – только сигнал канала II, и в дальнейшем эти процессы периодически повторяются. Режим **ALT** рекомендуется использовать при относительно малых периодах развертки, когда указатель переключателя « **TIME/DIV** » (время/деление) занимает положение правее отметки « **0,5 мкс/дел** ». Нажатие (включение) кнопки « **ALT/CHOP** » переключает коммутатор в режим « **CHOP** » (прерывистый), при котором луч «скачет», *прерываясь*, между изображениями каналов с частотой примерно 250 кГц, прорисовывая за время одного периода развертки одновременно (для наблюдателя) изображения сигналов обоих каналов. В режим « **CHOP** » целесообразно переходить при наблюдении относительно низкочастотных сигналов, когда указатель переключателя « **TIME/DIV** » занимает положение левее отметки « **0,5 мкс/дел** » («длинная» развертка).

Функции переключателя-кнопки (27) – « TRIG ALT »

Переключатель-кнопка « **TRIG ALT** » (развертка поочередно) применяется лишь в *двухлучевом режиме* работы прибора, причем *в исключительном случае*, когда одновременно исследуются два *несинхронизированных* между собой во времени сигнала, имеющие разные рабочие частоты. Нажатие кнопки « **TRIG ALT** » переводит осциллограф в режим использования *двух различных источников синхронизации*: осуществляется *поочередный* запуск генератора развертки автономными сигналами, поступающими на первый и второй каналы, благодаря чему на экране устойчиво отображаются оба напряжения.

Режим TRIG ALT нельзя использовать для измерения разности фаз между сигналами, поступающими на канал I и канал II!

Перед нажатием кнопки « **TRIG ALT** » следует убедиться, что кнопка (12) – « **ALT/CHOP** » находится в *ненажатом* состоянии (эти кнопки *запрещено включать одновременно!*).

Поскольку единовременное исследование несинхронизированных во времени сигналов – явление достаточно редкое, основное состояние переключателя « **TRIG ALT** » – выключен (кнопка *отжата*).

Функции переключателя-кнопки (26) – « **SLOPE »**

Переключатель « **SLOPE** » (полярность) задает полярность сигнала, запускающего генератор развертки осциллографа. Если переключатель находится в положении « + » (*отжат*), развертка запускается *положительным* перепадом (наклоном, нарастающим фронтом) синхронизирующего сигнала независимо от знака мгновенного значения напряжения. При *нажатии* на кнопку (положение « - ») запуск развертки осуществляется отрицательным перепадом (спадом, наклоном) синхронизирующего сигнала – рис. 3.14.

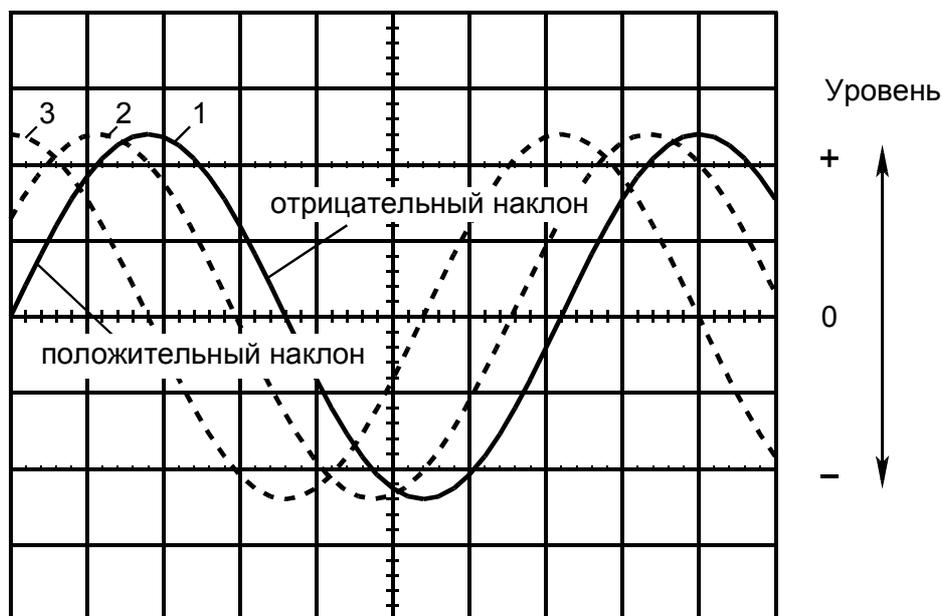


Рис. 3.14. К пояснению функциональных возможностей переключателя « **SLOPE** » и регулятора уровня запуска « **LEVEL** »

Если полярность сигнала, используемого для запуска развертки, заранее известна, переключатель « **SLOPE** » следует установить в соответствующее положение.

Функции регулятора уровня запуска (28) – « **LEVEL »**

Регулятор « **LEVEL** » совместно с переключателем « **SLOPE** » задает уровень напряжения запускающего сигнала и временной интервал, на котором происходит запуск генератора развертки.

Если, например, переключатель « **SLOPE** » находится в положении « + » (*отжат*), а ручка « **LEVEL** » занимает среднее положение (область нуля), то *при внутренней синхронизации* запуск развертки будет происходить на интервале нарастания входного сигнала (*положительный перепад*) в момент, когда его напряжение примерно равно нулю (переходит через нулевое значение) – рис. 3.14, кривая 1. Вращение ручки « **LEVEL** » вправо (в область « + ») увеличивает уровень напряжения запуска, следовательно, изображение входного сигнала будет перемещаться *влево* по горизонтали экрана – рис. 3.14, кривая 2. Дальнейшее вращение ручки и соответствующее перемещение изображения приведет к тому, что начало развертки совпадет с моментом достижения сигналом амплитудного значения со знаком (+) – рис. 3.14, кривая 3. Уровень запуска, соответствующий этому положению регулятора, является максимально возможным, при котором еще наблюдается устойчивая синхронизация изображения. Если продолжить вращение ручки « **LEVEL** » вправо, увеличивая уровень запуска, устойчивое изображение *исчезнет* с экрана, поскольку величина сигнала станет недостаточной для запуска генератора развертки. При этом в режиме **NORM** экран «потухнет», а в режиме **AUTO** на экране будет отображаться линия развертки и случайным образом наложенный на нее несинхронизированный сигнал. Для восстановления синхронизации (четкости изображения на экране) необходимо, очевидно, повернуть ручку « **LEVEL** » влево, снизив уровень запуска до требуемого значения.

Примечание: нужно помнить, что регулятор « **LEVEL** » – *основной* «инструмент» оператора, позволяющий, вращая ручку, добиться устойчивого изображения сигнала на экране осциллографа путем приведения в соответствие размера изображения по вертикали и уровня запуска генератора развертки.

Если повторить эксперимент, нажав на кнопку « **SLOPE** » (т.е. задать режим « - » – запуск генератора развертки отрицательным перепадом входного сигнала), то при среднем положении ручки « **LEVEL** » на экране будет отображаться синусоида, инвертированная относительно сигнала 1 на рис. 3.14. В этом случае вращение ручки « **LEVEL** » вправо (увеличение уровня запуска) приведет к смещению изображения входного сигнала *вправо* вплоть до исчезновения его с экрана.

Таким образом, манипулируя переключателем « **SLOPE** » и ручкой « **LEVEL** » с отслеживанием положения изображения на экране, можно задать исследуемому сигналу практически любую начальную фазу, т.е. «привязать» момент синхронизации (начало развертки) к любому значению сигнала (от пика до пика). Пример формирования опорной синусоиды с нулевой начальной фазой для эффективного измерения разности фаз между двумя гармоническими сигналами с одинаковыми частото-

тами подробно рассмотрен в подразделе 7.9.

Следует отметить, что при использовании режима внутренней синхронизации для повышения стабильности (устойчивости) изображения целесообразно выбирать точку запуска развертки на временном интервале, где форма сигнала наиболее стабильна (отсутствует «дребезг» изображения), а величина меняется максимально круто (например, в области формирования фронта или спада прямоугольного импульса).

7. Проведение измерений с помощью осциллографа

Общие методические указания, которым целесообразно следовать при проведении электрических измерений с помощью осциллографа, заключаются в следующем.

1. Перед проведением измерений необходимо проверить калибровку каналов осциллографа и убедиться, что метрологические характеристики прибора соответствуют указанным в паспорте значениям.

2. При проведении измерений ручки (30), (9) и (22) – « **VARIABLE** » (плавной регулировки) должны находиться в крайнем правом положении (до щелчка).

3. Для повышения точности измерений линии изображения сигнала на экране, формируемого электронным лучом, должны быть максимально сфокусированными и не слишком яркими.

4. Размер *измеряемого интервала* и по вертикали, и по горизонтали целесообразно устанавливать максимально большим. Нужно помнить, что погрешность измерения будет соответствовать паспортным значениям лишь в случае, если измеряемый интервал составляет 4 и более деления шкалы экрана.

5. Точность измерений будет выше, если измеряемый интервал с помощью соответствующей ручки « **POSITION** » совместить с центральной вертикальной (горизонтальной) линией сетки экрана, имеющей дополнительную разметку с шагом 0,2 деления шкалы.

6. Результат измерения целесообразно регистрировать в форме: количество делений × цена деления = результат (ед. измерения).

7.1. Измерение постоянного напряжения

Выполните следующие операции:

– поставьте переключатель « **TRIGGER MODE** » в положение « **AUTO** »;

– выберите для предстоящей работы один из каналов осциллографа.

Примечание: для измерения сигналов постоянного уровня можно использовать любой из каналов: они практически идентичны, однако в одноканальном режиме работы осциллографа целесообразно для определенности использовать *первый канал*. Будем полагать, что для измерения выбран канал I;



а)



б)

Рис. 3.15. Формирование контрольной линии (а) и измерение постоянного **положительного** напряжения (б)

- поставьте переключатель режима работы усилителей « **VERT MODE** » в положение « **CH 1** »;
- установите переключатель « **VOLTS/DIV** » первого канала в положение « **5 В/дел** », а ручку плавной регулировки коэффициента усиления первого канала « **VARIABLE** » в «утопленное» состояние;

– поверните ручку плавной регулировки коэффициента усиления канала I « **VARIABLE** » в крайнее правое положение (до щелчка);

– поставьте переключатель режима работы входа « **AC-GND-DC** » канала I в положение « **GND** »;

– если известно, что измеряемое напряжение *положительно* относительно «земли», ручкой « **VERTICAL POSITION** » канала I переместите линию развертки в нижнюю часть экрана (ниже средней линии сетки) и совместите её с одной из нижних горизонтальных линий шкалы, образовав *контрольную линию* (начало отсчета) – рис. 3.15, а. Запомните положение контрольной линии.

Если напряжение *отрицательно*, линию развертки *необходимо переместить в верхнюю часть экрана* и там организовать контрольную линию.

Если же *полярность измеряемого напряжения неизвестна*, то линию развертки целесообразно вначале расположить *на средней горизонтальной линии* шкалы в центре экрана. В этом случае организацию контрольной линии следует произвести после выполнения двух следующих подпунктов, когда полярность сигнала будет определена.

Примечание: не следует пользоваться ручкой «**VERTICAL POSITION**» после установки контрольной линии;

– подайте измеряемый сигнал на входное гнездо « **CH 1 (X)** » первого канала;

– возвратите переключатель « **AC-GND-DC** » канала I в положение « **DC** »;

Примечание: направление перемещения линии развертки при выполнении настоящего подпункта однозначно характеризует полярность измеряемого постоянного напряжения: если линия развертки сместилась вверх от исходного положения, то исследуемый сигнал положителен, в противном случае – отрицателен;

– установите переключатели « **VOLTS/DIV** » и « **VARIABLE** » канала I в такое положение, чтобы сместившаяся под действием входного сигнала линия развертки отстояла от контрольной на $4 \div 7$ делений шкалы экрана.

Примечание: размер перемещения линии развертки, при котором обеспечивается класс точности прибора, должен составлять не менее 4-х делений.

Если возникла необходимость увеличить чувствительность 1 канала в 5 раз (режим « **x5** »), ручку « **VARIABLE** » следует «вытянуть», *оставив в крайнем правом положении*;

– определите расстояние в делениях между контрольной линией и положением линии развертки;

– умножьте измеренное расстояние на показатель переключателя « **VOLTS/DIV** » и, в случае использования режима « **×5** », результат разделите на **5**.

ПРИМЕР. Расстояние между контрольной линией и линией развертки составляет 6,2 деления (рис. 3.15, б); переключатель « **VOLTS/DIV** » установлен в положение « **0,5 В/дел** », ручка « **VARIABLE** » «утоплена», т.е. режим « **×5** » не задействован.

Измеряемое напряжение составляет:

$$6,2 \text{ дел.} \times (0,5 \text{ В/ дел.}) = 3,1 \text{ В.}$$

7.2. Измерение полного размаха (двойной амплитуды) переменного синусоидального напряжения

Выполните указанные операции:

- подайте измеряемый сигнал на входное гнездо одного из каналов;
- установите переключатель « **VERT MODE** » режима работы усилителя на выбранный канал;
- поставьте переключатель « **AC-GND-DC** » этого канала в положение « **DC** » или « **AC** ».

Примечание: для НЧ сигналов частотой менее 50 Гц следует использовать положение « **DC** »;

- поверните ручку « **VARIABLE** » плавной регулировки усиления используемого канала в крайнее правое положение (до щелчка);

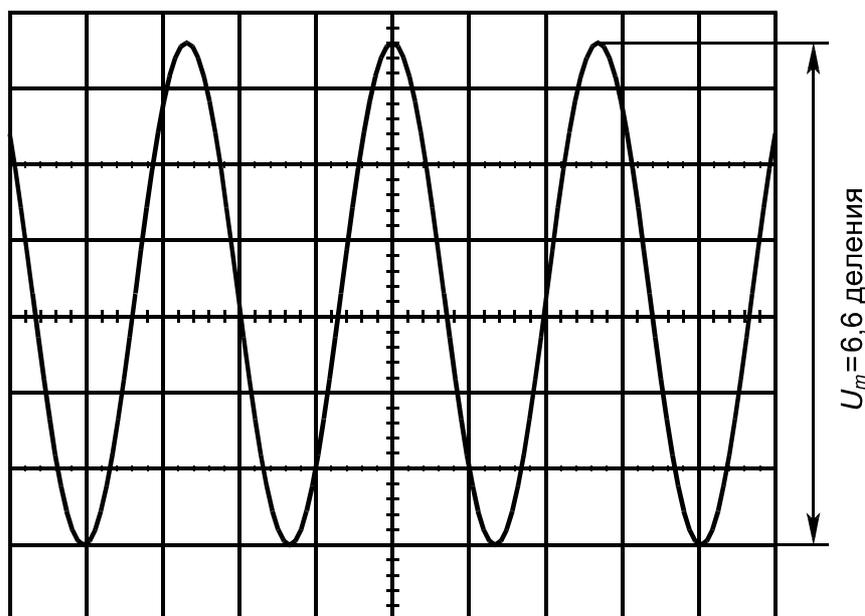


Рис. 3.16. Измерение полного размаха (двойной амплитуды) переменного синусоидального напряжения

- поставьте переключатели « **VOLTS/DIV** » и « **VARIABLE** » («утоплен» или «вытянут») данного канала в такое положение, чтобы *полный размах изображения* составлял более 4-х делений шкалы экрана;
- переключателем « **SOURCE** » и кнопкой « **SLOPE** » задайте необходимые параметры режима синхронизации исследуемого сигнала;
- ручкой « **LEVEL** » установите устойчивое изображение. Поставьте переключатель « **TIME/DIV** » в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;
- ручкой « **POSITION** » (« **↔** ») сместите изображение по горизонтали таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на средней вертикальной линии шкалы (рис. 3.16);
- установите ручку « **POSITION** » вертикального смещения луча используемого канала в такое положение, чтобы минимальный уровень сигнала совпадал с одной из нижних горизонтальных линий, а максимальный – находился в пределах экрана;
- определите расстояние в делениях между нижней и верхней точками изображения;
- умножьте расстояние, измеренное выше, на показания переключателя « **VOLTS/DIV** », учтя положение переключателя « **VARIABLE** ».

ПРИМЕР. Полный размах сигнала составляет 6,6 делений (рис. 3.16); используется *внешний делитель 1:10*; переключатель « **VOLTS/DIV** » установлен в положение « **5 мВ/дел** », а ручка « **VARIABLE** » находится в «утопленном» положении (режим « **×5** » не используется).

Измеряемое напряжение составляет:

$$6,6 \text{ дел.} \times (5 \text{ мВ/ дел.}) \times 10 = 330 \text{ мВ,}$$

следовательно, амплитуда сигнала $U_m=165 \text{ мВ}$.

Примечание: рассмотренный метод целесообразно применять в случае, когда размер изображения амплитуды синусоиды меньше 4-х делений экрана, и, следовательно, измерение этого параметра не обеспечивается необходимой точностью. Кроме того, метод может быть использован для определения напряжения между двумя любыми точками сигнала, а не только между пиками напряжения.

7.3. Измерение амплитуды переменной составляющей импульсного сигнала с большой постоянной составляющей

Выполните следующие операции:

- поставьте переключатель « **TRIGGER MODE** » в положение « **AUTO** »;
- выберите для предстоящей работы один из каналов осциллографа (для определенности воспользуемся первым каналом);

- поставьте переключатель « **VERT MODE** » режима работы усилителей в положение « **CH 1** »;
- установите переключатели канала I: « **VOLTS/DIV** » в положение « **2(В/дел)** », а « **VARIABLE** » – в «утопленное» состояние;
- поверните ручку плавной регулировки коэффициента усиления первого канала « **VARIABLE** » в крайнее правое положение (до щелчка);
- поставьте переключатель « **AC-GND-DC** » канала I в положение « **AC** »;
- установите переключатель « **SOURCE** » источника синхронизации в положение « **CH 1** »;
- поставьте переключатель « **SLOPE** » полярности синхронизирующего сигнала в положение « **+** » или « **-** » в зависимости от вида исследуемого сигнала;

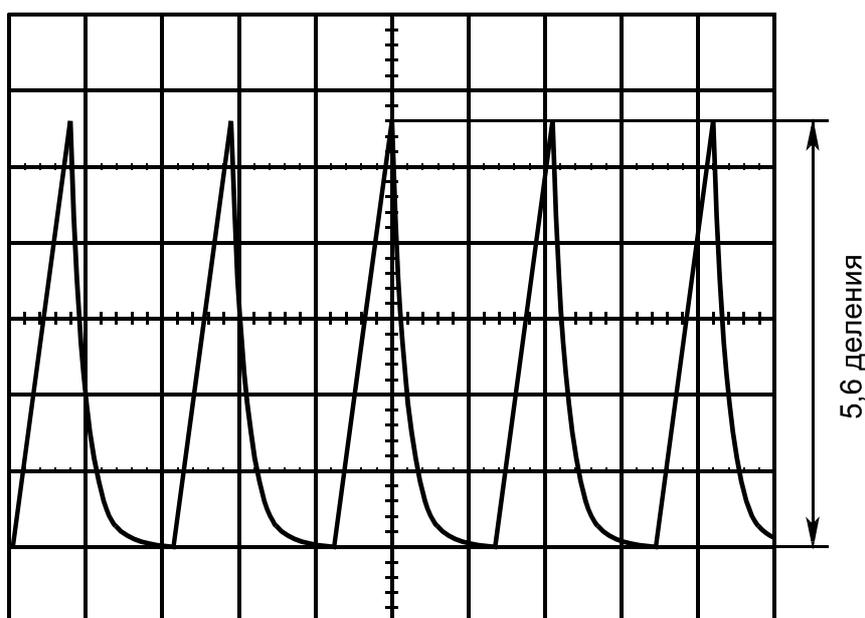


Рис. 3.17. Измерение амплитуды переменной составляющей импульсного сигнала, имеющего большую постоянную составляющую

- подайте измеряемый сигнал на гнездо « **CH 1 (X)** » канала I;
- ручкой «**LEVEL**» добейтесь устойчивости изображения;
- поставьте переключатели « **VOLTS/DIV** » и «**VARIABLE**» в такое положение, чтобы полный размах переменной составляющей сигнала составлял более 4-х делений шкалы экрана (ручка «**VARIABLE**» должна находиться в крайнем правом положении до щелчка!);

- установите ручку « **POSITION** » вертикального перемещения изображения канала I в такое положение, чтобы минимальный уровень сигнала совпадал с одной из нижних горизонтальных линий, а максимальный – находился в пределах экрана – рис. 3.17;
- ручкой « **POSITION** » (« **↔** ») сместите изображение по горизонтали таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на средней вертикальной линии шкалы (рис. 3.17);
- поставьте переключатель « **TIME/DIV** » в положение, при котором наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;
- если синхронизация нарушилась, ручкой « **LEVEL** » восстановите устойчивость изображения;
- измерьте расстояние в делениях между нижней и верхней точками полного размаха сигнала.

Примечание: этот метод может быть использован для определения напряжения между двумя любыми точками сигнала, а не только между пиками напряжения;

- умножьте расстояние, измеренное выше, на показания переключателей « **VOLTS/DIV** » и « **VARIABLE** ».

ПРИМЕР. Размах вертикального отклонения сигнала составляет 5,6 деления, используется внешний делитель **1:10**, переключатель « **VOLTS/DIV** » установлен в положение «**5 мВ/дел**», а переключатель « **VARIABLE** » «утоплен» – положение « **×1** » (рис. 3.17).

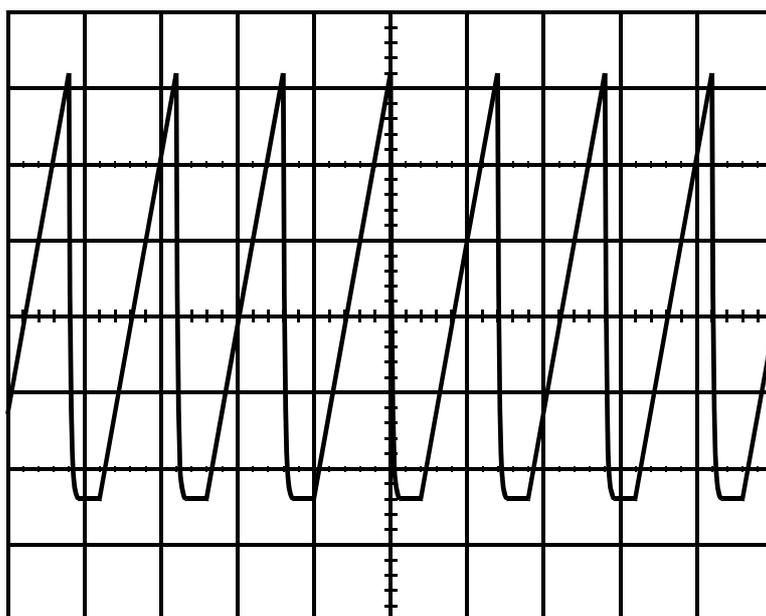
Измеряемое напряжение составляет:

$$5,6 \text{ дел.} \times 10 \times (5 \text{ мВ/ дел.}) = 280 \text{ мВ.}$$

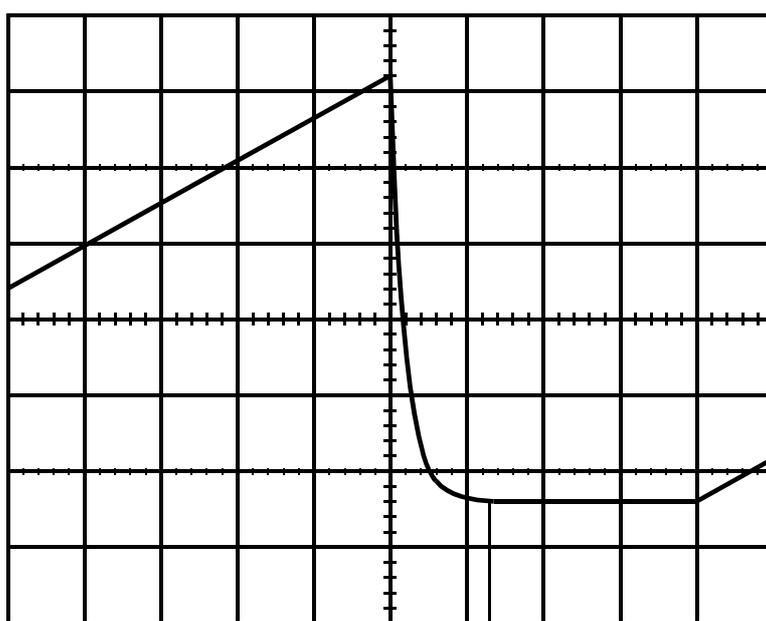
7.4. Измерение коротких временных интервалов в режиме MAG («лупа»)

Режим **MAG** – «лупа» («растяжка» развертки) используется в случае, когда измерение временного интервала малой длительности, расположенного относительно далеко от начала развертки (например, заднего фронта прямоугольного импульса), вызывает определенные трудности. Для эффективного использования режима «лупа» выполните следующие операции:

- подготовьте осциллограф к работе с первым каналом, установив органы управления в соответствующие положения;
- подайте исследуемый сигнал на входное гнездо « **CH 1 (X)** »;
- убедитесь, что ручка « **SWP VAR** » (развертка плавно) находится в крайнем правом положении;
- установите переключатель « **VOLTS/DIV** » и ручку « **VARIABLE** » канала I в положения, при которых размер изображения по вертикали экрана составляет 5-7 делений – рис. 3.18, а;



a)



1,3 деления

б)

Рис. 3.18. Изображение сигнала до (а) и после (б) применения инструмента « лупа » (кнопки « ×10 MAG »)

– манипулируя переключателем « **SLOPE** » (полярность) и ручкой « **LEVEL** » (уровень) добейтесь устойчивого состояния изображения сигнала на экране осциллографа;

– с помощью переключателя « **TIME/DIV** » (*вращением по часовой стрелке!*) установите **наименьший коэффициент развертки**, при котором еще наблюдается часть сигнала, подлежащая исследованию;

– вращая ручку « **HORIZONTAL POSITION** », переместите изображение сигнала так, чтобы исследуемый участок располагался в центре экрана – например, измерению подлежит время обратного хода пилообразного сигнала в импульсной последовательности (рис. 3.18, а);

– нажмите кнопку « **×10 MAG** » для увеличения скорости развертки – исследуемая часть сигнала «растянется» в 10 раз вдоль горизонтальной оси экрана;

– с помощью ручки « **HORIZONTAL POSITION** » переместите изображение сигнала по горизонтали, чтобы начало измеряемого участка совпало с ближайшей к центру экрана вертикальной линией – рис. 3.18, б);

– определите длительность измеряемого интервала *с учетом увеличенной скорости развертки*.

ПРИМЕР. Длительность обратного хода «пилы» $t_{ох}$ составляет 1,3 деления (рис. 3.18, б); переключатель « **TIME/DIV** » установлен в положение « **2 мкс/дел** »; включена кнопка « **×10 MAG** ».

Таким образом:

$$t_{ох} = (2 \text{ мкс/ дел.}) \times 1,3 \text{ дел.} / 10 = 260 \text{ нс.}$$

7.5. Измерение временного сдвига между двумя импульсными сигналами

Для измерения временного сдвига между двумя импульсами выполните следующие действия:

– установите переключатели « **AC-GND-DC** » обоих каналов в положение « **AC** » или « **DC** » в зависимости от вида сигналов (см. подпункт 6.1);

– установите переключатель « **SOURCE** » источника синхронизации в положение « **CH 1** »;

– подайте опорный сигнал на вход канала I, а исследуемый – на вход канала II.

Примечание: а) опорный сигнал должен предшествовать исследуемому; б) сигналы необходимо подавать на входы коаксиальными кабелями одинаковой длины (с одинаковым «паразитным» временем задержки);

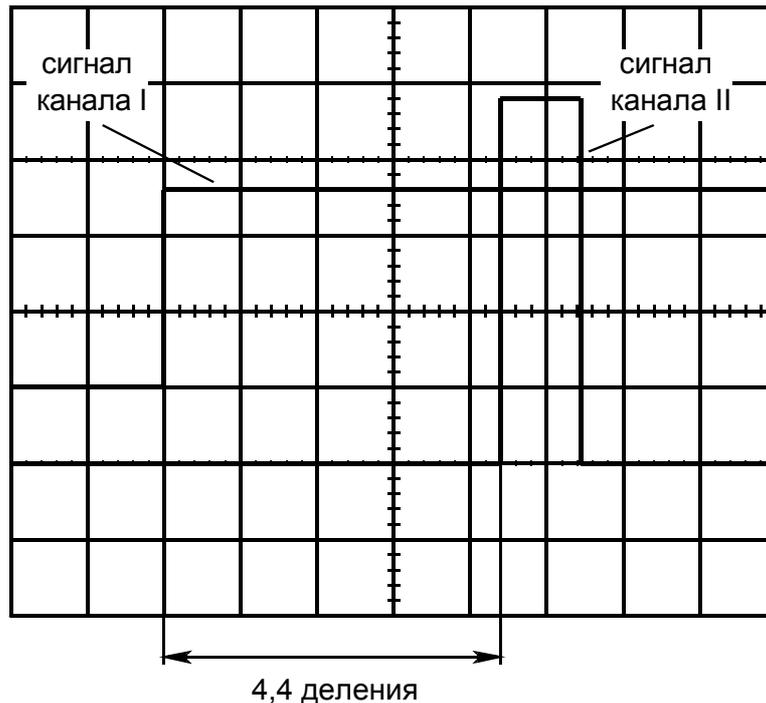


Рис. 3.19. Измерение временного сдвига между двумя импульсными сигналами

- если сигналы имеют различную полярность, переключателем « **CH2 INV** » инвертируйте сигнал канала II;
- переключателями « **VOLTS/DIV** » и « **VARIABLE** » установите размеры изображений сигналов обоих каналов по 2–8 делений;
- ручкой « **LEVEL** » установите устойчивое изображение сигналов;
- ручку « **SWP VAR** » (развертка плавно) поверните в самое правое положение до щелчка;
- переключателями « **TIME/DIV** » и « **×10 MAG** » установите такую скорость развертки, чтобы между импульсами было не менее 4-х делений шкалы – рис. 3.19.

Примечание: а) при использовании режима « **×10 MAG** » – «лупа» выполняйте рекомендации, изложенные в подразделе 7.4 настоящего пособия;

б) если при работе на самой короткой развертке « **0,2 мкс/дел** » с использованием «лупы» измеряемый интервал все равно *составляет менее 4-х делений*, после определения результата измерений напишите в отчете соответствующий *комментарий*;

- ручками « **POSITION** » вертикального смещения обоих каналов установите оба импульса (или точки изображения, между которыми производится измерение) посередине экрана относительно центральной горизонтальной линии;

- с помощью ручки « **POSITION** » (« \leftrightarrow ») совместите фронт опорного сигнала с какой-либо из начальных вертикальных линий сетки в левой части экрана (рис. 3.19);
- определите расстояние по горизонтали между фронтами импульсов канала I и канала II;
- умножьте полученное число на скорость развертки, соответствующую положению переключателя « **TIME/DIV** » и разделите на 10, если использовался переключатель « **×10 MAG** » – «лупа».

ПРИМЕР. Переключатель « **TIME/DIV** » установлен в положение « **50 мкс/дел** », включена растяжка развертки («лупа»), временной интервал по горизонтали между импульсами составляет 4,4 деления – рис. 3.19. Следовательно, временной сдвиг между сигналами

$$t_{\text{здв}} = 4,4 \text{ дел.} \times (50 \text{ мкс/дел.}) / 10 = 22 \text{ мкс.}$$

7.6. Измерение длительности между двумя точками сигнала (например, активной длительности импульса)

Выполните следующие действия:

- установив органы управления в соответствующие положения, подготовьте осциллограф к работе с первым каналом;
- подайте исследуемый сигнал на входное гнездо « **CH 1 (X)** »;
- установите переключатель « **VOLTS/DIV** » и ручку « **VARIABLE** » канала I в такое положение, чтобы изображение на экране составило 5-7 делений – рис. 3.20;
- ручку « **SWP VAR** » (развертка плавно) поверните в крайнее правое положение до щелчка;
- установите переключатели « **TIME/DIV** » и, при необходимости, « **×10 MAG** » – «лупа» в положение, при котором расстояние между измеряемыми точками будет менее 10 делений, но более 4-х.

Примечание: измеряемый временной интервал *может составлять менее 4-х делений*, если предыдущее условие *не может быть технически обеспечено* даже при использовании максимально высокой скорости развертки (переключатель « **TIME/DIV** » находится в положении « **0,2 мкс/дел** », переключатель « **×10 MAG** » включен – см. **Примечание** к подпункту 7.5);

- установите ручкой « **LEVEL** » устойчивое изображение на экране ЭЛТ;
- переместите ручкой « **POSITION** » (« \updownarrow ») канала I изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились на центральной горизонтальной линии;

Примечание: если измеряется активная длительность импульса, центральная горизонтальная линия должна пересекать импульс на уровне $0,5U_m$.

- ручкой « **POSITION** » (« \leftrightarrow ») переместите изображение сигнала таким образом, чтобы точка, от которой начинается отсчет, совместилась с одной из вертикальных линий в левой стороне экрана (рис. 3.20);
- измерьте горизонтальное расстояние между точками отсчета;

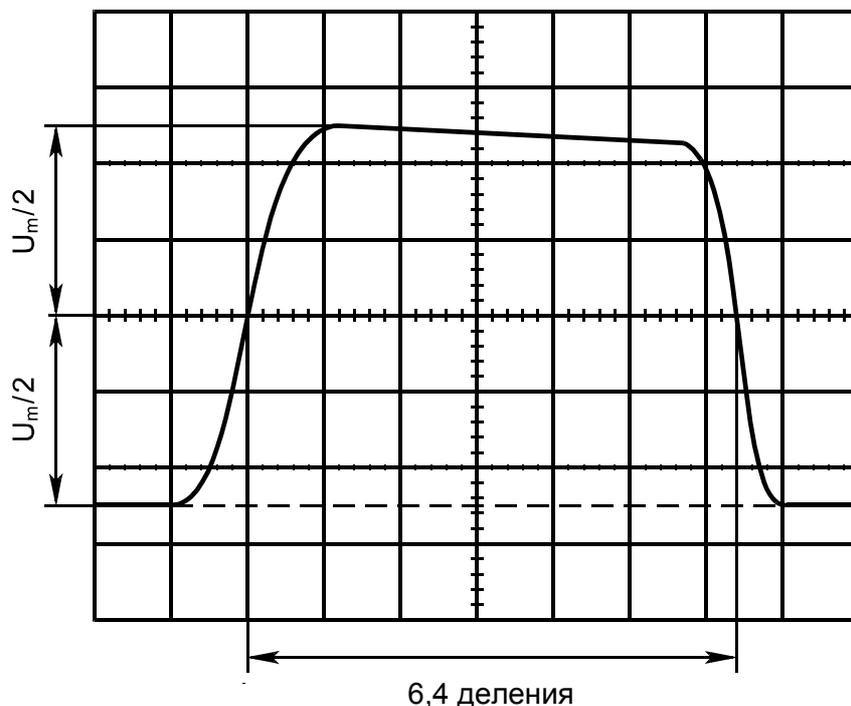


Рис. 3.20. Измерение длительности между двумя точками сигнала (активной длительности импульса)

- умножьте расстояние, определенное выше, на коэффициент развертки с учетом положения переключателя « $\times 10 \text{ MAG}$ » – получите требуемый результат.

ПРИМЕР. Расстояние между точками отсчета составляет 6,4 деления (рис. 3.20); переключатель « **TIME/DIV** » установлен в положение « **0,2 мс/дел** », переключатель « $\times 10 \text{ MAG}$ » – «лупа» не задействован. Активная длительность импульса составляет:

$$t_{\text{иа}} = (0,2 \text{ мс/ дел.}) \times 6,4 \text{ дел.} \times 1 = 1,28 \text{ мс.}$$

7.7. Измерение частоты периодических сигналов

Для измерения частоты выполните следующие действия:

- измерьте длительность одного периода T сигнала по методике, изложенной в пункте 7.6.

Примечание: а) период – это минимальный интервал времени, на котором выполняется условие периодичности $u(t) = u(t+T)$; измеряемый интервал на осциллограмме следует выбирать так, чтобы начальная и конечная точки отсчета определялись однозначно; б) временной интервал (период), подлежащий измерению, должен составлять *не менее 4-х делений шкалы*; если это условие не выполняется, для повышения точности целесообразно измерять несколько (2–3) периодов сигнала – *важно, чтобы измеряемый интервал превышал 4 деления*;

– рассчитайте частоту сигнала по формуле: $f_c = n/n \times T$, где n – число измеренных периодов.

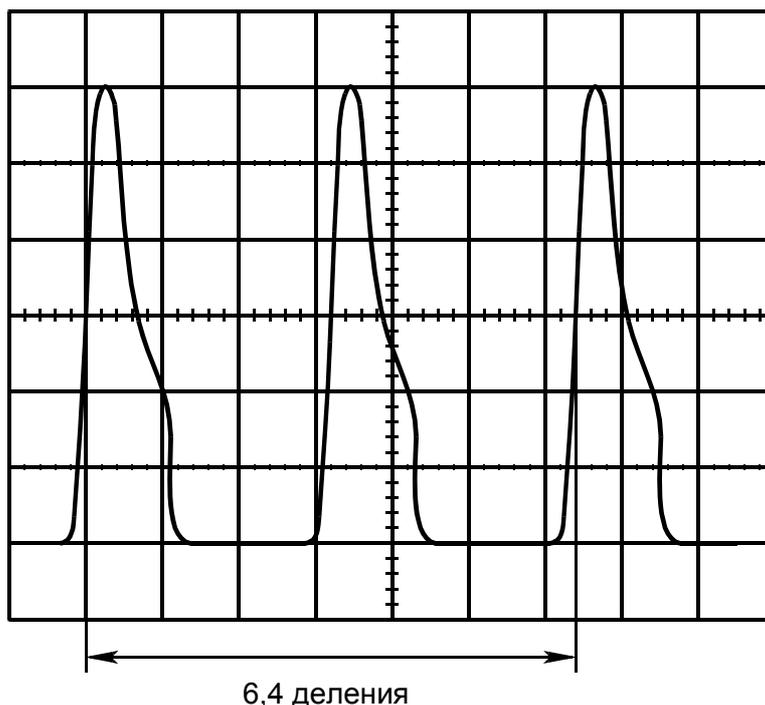


Рис. 3.21. Измерение частоты периодического сигнала

ПРИМЕР. Длительность двух периодов наблюдаемого сигнала составляет 6,4 деления (рис. 3.21); переключатель « **TIME/DIV** » установлен в положение « **10 мкс/дел** », кнопка « **×10 MAG** » – «лупа» не включена.

Таким образом: $2T = (10 \text{ мкс/ дел.}) \times 6,4 \text{ дел.} \times 1 = 64 \text{ мкс.}$

Следовательно, частота сигнала $f_c = 2/64 \text{ мкс} \cong 31250 \text{ Гц.}$

7.8 Измерение времени нарастания (фронты) импульсного сигнала

В подавляющем большинстве практических случаев на осциллограмме импульсного сигнала невозможно четко зафиксировать моменты времени, в которые начинается и заканчивается формирование фронта. В этом случае принято говорить об *активной длительности фронта* $t_{\text{фа}}$ – интервале времени, в течение которого сигнал при формировании фронта меняется между уровнями 0,1 и 0,9 своей амплитуды U_m .

Для измерения $t_{\text{фа}}$ необходимо выполнить следующие действия:

- подготовьте осциллограф к работе с первым каналом, установив органы управления прибором в соответствующие положения;
- ручку «**SWP VAR**» (развертка плавно) поверните в крайнее правое положение до щелчка;
- подайте исследуемый сигнал на гнездо «**CH 1 (X)**» канала I;
- с помощью органов управления синхронизацией добейтесь устойчивого состояния изображения сигнала на экране ЭЛТ;
- установите переключателями «**VOLTS/DIV**» и «**VARIABLE**» канала I максимально возможное (в пределах экрана) изображение сигнала по вертикали;
- вращая ручку плавной регулировки коэффициента усиления первого канала «**VARIABLE**», установите такой размер изображения сигнала по вертикали, чтобы амплитуда импульса составила целое число делений шкалы экрана;
- ручкой «**LEVEL**» синхронизируйте начало развертки с самой нижней точкой изображения фронта;

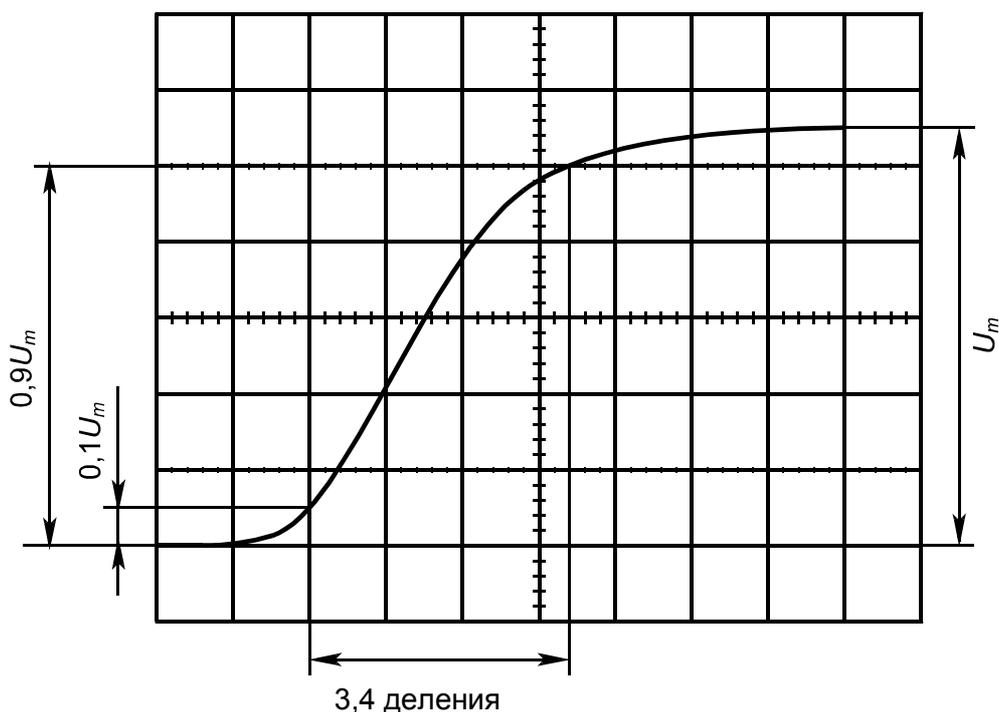


Рис. 3.22. Измерение активной длительности фронта импульса

- вращая ручку «**POSITION**» («**↕**») канала I, совместите нижнюю точку изображения с одной из горизонтальных линий в нижней части экрана – рис. 3.22;

- определите точки уровней 0,1 и 0,9 амплитуды на нарастающей части импульса (фронте);
- установите переключателями « **TIME/DIV** » и « **×10 MAG** » наибольшую скорость развертки, при которой размер изображения между точками импульса на уровнях 0,1 и 0,9 амплитуды будет занимать более 4 делений шкалы по горизонтали (см. **Примечание** к подпункту 7.4);
- ручкой « **POSITION** » (« **↔** ») совместите точку уровня $0,1U_m$ сигнала с одной из вертикальных линий шкалы в левой части экрана ЭЛТ (рис. 3.22);
- определите горизонтальное расстояние между точками уровней 0,1 и 0,9 от амплитуды;
- умножьте расстояние, определенное выше, на величину, соответствующую положению переключателя « **TIME/DIV** » и учтите состояние переключателя « **×10 MAG** »;

ПРИМЕР. Расстояние по горизонтали между точками сигнала на уровнях 0,1 и 0,9 амплитуды равно 3,2 деления – рис. 3.22. Переключатель « **TIME/DIV** » установлен в положение « **0,2 мкс/дел** »; использована растяжка развертки («лупа»). Активная длительность фронта:

$$t_{\text{фа}} = 3,2 \text{ дел.} \times (0,2 \text{ мкс/дел.}) / 10 = 64 \text{ нс.}$$

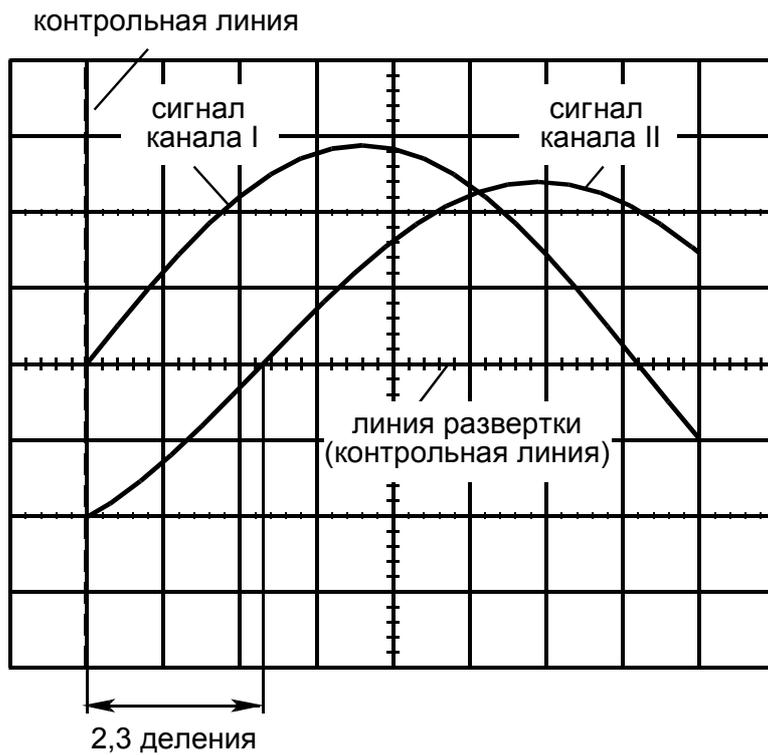
Примечание: активная длительность спада $t_{\text{са}}$ (заднего фронта) импульсного сигнала по уровням 0,1 и 0,9 амплитуды на спаде измеряется аналогично измерению активной длительности переднего фронта.

7.9. Измерение разности фаз между двумя синусоидальными сигналами одной частоты

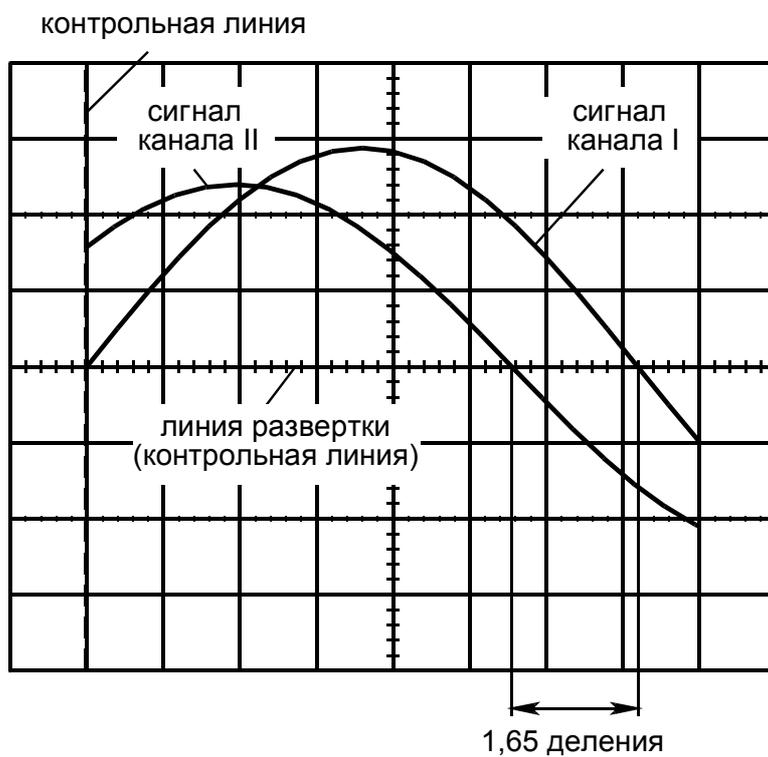
7.9.1. Первый метод – «классический» (основной)

- поставьте переключатель « **TRIGGER MODE** » в положение « **AUTO** »;
- установите переключатель « **VERT MODE** » режима работы усилителей в положение « **DUAL** »;
- установите переключатели « **AC-GND-DC** » обоих каналов в положение « **GND** »;
- ручками « **POSITION** » (« **↑↓** ») *обоих каналов* совместите линии развертки с центральной горизонтальной линией шкалы экрана;
- переведите переключатели « **AC-GND-DC** » обоих каналов в положение « **AC** » или « **DC** ».

Примечание: для НЧ сигналов частотой менее 50 Гц следует использовать положение « **DC** »;



а)



б)

Рис. 3.23. Измерение разности фаз двух синусоидальных сигналов «классическим» методом

- подайте опорный (как правило, *входной*) сигнал на гнездо « **CH 1 (X)** » канала I, а исследуемый – на гнездо « **CH 2 (Y)** » канала II;
- установите переключатель « **SOURCE** » (источник синхронизации) в положение « **CH 1** » – *синхронизация первым каналом*;
- поставьте переключатель полярности синхронизирующего сигнала « **SLOPE** » в положение « + »;
- ручкой « **LEVEL** » добейтесь устойчивого изображения сигналов;
- переключателями « **VOLTS/DIV** » и ручками регулировки усиления « **VARIABLE** » установите размеры изображений сигналов обоих каналов по 5-8 делений;
- переключите переключатель « **VERT MODE** » режима работы усилителей в положение « **CH 1** » – *на экране останется только изображение сигнала, поступающего на канал I*;
- вращая ручку « **LEVEL** », установите такой режим развертки, чтобы формирование изображения начиналось с положительной полуволны в момент перехода сигнала канала I (опорной синусоиды) через нулевую линию;
- с помощью ручки « **POSITION** » (« **↔** ») совместите начало развертки с какой-либо из начальных вертикальных линий сетки в левой части экрана – рис. 3.23;

Примечание: в результате проведенных действий сформировалась декартова система координат с началом отсчета (точкой 0), совпадающим с моментом перехода опорной синусоиды через нуль из (-) в (+); таким образом, *опорной синусоиде задана нулевая начальная фаза*;

- переключателем « **TIME/DIV** » и ручкой « **SWP VAR** » (развертка плавно) установите такую скорость развертки, чтобы полупериод опорной синусоиды составлял не менее 4-х делений (но не более 10-ти);
- измерьте полупериод S опорного сигнала в делениях шкалы и определите цену деления σ :

$$\sigma = 180^\circ/S \quad [\text{градус / деление}] .$$

Примечание: на практике для упрощения расчетов полупериод опорной синусоиды целесообразно устанавливать равным 6-ти (или 9) делениям: в этом случае одно большое деление шкалы будет соответствовать 30° (20°), а одно малое – 6° (4°);

- верните переключатель « **VERT MODE** » режима работы усилителей в исходное положение « **DUAL** »;
- определите фазовый сдвиг между опорным и исследуемым сигналами в делениях шкалы – λ (дел.);

Примечание: если исследуемая синусоида сдвинута влево от начала координат, то она, очевидно, опережает опорную синусоиду, и её начальная фаза имеет положительное значение, в противном случае – отрицательное. Фазовый сдвиг (начальная фаза исследуемой синусоиды) определяется по центральной горизонтальной линии шкалы между однородными моментами перехода обеих синусоид через нуль из (-) в (+) или из (+) в (-):

– рассчитайте величину фазового сдвига в градусах:

$$\varphi = \sigma \times \lambda, [^\circ].$$

ПРИМЕР 1. Полупериод опорной синусоиды составляет 7,2 деления; исследуемая гармоника отстает от опорной на 2,3 деления (рис. 3.23, а). Следовательно, начальная фаза исследуемой синусоиды, равная сдвигу фаз между сигналами, отрицательна и составляет:

$$\varphi_1 = (-) \frac{180^\circ}{7,2 \text{ дел.}} \times 2,3 \text{ дел.} = (-) 57,5^\circ.$$

ПРИМЕР 2. Полупериод опорной синусоиды равен 7,2 деления; исследуемая синусоида опережает опорную на 1,65 деления (рис. 3.23, б). Таким образом, начальная фаза исследуемой гармоники (сдвиг фаз между синусоидами) положительна и составляет:

$$\varphi_2 = \frac{180^\circ}{7,2 \text{ дел.}} \times 1,65 \text{ дел.} = 41,25^\circ.$$

7.9.2. Второй метод (в режиме X-Y с помощью фигур Лиссажу)

Выполните следующие действия:

- поставьте переключатель « **TRIGGER MODE** » в положение « **AUTO** »;
- установите переключатель « **VERT MODE** » режима работы усилителей в положение « **DUAL** »;
- установите переключатели « **AC-GND-DC** » обоих каналов в положение « **GND** »;
- ручками « **POSITION** » (« \updownarrow ») каналов I и II совместите линии развертки с центральной горизонтальной линией шкалы экрана;
- поставьте переключатели « **AC-GND-DC** » обоих каналов в положение « **AC** » или « **DC** ».

Примечание: для низкочастотных сигналов частотой менее 50 Гц использовать положение « **DC** »;

– подайте опорный сигнал на входное гнездо « **CH 1 (X)** » канала I, а исследуемый – на гнездо « **CH 2 (Y)** » канала II;

- установите переключатель « **SOURCE** » источника синхронизации в положение « **CH 1** »;
- поставьте переключатель « **SLOPE** » полярности синхронизирующего сигнала в положение « + »;
- ручкой « **LEVEL** » установите устойчивое изображение сигналов;
- переключателями « **VOLTS/DIV** », « **VARIABLE** » и *ручками регулировки усиления « **VARIABLE** » обоих каналов* установите одинаковые размеры изображений сигналов каналов I и II (по 5-8 делений);
- установите переключатель « **TIME/DIV** » в *крайнее левое положение « X-Y »*;
- ручками « **POSITION** » « \updownarrow » и « \leftrightarrow » переместите изображение полученной фигуры Лиссажу (как правило, эллипс) *точно в центр* экрана – рис. 3.24;
- определите расстояния А и Б, как показано на рис. 3.24.

Примечание: А – это расстояние в делениях между точками пересечения полученной фигуры центральной вертикальной линией шкалы; Б – максимальный размер фигуры по вертикали в делениях;

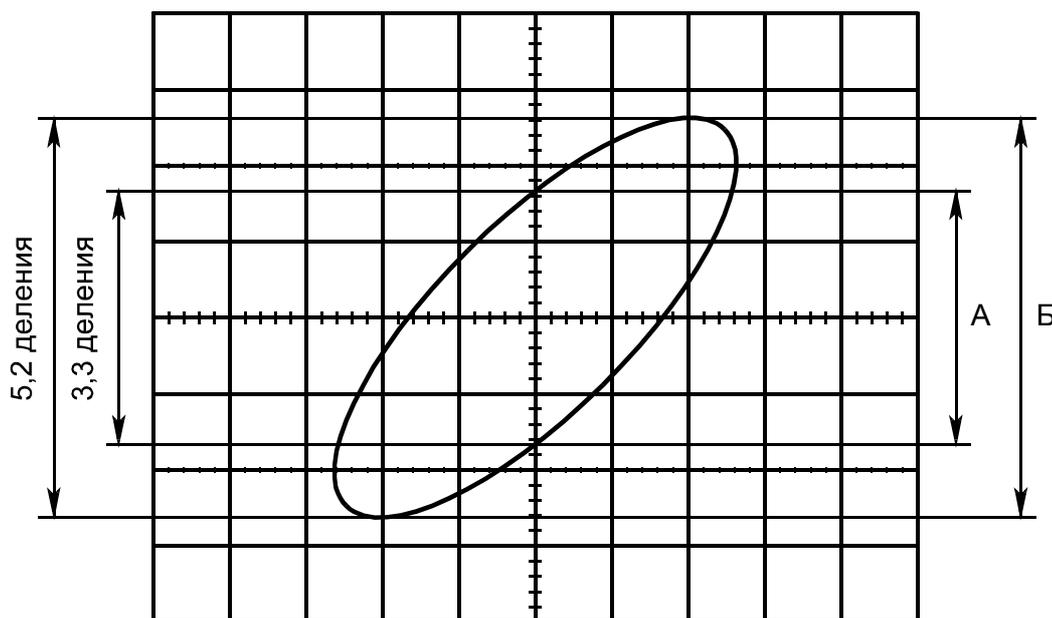


Рис. 3.24. Измерение разности фаз двух синусоидальных сигналов методом фигур Лиссажу

- рассчитайте величину фазового сдвига между рассматриваемыми синусоидами по формуле:

$$\varphi = \arcsin (A / Б), [^\circ].$$

ПРИМЕР. Для получившейся фигуры справедливо: $A = 3,3$ деления, $B = 5,2$ деления (рис. 3.24). Таким образом:

$$\varphi = \arcsin(3,3/5,2) \cong \arcsin(0,635) \cong 39,4^\circ.$$

8. Запрещенные режимы работы осциллографа и действия оператора

Соблюдение указанных ниже требований гарантирует безопасную и безаварийную эксплуатацию осциллографа GOS-620.

8.1. Эксплуатация прибора без заземления его корпуса запрещена!

8.2. Запрещается подавать электрические сигналы на входы выключенного прибора: осциллограф *включается первым, а выключается последним* из всех приборов, используемых в эксперименте.

8.3. Запрещается превышать предельные эксплуатационные параметры, указанные в техническом описании прибора:

а) **суммарное напряжение** (постоянная составляющая + амплитуда переменной), подаваемое на входы «**CH 1**» и «**CH 2**», а также вход внешней синхронизации «**EXT TRIG IN**» осциллографа, не должно превышать **300 В**, при этом частота сигналов на предельных режимах должна быть не более **1 кГц**;

б) **суммарное напряжение** (постоянная составляющая + амплитуда переменной), подаваемое на гнездо «**Z-ВХОД**», не должно превышать **30 В** при частоте сигналов до **1 кГц**;

в) нельзя подключать нагрузку менее **50 Ом** к выходу канала I – гнездо «**CH 1 Signal Output**».

8.4. Запрещено одновременное пребывание кнопок «**TRIG ALT**» и «**ALT/CHOP**» в нажатом (включенном) состоянии.

8.5. Запрещается подключение «земляных» концов сигнальных кабелей каналов I и II прибора к точкам исследуемой электрической цепи *с разными потенциалами*.

8.6. Нельзя допускать отображения на экране осциллографа неподвижной светящейся точки в режиме «**X-Y**» во избежание повреждения (прожигания) люминофора.

9. Контрольные вопросы и задания

9.1. Что такое осциллограф? Какие работы можно производить с его помощью в общем случае? Укажите назначение и функциональные возможности осциллографа GOS-620.

9.2. Пользуясь упрощенной структурной схемой, расскажите принцип действия осциллографа.

9.3. Какие функциональные узлы находятся внутри ЭЛТ? Объясните их назначение и принцип действия.

9.4. Укажите запрещенные действия пользователя и режимы работы осциллографа.

9.5. Какими функциональными различиями обладают каналы I и II тракта вертикального отклонения осциллографа?

9.6. Опишите органы управления, присоединения и контроля, расположенные (по указанию преподавателя):

- a) на левой (правой) стороне лицевой панели осциллографа;
- b) на нижней (верхней) части лицевой панели осциллографа.

9.7. Для чего используется переключатель « **TIME/DIV** »?

9.8. Подготовьте осциллограф к включению и работе с первым каналом, установив органы управления прибором в соответствующее состояние (с последующими комментариями).

9.9. Проверьте калибровку канала I (II) осциллографа – по указанию преподавателя. Продемонстрируйте результат (с комментариями).

9.10. Расскажите о возможных режимах работы входов каналов вертикального отклонения осциллографа. В каких случаях целесообразно использовать тот или иной режим?

9.11. Каково значение входного сопротивления и входной емкости усилительных трактов вертикального отклонения обоих каналов?

9.12. Укажите полосу пропускания усилительных трактов обоих каналов вертикального отклонения осциллографа в различных режимах работы.

9.13. Укажите порядок работы с прибором в случае (по усмотрению преподавателя):

- a) измерения постоянного напряжения неизвестной величины и полярности;
- b) измерения амплитуды импульсного сигнала;
- c) измерения активной длительности импульса;
- d) измерения частоты периодического сигнала;
- e) измерения разности фаз двух синусоидальных сигналов «классическим» методом;
- f) измерения разности фаз двух синусоидальных сигналов с помощью фигур Лиссажу.

9.14. Для чего используется ручка « **LEVEL** »?

9.15. Как Вы понимаете термин «синхронизация осциллографа»?

9.16. Чем отличаются автоколебательный и ждущий режимы работы генератора развертки? Как они обозначаются на лицевой панели?

9.17. Что такое «калибратор»? Укажите параметры сигналов на выходе калибратора, использующегося в осциллографе GOS-620.

9.18. Перечислите, с комментариями, возможные режимы работы каналов тракта вертикального отклонения осциллографа. Каким органом управления задаются эти режимы?

9.19. Укажите параметры сигналов, используемых для внешнего запуска осциллографа. Какие ограничения накладываются на эти сигналы?

9.20. Укажите максимально допустимые значения напряжений, которые можно подавать на различные входы осциллографа.

9.21. Каков предел допускаемой основной погрешности измерения с помощью осциллографа напряжений и временных интервалов при нормальных условиях эксплуатации? Какие требования предъявляются к величине изображения измеряемого сигнала для обеспечения этой погрешности?

9.22. Укажите нормальные и рабочие условия эксплуатации осциллографа GOS-620.

3.6. Генератор синусоидальных сигналов ГЗ-109

1. Назначение

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109 предназначен для регулировки, испытания и ремонта различных радиотехнических устройств в лабораторных и производственных условиях, в телевидении, радиовещании, акустике, технике связи и т.п.

2. Основные технические данные

2.1. Диапазон генерируемых частот генератора от 20 Гц до 200 кГц перекрывается четырьмя поддиапазонами с плавной перестройкой внутри поддиапазонов:

- I поддиапазон ($\times 1$) – от 20 Гц до 200 Гц;
- II поддиапазон ($\times 10$) – от 200 Гц до 2 кГц;
- III поддиапазон ($\times 10^2$) – от 2 кГц до 20 кГц;
- IV поддиапазон ($\times 10^3$) – от 20 кГц до 200 кГц.

2.2. Основная погрешность установки частоты не превышает:

а) $\pm (1 + 50/f_n)\%$ в поддиапазоне частот от 200 Гц до 20 кГц (II и III поддиапазоны);

б) $\pm (2 + 50/f_n)\%$ в диапазоне частот от 20 Гц до 200 Гц (I поддиапазон) и от 20 кГц до 200 кГц (IV поддиапазон), где f_n – номинальное значение частоты в герцах (Гц), устанавливаемое по шкале частот « Hz ».

2.3. Дополнительная погрешность установки частоты в зависимости от изменения нагрузки от значения холостого хода до максимального значения или при плавной регулировке опорного уровня выходного напряжения (1,5÷15) В не превышает $\pm 10 \times 10^{-4} f_n$, Гц, во всем диапазоне частот.

2.4. Генератор имеет два выхода:

– первый выход, гнездо « $\ominus \rightarrow 1$ », напряжение на котором имеет минимальные нелинейные и частотные искажения и непосредственно связано с выходом усилителя мощности генератора;

– второй выход, группа клемм « $\ominus \rightarrow 2$ », напряжение на которых характеризуется бóльшим по сравнению с напряжением на « $\ominus \rightarrow 1$ » значением коэффициентов нелинейных и частотных искажений и связано с выходом усилителя мощности через согласующий трансформатор. Применение согласующего трансформатора обеспечивает:

а) возможность гальванической развязки между нагрузкой и усилителем мощности генератора;

б) согласование выходного сопротивления генератора и сопротивления нагрузки путем изменения коэффициента трансформации трансформатора для достижения максимальной мощности, передаваемой в нагрузку;

в) возможность работы генератора на симметричную нагрузку путем объединения средних точек нагрузки и вторичной обмотки трансформатора.

2.5. Основные параметры сигнала на первом выходе « $\ominus \rightarrow 1$ »:

– наибольшее значение опорного уровня выходного напряжения при сопротивлении нагрузки 50 Ом не менее 15 В (максимальный ток в нагрузке не более 0,3 А);

– выходное напряжение должно плавно регулироваться в пределах не менее 20 дБ (в 10 раз) от своего максимального значения;

– основная приведенная погрешность установки опорного значения выходного напряжения при положении аттенюатора «**15 В**» не превышает $\pm 4 \%$;

– дополнительная погрешность установки опорного значения выходного напряжения при положении аттенюатора «**15 В**», обусловленная изменением температуры окружающей среды на каждые 10°С в диапазоне рабочих температур не превышает $\pm 2 \%$;

– предусмотрена ступенчатая регулировка выходного напряжения ступенями через 10 дБ с помощью встроенного аттенюатора 60 дБ. По-

грешность ослабления встроенного аттенюатора при активной нагрузке 50 Ом в рабочем диапазоне температур не превышает $\pm 0,5$ дБ;

– для подключения к гнезду « $\Theta \rightarrow 1$ » в комплекте генератора предусмотрен внешний аттенюатор 40 дБ. Погрешность ослабления внешнего аттенюатора при активной нагрузке 50 Ом в рабочем диапазоне температур не превышает $\pm 0,5$ дБ;

– неравномерность уровня выходного напряжения при перестройке частоты от 20 Гц до 200 кГц не превышает 5 % при сопротивлении нагрузки 50 Ом;

– коэффициент гармоник выходного сигнала при сопротивлении нагрузки 50 Ом при наибольшем опорном значении выходного напряжения не превышает:

0,5 % в диапазоне частот свыше 200 Гц до 200 кГц (II и III поддиапазоны);

1 % в диапазоне частот от 20 до 200 Гц и свыше 20 до 200 кГц (I и IV поддиапазоны).

2.6. Основные параметры сигнала на втором выходе « $\Theta \rightarrow 2$ »:

– наибольшее значение опорного уровня выходной мощности генератора при симметричных и несимметричных нагрузках 5, 50, 600 и 5000 Ом – не менее 4 Вт;

– номинальные величины выходного напряжения составляют:

для нагрузки 5 Ом – 4,5 В;

- " - 50 Ом – 15 В;

- " - 600 Ом – 50 В;

- " - 5000 Ом – 142 В;

– неравномерность уровня выходного напряжения при перестройке частоты от 20 Гц до 200 кГц при несимметричных нагрузках 5, 50, 600 и 5000 Ом не превышает соответственно ± 15 %; ± 10 %; ± 10 % и ± 25 %;

– асимметрия выходного напряжения не превышает ± 5 % при симметричных нагрузках 5, 50, 600 и 5000 Ом;

– коэффициент гармоник выходного сигнала при наибольшем опорном значении выходной мощности 4 Вт в рабочем диапазоне частот не превышает 2 %.

2.7. Генератор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 минут.

2.8. Генератор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 8 часов при сохранении своих технических характеристик в пределах норм.

2.9. Рабочие условия эксплуатации:

- электропитание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и содержанием гармоник до 5 %;
- температура окружающей среды от 278 до 313°К (от + 5 до + 40°С);
- относительная влажность воздуха до 95 % при температуре + 30°С;
- атмосферное давление $60 \div 106$ кПа ($450 \div 800$ мм. рт. ст.).

3. Устройство и принцип действия генератора

Принцип действия прибора поясняется структурной схемой, изображенной на рис. 3.25.

Задающий генератор, представляющий собой амплитудно-стабильный *RC*-автогенератор, вырабатывает синусоидальный сигнал, частота которого может регулироваться плавно-ступенчато внешними органами управления.

Этот сигнал поступает на предварительный усилитель, где усиливается по напряжению и мощности до уровня, необходимого для нормальной работы оконечных каскадов усилителя. С выхода предварительного усилителя на вход усилителя мощности сигнал поступает через регулятор выходного напряжения, представляющий собой переменный резистор, включенный по схеме потенциометра. Усилитель мощности обеспечивает получение на нагрузке 50 Ом синусоидального напряжения с действующим значением 15 В.

С выхода усилителя мощности сигнал поступает:

- на индикатор выходного уровня, представляющий собой вольтметр, шкалы которого проградуированы в действующих (среднеквадратичных) значениях напряжения и в децибелах;
- на встроенный аттенюатор (частотно-компенсированный делитель), ослабляющий выходной сигнал на 60 дБ ступенями через 10 дБ;
- на согласующий трансформатор, позволяющий гальванически развязать между собой нагрузку и усилитель мощности, согласовать выходное сопротивление генератора с сопротивлением нагрузки и обеспечить работу генератора на симметричную нагрузку.



Рис. 3.25. Структурная схема генератора ГЗ-109.

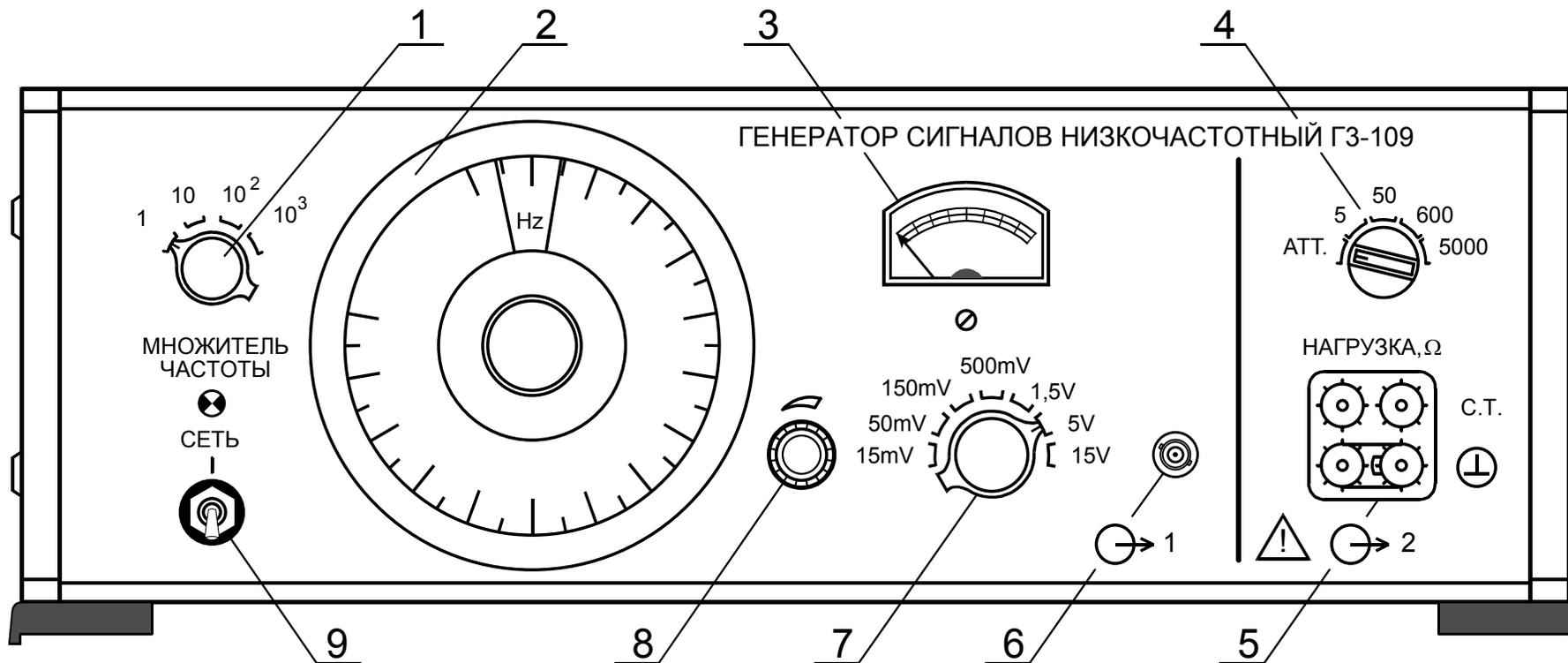


Рис. 3.26. Лицевая панель генератора ГЗ-109.

С выхода встроенного аттенюатора синусоидальный сигнал поступает на гнездо « $\ominus \rightarrow 1$ », являющееся первым выходом генератора.

С выхода согласующего трансформатора сигнал направляется на переключатель нагрузок, представляющий собой пакетный переключатель, коммутирующий выходные обмотки согласующего трансформатора. Меняя положение переключателя нагрузок, изменяют коэффициент трансформации согласующего трансформатора, обеспечивая тем самым режим согласования выходного сопротивления генератора с нагрузками 5, 50, 600 и 5000 Ом, соответственно. Выходом переключателя нагрузок является группа клемм « $\ominus \rightarrow 2$ », представляющая собой второй выход генератора.

Источник питания обеспечивает все функциональные блоки генератора необходимыми питающими напряжениями.

4. Описание органов управления, присоединения и контроля

На лицевой панели прибора, представленной на рис. 3.26, расположены:

1 – ручка переключателя «**МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ**» – для переключения поддиапазонов генерируемых частот;

2 – шкала и ручка шкалы частот «**Hz**» – для плавной установки частоты в пределах каждого поддиапазона;

3 – шкалы стрелочного индикатора выходного уровня – для отсчета уровня выходного сигнала генератора;

4 – ручка переключателя «**НАГРУЗКА, Ω** » – для согласования выходного сопротивления генератора с сопротивлением нагрузки;

5 – группа малогабаритных клемм « $\ominus \rightarrow 2$ » – выход 2 генератора;

6 – разъем гнезда « $\ominus \rightarrow 1$ » – выход 1 генератора;

7 – ручка встроенного аттенюатора 60 дБ «**15 mV**» ÷ «**15 V**» – для ступенчатой регулировки выходного сигнала. Цифра, напротив которой находится указатель ручки, определяет *максимально возможное значение выходного напряжения генератора на выходе* « $\ominus \rightarrow 1$ »;

8 – ручка потенциометра «» – для плавной установки уровня выходного сигнала;

9 – тумблер включения–выключения генератора «**СЕТЬ**» и индикаторная лампа включения.

На задней стенке прибора расположены:

- встроенный счетчик времени наработки генератора;
- тумблер переключения напряжения питающей сети прибора;
- вставка плавкая 3 А в защитном корпусе;

- клемма защитного заземления «  »;
- шнур питания.

5. Подготовка к работе

Для подготовки генератора к работе необходимо:

- заземлить прибор (соединить проводником клемму «  », расположенную на задней стенке генератора, с контуром защитного заземления);
- включить вилку сетевого шнура в сеть 220 В, 50 Гц;
- установить органы управления в исходное положение:
 - ручку «  » – в крайнее левое положение;
 - переключатель « **МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ** » – в положение « **10** »;
 - ручку шкалы частот « **Hz** » – в положение « **100** »;
 - переключатель « **НАГРУЗКА, Ω** » – в положение « **АТТ.** »;
- включить прибор, переключив тумблер « СЕТЬ » в верхнее положение « I ». При этом должна загореться сигнальная лампочка. Для обеспечения точностных параметров генератора необходимо дать ему прогреться в течение 15 минут. По истечении этого времени **ГЕНЕРАТОР ГОТОВ К РАБОТЕ**.

6. Порядок работы, проведение измерений

6.1. Подготовить генератор к работе в соответствии с предыдущим разделом.

6.2. С помощью ручки плавной установки частоты и переключателя « **МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ** » установить требуемую частоту выходного сигнала.

Значения частот каждого поддиапазона приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Положение переключателя « МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ »	Значение частоты поддиапазона, Гц
×1	20 – 200
×10	200 – 2000
×10 ²	2000 – 20000
×10 ³	20000 – 200000

ВНИМАНИЕ! *Время между переключениями « МНОЖИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ » с поддиапазона на поддиапазон должно быть НЕ МЕНЕЕ 2-х СЕКУНД!*

При переключении частотных поддиапазонов и плавной перестройке частоты время установления выходного напряжения генератора составляет до 10 секунд.

6.3. Выбрать выход генератора (1-й или 2-й), с которого сигнал будет подаваться на нагрузку.

ВНИМАНИЕ!

Второй выход « $\ominus \rightarrow 2$ » необходимо использовать в случаях:

- если требуется гальваническая развязка между нагрузкой и усилителем мощности генератора;
- если нагрузка носит симметричный характер и требует симметричного противофазного сигнала;
- если сопротивление нагрузки меньше 50 Ом (до 5 Ом);
- если на сопротивлении нагрузки, большем 50-ти Ом, требуется получить сигнал, превышающий 15 В;
- если в нагрузку с сопротивлением $5 \div 5000$ Ом необходимо передать максимально возможную мощность.

Во всех остальных случаях целесообразно использовать первый выход « $\ominus \rightarrow 1$ », учитывая, что сигнал с этого выхода характеризуется наименьшими нелинейными и частотными искажениями!

6.4. Использование первого выхода « $\ominus \rightarrow 1$ »:

- переключатель «**НАГРУЗКА, Ω** » поставить в положение «**АТТ.**»;
- подключить кабель, входящий в комплект прибора, к гнезду « $\ominus \rightarrow 1$ » либо непосредственно, либо через балластную нагрузку 50 Ом, также входящую в состав генератора. Использование балласта необходимо для обеспечения точностных параметров генератора в случае, когда входное сопротивление цепи, на которую будет работать генератор, существенно превышает 50 Ом (более 500 Ом). Если входное сопротивление цепи лежит в диапазоне 50 Ом \div 500 Ом, то кабель подключается к гнезду « $\ominus \rightarrow 1$ » непосредственно;

ВНИМАНИЕ! ПОДКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕНЕЕ 50 Ом К ВЫХОДНОМУ ГНЕЗДУ « $\ominus \rightarrow 1$ » ГЕНЕРАТОРА НЕДОПУСТИМО!

- ручку встроенного аттенюатора 60 дБ «**15 mV \div 15 V**», определяющую максимальную величину выходного сигнала генератора на выходе « $\ominus \rightarrow 1$ », установить в положение, при котором выходное напряжение будет наиболее близко к требуемому значению, превышая его.

Например, если требуется получить на выходе 130 мВ, ручка аттенюатора ставится в положение « **150 mV** » (2,2 В – « **5 V** », и т.д.);

– вращая ручку потенциометра «  » и отслеживая уровень выходного сигнала по стрелочному прибору, установить точно требуемое значение выходного напряжения генератора. Следует учесть, что цена деления шкалы измерительного прибора меняется в зависимости от положения ручки встроенного аттенюатора 60 дБ: максимальное значение показаний прибора равняется напряжению, на которое установлен указатель ручки аттенюатора.

Выходное напряжение можно отсчитывать либо в вольтах, либо в децибелах. Перевод децибел в отношении напряжений приведен в таблице 3.7.

Таблица 3.7

Децибелы	Отношение напряжений	Децибелы	Отношение напряжений
0	1	20	10^{-1}
1	0,8913	30	$3,162 \times 10^{-2}$
2	0,7943	40	10^{-2}
3	0,7079	50	$3,162 \times 10^{-3}$
4	0,6310	60	10^{-3}
5	0,5623	70	$3,162 \times 10^{-4}$
6	0,5012	80	10^{-4}
7	0,4467	90	$3,162 \times 10^{-5}$
8	0,3981	100	10^{-5}
9	0,3548	110	$3,162 \times 10^{-6}$
10	0,3162	120	10^{-6}

В случае, когда необходимо получить на выходе генератора сигнал, существенно меньший 15 мВ, целесообразно использовать входящий в состав прибора внешний аттенюатор 40 дБ, ослабляющий напряжение в 100 раз. Внешний аттенюатор подключается к гнезду «  1 » генератора, к аттенюатору 40 дБ подсоединяется балластная нагрузка 50 Ом (если необходимо), к которой подключается сигнальный кабель. Для получения требуемого значения выходного напряжения необходимо повторить последовательность действий по пункту 5.4, учитывая при этом, что величина выходного сигнала в 100 раз меньше значения, отсчитываемого по шкале измерительного прибора;

– выходные концы кабеля подключить к электрической цепи, на которую будет работать генератор («земляной» конец – к «земляной» ши-

не цепи, сигнальный конец – к гнезду МП, электрически связанному с точкой ЭЦ, в которую необходимо подать сигнал).

6.5. Использование второго выхода « $\ominus \rightarrow 2$ »:

– ручку потенциометра «» установить в крайнее левое положение;

– ручку встроенного аттенюатора 60 дБ «**15 mV**» ÷ «**15 V**» установить в положение «**15 V**»;

– переключатель «**НАГРУЗКА, Ω** » установить в положение, соответствующее (наиболее близкое) величине внешней нагрузки;

– освободить гнездо « $\ominus \rightarrow 1$ » (отключить внешний аттенюатор 40 дБ, балластную нагрузку 50 Ом, сигнальный кабель);

– с помощью соединительных проводников, входящих в комплект прибора, присоединить внешнюю нагрузку и внешний (!) измерительный прибор к группе клемм второго выхода « $\ominus \rightarrow 2$ ».

Если нагрузка симметрична (например, вход двухтактного усилителя мощности), то:

а) клемма «**С.Т.**», на которую выведена средняя точка вторичной обмотки согласующего трансформатора, подключается к клемме « \perp », соединенной с корпусом генератора, с помощью перемычки, входящей в комплект прибора;

б) нагрузка подсоединяется к двум оставшимся клеммам;

в) средняя точка нагрузки соединяется с клеммой «**С.Т.**»;

г) внешний измерительный прибор подсоединяется между клеммой « \perp » и одной из клемм, к которым подключена нагрузка.

Если нагрузка несимметрична:

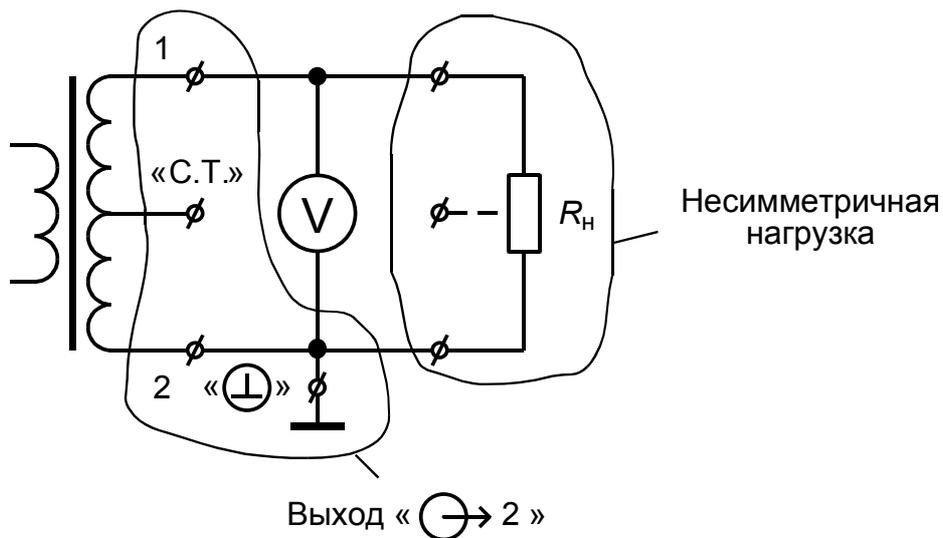
а) средняя точка нагрузки и клемма «**С.Т.**» отсоединяются от корпуса генератора (клеммы « \perp ») и остаются неподключенными;

б) внешняя нагрузка подключается к двум оставшимся клеммам выхода « $\ominus \rightarrow 2$ »;

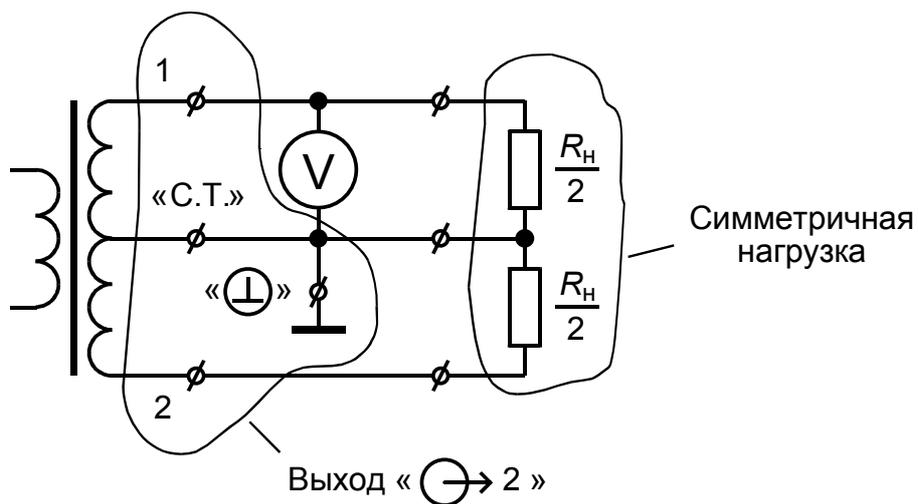
в) одна из клемм, к которым подключена нагрузка, соединяется с клеммой « \perp » с помощью перемычки, входящей в комплект генератора;

г) внешний измерительный прибор включается между клеммой « \perp » и второй клеммой, к которой подключена нагрузка.

Схемы подключения внешней нагрузки и внешнего измерительного прибора к выходу « $\ominus \rightarrow 2$ » генератора показаны на рис. 3.27.



а)



б)

Рис. 3.27. Схемы подключения внешней нагрузки и измерительного прибора к клеммам выхода «⊖→2»

Надо отметить, что при необходимости *гальванической развязки* между нагрузкой и усилителем мощности генератора клемму «⊥» нужно исключить из описанных выше соединений;

– вращая ручку потенциометра «» и отслеживая по *внешнему* измерительному прибору уровень выходного сигнала, установить требуемое значение выходного напряжения генератора. Следует учесть, что в случае симметричной нагрузки внешний вольтметр показывает

половинное выходное напряжение, выделяющееся на половине нагрузки $R_n / 2$.

ВНИМАНИЕ! Необходимо соблюдать особую осторожность при использовании сигнала с выхода « $\ominus \rightarrow 2$ » (об этом предупреждает символ \triangle , установленный на лицевой панели рядом с выходными клеммами), так как на нагрузке 5000 Ом номинальная величина выходного напряжения составляет при этом 142 В, а на нагрузке 600 Ом – 50 В!

Подключение нагрузок к клеммам следует производить при выведенном потенциометре « \curvearrowright »!

7. Запрещенные режимы и действия

Обязательное соблюдение приведенных ниже требований обеспечит безопасную эксплуатацию прибора.

7.1. Эксплуатация прибора без его заземления запрещена!

7.2. Запрещается подключение нагрузки менее 50 Ом и 5 Ом к первому и второму выходам генератора, соответственно!

7.3. Подключение нагрузки к выходу следует производить в крайнем левом положении потенциометра 8 (рис. 3.26).

7.4 Временной интервал между переключениями переключателя поддиапазонов «**МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ**» ***должен составлять не менее 2 сек!***

7.4. Следует соблюдать особую осторожность при работе со вторым выходом генератора на нагрузках 600 Ом и 5000 Ом, поскольку номинальное выходное напряжение при этом составляет 50 В и 142 В, соответственно (об этом предупреждает символ «восклицательный знак в треугольнике», изображенный рядом с выходными клеммами).

7.5. Запрещается одновременное использование I и II выходов генератора.

8. Контрольные вопросы и задания

8.1. Укажите назначение и функциональные возможности генератора ГЗ - 109.

8.2. Расскажите принцип действия генератора по структурной схеме.

8.3. Опишите органы управления, присоединения и контроля, расположенные на передней панели генератора.

8.4. Укажите запрещенные действия пользователя и режимы работы генератора ГЗ – 109.

8.5. Подготовьте генератор к включению, установив органы управления, присоединения и контроля в исходное состояние.

8.6. Определите основную и дополнительную погрешность установки частоты генератора, если ручка шкалы частот « Hz » установлена в положение « 170 », а « **МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ** » находится в положении « $\times 10^2$ ».

8.7. Каково минимально допустимое сопротивление нагрузки, на которое может работать генератор при использовании первого (второго) выхода?

8.8. В каком диапазоне регулируется плавно величина выходного напряжения? Каково ее максимально возможное значение?

8.9. Каково значение коэффициента гармоник выходного напряжения на первом (втором) выходе генератора в худшем случае?

8.10. Каким образом на первом выходе генератора получить сигнал величиной 1 мВ?

8.11. Поясните назначение переключателя « **НАГРУЗКА, Ω** ».

8.12. В каких случаях целесообразно использовать первый (второй) выход генератора?

8.13. Изобразите схему коммутации клемм второго выхода при работе генератора на симметричную (несимметричную) нагрузку.

8.14. Каким образом на практике увеличивается «жесткость» внешней характеристики генератора?

8.15. Укажите порядок работы с прибором в случае:

- а) использования первого выхода генератора;
- б) использования второго выхода генератора при симметричной (несимметричной) нагрузке.

3.7. Генератор прямоугольных импульсов Г5-54

1. Назначение

Генератор импульсов Г5-54 предназначен для формирования прямоугольных импульсов, используемых при исследовании, отладке и настройке радиотехнических устройств в различных отраслях народного хозяйства и научных исследованиях.

2. Основные технические данные

2.1. Генератор формирует видеоимпульсы переключаемой полярности прямоугольной формы в диапазоне длительностей основных импульсов от 0,5 до 1000 мкс. Диапазон длительностей 0,1 ÷ 0,5 мкс является дополнительным.

2.2. Длительность основных импульсов $t_{и}$ регулируется плавно-ступенчато (8 поддиапазонов) от 0,1 до 1000 мкс и устанавливается в пределах:

(0,1÷0,3) мкс; (0,3÷1,0) мкс; (1,0÷3,0) мкс; (3,0÷10,0) мкс;
(10,0÷30,0) мкс; (30,0÷100,0) мкс; (100,0÷300,0) мкс;
(300,0÷1000,0) мкс.

2.3. Диапазон регулировки длительности импульсов при скважности $Q = T/t_{и}$ (T – период импульсного процесса) более 5 является основным. Погрешность установки длительности основных импульсов в основном диапазоне не превышает $\pm(0,1t_{и}+0,03)$ мкс. Поддиапазон регулировки длительности основных импульсов при скважности менее 5 (до 2) является дополнительным. Погрешность установки длительности в дополнительном поддиапазоне не нормируется.

2.4. Максимальная амплитуда основных импульсов U_{max} на внешней нагрузке 500 Ом с параллельной емкостью 50 пФ не менее 50 В.

2.5. Обеспечивается:

а) плавная регулировка амплитуды основных импульсов от U_{max} до $0,3U_{max}$;

б) ступенчатое ослабление амплитуды основных импульсов с коэффициентами (K) « $\times 1$ »; « $\times 0,3$ »; « $\times 0,1$ »; « $\times 0,03$ »;

в) дополнительное ослабление амплитуды основных импульсов в 10 и 100 раз (дополнительные выходы « $\odot \rightarrow 1:10$ », « $\odot \rightarrow 1:100$ ») при коэффициенте ослабления « $0,03$ ».

2.6. Погрешность установки амплитуды в пределах плавно-ступенчатой регулировки не превышает $\pm(0,1U_{max}+K \times 1)$ В, где K – коэффициент ступенчатого ослабления.

2.7. Длительность фронта и среза основных импульсов на внешней нагрузке 500 Ом с параллельной емкостью 50 пФ, подключенной к концу кабеля длиной 400 мм, не превышает соответственно 50 и 100 нс при скважности не менее 5; при скважности менее 5 (до 2) – соответственно 75 и 120 нс. При длине кабеля 1000 мм длительность фронта и среза не превышает соответственно 75 и 100 нс при скважности не менее 5, а при скважности менее 5 (до 2) – соответственно 100 и 150 нс.

2.8. Неравномерность вершины импульса и напряжения в паузе при работе на внешнюю нагрузку 500 Ом с параллельной емкостью 50 пФ не превышает 5 % от амплитуды при скважности не менее 5, а при скважности от 5 до 2 неравномерность не нормируется.

2.9. Выбросы напряжения на вершине и в паузе не превышают 5 % от амплитуды импульса.

2.10. Кроме основных, генератор формирует синхроимпульсы со следующими параметрами:

- a) полярность переключаемая (положительная и отрицательная);
- b) длительность фиксированная в пределах $(0,3 \div 1,0)$ мкс;
- c) максимальная амплитуда не менее 10 В (но не более 15 В) на нагрузке 1 кОм с параллельной емкостью 50 пФ;
- d) длительность фронта не более 0,1 мкс;
- e) выброс и неравномерность вершины не более 20 % от амплитуды;
- f) длительность среза не нормируется;
- g) неравномерность напряжения в паузе не более 10 % от амплитуды синхроимпульса;
- h) выброс напряжения в паузе не более 20 % от амплитуды синхроимпульса.

2.11. Временной сдвиг (задержка) основного импульса относительно синхроимпульса $t_{\text{зад}}$ регулируется плавно-ступенчато от 0,1 до 1000 мкс (8 поддиапазонов) и устанавливается в пределах:

- $(0,1 \div 0,3)$ мкс; $(0,3 \div 1,0)$ мкс; $(1,0 \div 3,0)$ мкс; $(3,0 \div 10,0)$ мкс;
 $(10,0 \div 30,0)$ мкс; $(30,0 \div 100,0)$ мкс; $(100,0 \div 300,0)$ мкс;
 $(300,0 \div 1000,0)$ мкс.

Величина $t_{\text{зад}}$ не должна превышать половины периода ($T/2$) повторения основных импульсов.

2.12. Обеспечивается установка нулевого временного сдвига с помощью специальной кнопки « 0 ».

2.13. Основной диапазон регулировки временного сдвига $t_{\text{зад}} \leq 0,2T$ при величине временного сдвига не менее 0,2 периода повторения. Погрешность установки временного сдвига в основном диапазоне не превышает $\pm(0,1 t_{\text{зад}} + 0,03 \text{ мкс})$.

Поддиапазон регулировки временного сдвига при его величине более $0,2T$ (до $0,5T$) является дополнительным. Погрешность установки $t_{\text{зад}}$ в дополнительном поддиапазоне не нормируется.

2.14. Генератор может работать в следующих режимах:

- a) автоколебательный (с внутренним запуском);
- b) ждущий (с внешним запуском);
- c) в режиме однократного запуска (с помощью механического однократного пускателя - кнопки).

2.15. Частота повторения импульсов (f) при внутреннем запуске регулируется плавно-ступенчато (8 поддиапазонов) от 10 Гц до 100 кГц и устанавливается в пределах:

- (10,0÷30,0) Гц; (30,0÷100,0) Гц; (100,0÷300,0) Гц;
- (300,0÷1000,0) Гц; (1,0÷3,0) кГц; (3,0÷10,0) кГц;
- (10,0÷30,0) кГц; (30,0÷100,0) кГц.

2.16. Погрешность установки частот повторения импульсов не превышает $\pm 0,1 f$.

2.17. Внешний запуск генератора обеспечивается:

- a) импульсами длительностью от 0,3 до 5 мкс с амплитудой от 1 до 20 В при длительности фронта не более 0,3 мкс и частоте повторения до 100 кГц;
- b) синусоидальным напряжением амплитудой от 5 до 20 В при частоте от 50 Гц до 100 кГц;
- c) механическим однократным пускателем - кнопкой.

2.18. Параметры входных и выходных высокочастотных (ВЧ) гнезд прибора:

- a) суммарное напряжение (постоянное напряжение и напряжение пусковых сигналов), подаваемое на гнездо « $\ominus \rightarrow$ » (внешний запуск), не должно превышать 20 В;
- b) гнезда выходов основных импульсов « $\ominus \rightarrow$ » не допускают подключения к цепям с наличием постоянных напряжений;
- c) гнездо выхода синхроимпульсов « $\ominus \rightarrow$ » допускает подключение к цепям с постоянным напряжением не более 10 В;
- d) входное сопротивление гнезда « $\ominus \rightarrow$ » (внешний запуск) – не менее 1 кОм с параллельной емкостью не более 50 пФ;
- e) выходное сопротивление гнезда « $\ominus \rightarrow$ » выхода синхроимпульсов – не более 600 Ом;
- f) выходное сопротивление гнезда « $\ominus \rightarrow 1:1$ » выхода основных импульсов:
 - не более 90 Ом в положении ступенчатого множителя « $\times 1$ »;

– не более 200 Ом в остальных положениях ступенчатого множителя;

г) выходное сопротивление гнезд « $\text{⊕} \rightarrow 1:10$ », « $\text{⊕} \rightarrow 1:100$ » дополнительных выходов основных импульсов – не более 50 Ом \pm 5%.

2.19. Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм после времени самопрогрева в течение 15 мин.

2.20. Условия эксплуатации:

- электропитание от сети 50 Гц, 220 В \pm 10 %;
- окружающая температура - (283 \div 308) К (от + 10 до + 35 °С);
- относительная влажность - до 80 % при + 25 °С;
- атмосферное давление – 100 \pm 4 кПа (750 \pm 30 мм. рт. ст.).

3. Устройство и принцип действия генератора

Принцип действия генератора поясняется структурной схемой, представленной на рис. 3.28.

Генератор может работать в любом из трех возможных режимов: внутреннего запуска (автоколебательном), внешнего запуска и разового запуска.

В режиме внутреннего запуска задающий генератор, работающий в автоколебательном режиме, подключен к входу схемы внешнего и разового запуска. Тактовые импульсы с выхода генератора, частота повторения которых может регулироваться плавно-ступенчато, запускают формирователи схемы внешнего запуска, в результате чего на выходе этой схемы появляются нормализованные по амплитуде и длительности импульсы, синхронизированные с тактовыми. Эти сигналы поступают одновременно на схему задержки основного импульса и схему формирования импульсов синхронизации.

Схема формирования импульсов синхронизации формирует синхроимпульсы обеих полярностей, плавно регулируемые по амплитуде. Через коммутирующий элемент синхроимпульсы поступают на выходное гнездо прибора.

Схема задержки основного импульса выдает импульс с регулируемым временным сдвигом, а также обеспечивает режим нулевого временного сдвига основного импульса относительно импульса синхронизации прибора. Импульс с выхода схемы задержки запускает схему формирования длительности основных импульсов, которая выдает стартовый и стоповый импульсы с регулируемым временным сдвигом между ними. Поступая на схему выходного формирователя и регулировки

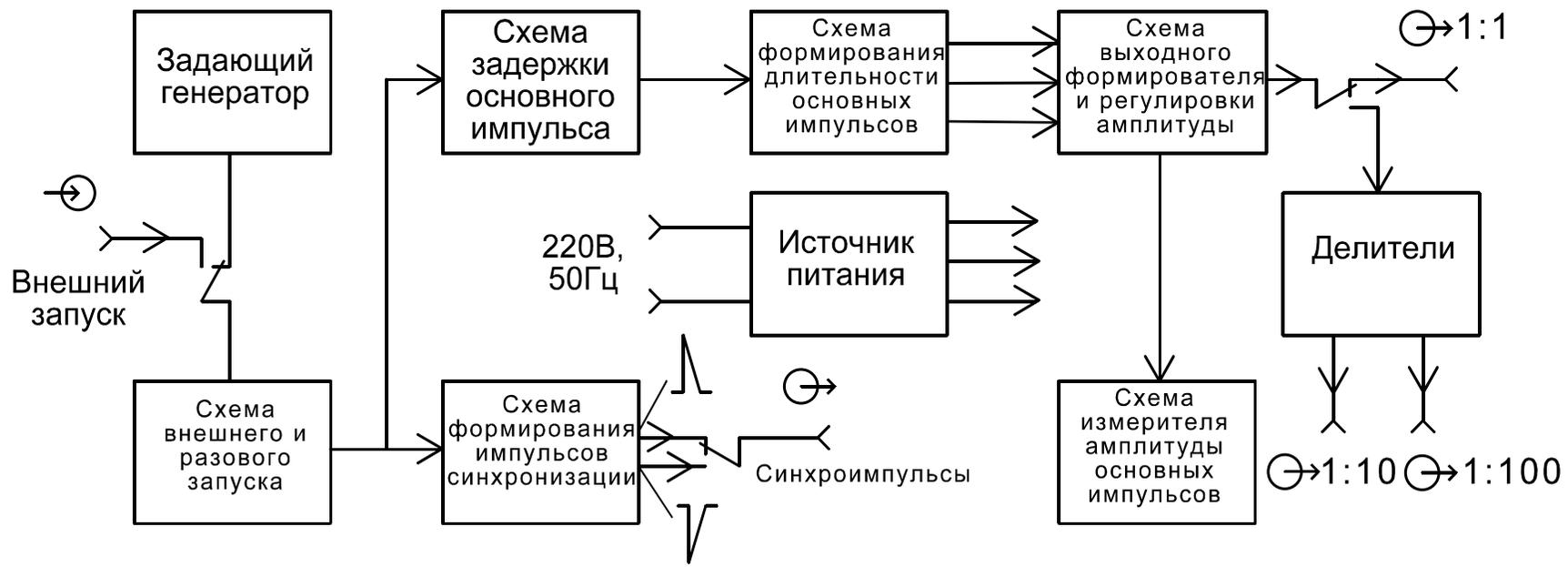


Рис. 3.28. Структурная схема генератора Г5-54.

амплитуды, стартовый импульс определяет начало (фронт) выходного основного импульса, а стоповый - его конец (срез). Кроме стартового и стопового импульсов, на схему выходного формирователя поступает также импульс срыва, совпадающий по времени со стоповым импульсом и обеспечивающий быстрое восстановление схемы выходного формирователя в исходное состояние.

Схема выходного формирователя и регулировки амплитуды обеспечивает формирование прямоугольных импульсов с требуемыми параметрами и плавно-ступенчатую регулировку их амплитуды в пределах от максимального значения U_{max} до 0,01 ее величины. Через коммутационный элемент выходной импульс со схемы выходного формирователя поступает или на выходное гнездо « $\ominus \rightarrow 1:1$ », или на делители, обеспечивающие дополнительное ослабление амплитуды импульсов в 10 и 100 раз.

Измерение амплитуды выходных импульсов в пределах плавной регулировки осуществляется с помощью схемы измерителя амплитуды.

Источник питания обеспечивает прибор необходимыми питающими напряжениями.

В режимах внешнего запуска и разового пуска задающий генератор отключается от схемы внешнего запуска. Прибор переходит в ждущий режим, при котором выходные импульсы отсутствуют, если нет запускающих сигналов, подаваемых на прибор извне. Для подачи внешних запускающих сигналов служит специальное гнездо « $\ominus \rightarrow$ », соединяемое кабелем с внешним источником запускающих импульсов с требуемыми параметрами. Кроме того, внешний запускающий сигнал формируется при нажатии кнопки разового пуска « $\sqrt{\text{||}}$ », имеющейся на лицевой панели прибора. В зависимости от выбранного режима работы вход схемы внешнего и разового запуска подключается либо к гнезду « $\ominus \rightarrow$ », либо к кнопке разового пуска. При поступлении запускающего сигнала схема внешнего запуска формирует нормализованные по амплитуде и длительности импульсы, и далее устройство работает точно так же, как при внутреннем запуске. Таким образом, на каждый внешний запускающий сигнал генератор вырабатывает один синхроимпульс и один основной, сдвинутый относительно синхроимпульса на заданное время задержки.

4. Описание органов управления, присоединения и контроля

На лицевой панели прибора, изображенной на рис. 3.29, расположены:

- 1 – тумблер «СЕТЬ» и индикатор включения генератора;

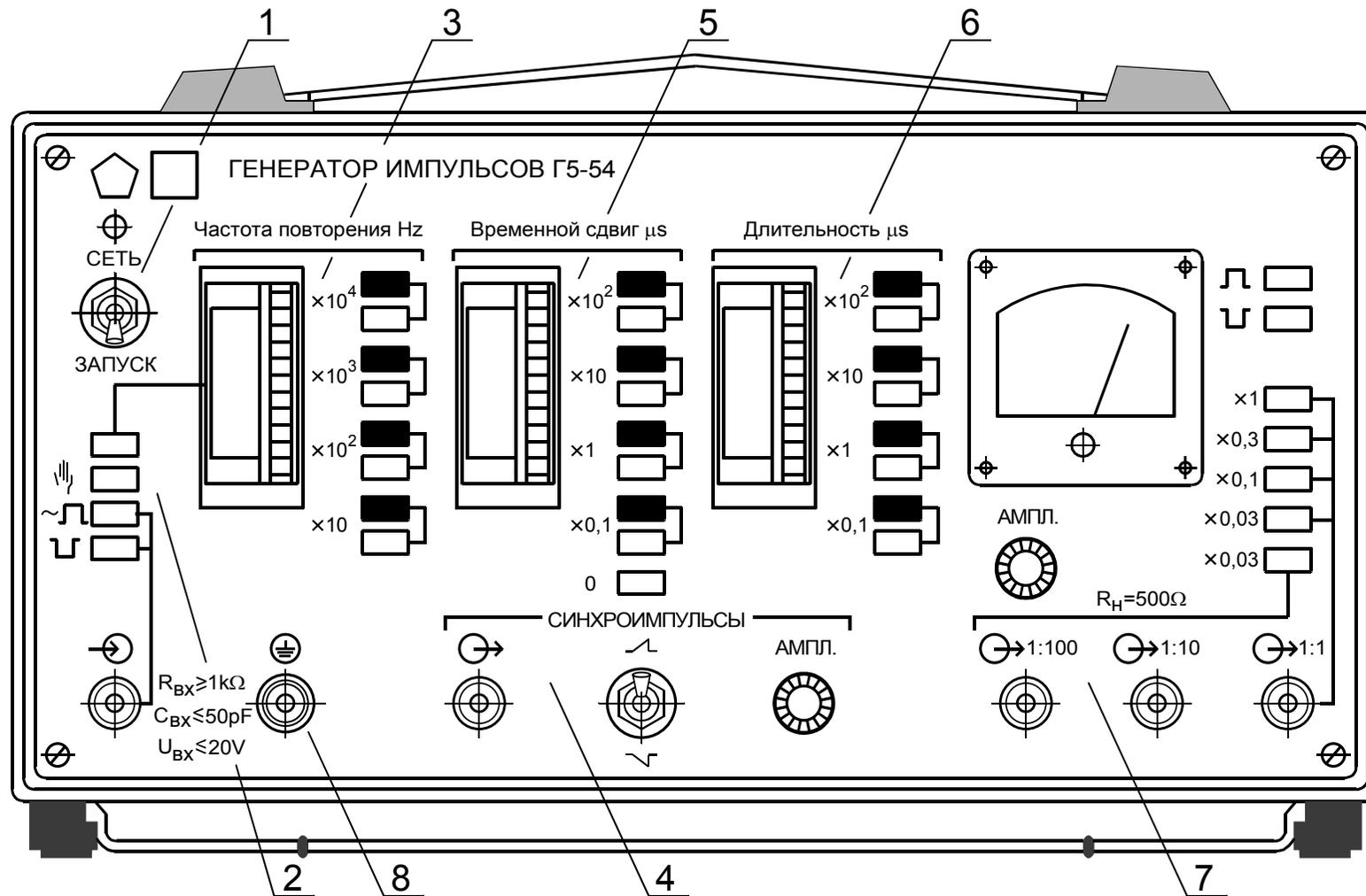


Рис. 3.29. Лицевая панель генератора Г5-54

2 – группа кнопок « **Запуск** »:

– при нажатой верхней кнопке генератор работает в режиме *внутреннего запуска* (автоколебательный режим);

– нажатие кнопки « \sqcup » переводит генератор в режим *внешнего запуска*, который осуществляется внешним отрицательным импульсом;

– при нажатой кнопке « $\sim \sqcup$ » запуск прибора производится *внешним* положительным импульсом или синусоидальным сигналом;

– кнопка « \sqcup » – для *однократного* (ручного) запуска генератора.

При *каждом* нажатии кнопки прибор генерирует *один основной и один синхроимпульс* с параметрами, заданными органами управления;

3 – группа органов управления « **ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ** », содержащая шкальное устройство (барабан) для плавной регулировки частоты повторения генерируемых импульсов и переключатель поддиапазонов частоты. *Цвет кнопки переключателя соответствует цвету шкалы плавной регулировки*, по которой необходимо вести отсчет;

4 – группа « **СИНХРОИМПУЛЬСЫ** » – выходное гнездо синхроимпульса, переключатель его полярности и регулятор амплитуды синхроимпульсов « **АМПЛ** »;

5 – группа « **ВРЕМЕННОЙ СДВИГ** », содержащая шкальное устройство (барабан) плавной регулировки *временного сдвига основного импульса относительно синхроимпульса* и переключатель поддиапазона временного сдвига. *Цвет кнопки переключателя соответствует цвету шкалы плавной регулировки*, по которой необходимо вести отсчет;

6 – группа « **ДЛИТЕЛЬНОСТЬ** », содержащая шкальное устройство (барабан) плавной регулировки длительности основного импульса и переключатель поддиапазонов длительности основных импульсов. *Цвет кнопки переключателя соответствует цвету шкалы плавной регулировки*, по которой необходимо вести отсчет;

7 – группа выхода основных импульсов:

а) выходные гнезда « $\odot \rightarrow 1:1$ », « $\odot \rightarrow 1:10$ » и « $\odot \rightarrow 1:100$ »;

б) переключатель полярности основных импульсов;

с) ручка плавной регулировки амплитуды « **Ампл** »;

д) переключатель делителя амплитуды основного импульса;

е) вольтметр, показывающий *амплитуду* основного импульса (*отсчет по шкале измерительного прибора производится с учетом включенного делителя амплитуды и коэффициента деления выходного гнезда*);

8 – клемма, соединенная с корпусом прибора.

5. Подготовка к работе

При подготовке к работе необходимо:

– заземлить прибор (соединить проводником клемму « \oplus », расположенную на задней панели генератора, с контуром защитного заземления);

– убедиться в наличии требуемых внешних условий (температура, влажность, напряжение сети);

– подключить внешнюю нагрузку 500 Ом, входящую в комплект генератора, к выходному гнезду « $\ominus \rightarrow 1:1$ »;

– подключить кабель, входящий в комплект прибора, к одному из выходных гнезд внешней нагрузки;

– штекеры присоединительных концов кабеля ввести в гнезда наборного поля («земляной» конец кабеля – **красный провод** – подключить к «земляной» шине, «сигнальный» конец – **синий провод** – к гнезду одной из свободных триад);

– нажать верхнюю кнопку переключателя «**ЗАПУСК**»;

– нажать черную кнопку « $\times 10^4$ » переключателя «**ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ**» и установить по черной шкале частоту 100 кГц;

– нажать кнопку «**0**» переключателя «**ВРЕМЕННОЙ СДВИГ**»;

– нажать белую кнопку « $\times 0,1$ » переключателя «**ДЛИТЕЛЬНОСТЬ**» и установить по белой шкале длительность 0,1 мкс;

– нажать кнопку « $\times 1$ » переключателя амплитуды основного импульса;

– ручку «**АМПЛ**» регулировки амплитуды основного импульса повернуть влево до упора;

– задать полярность основного импульса нажатием кнопки «**Л**» или «**П**»;

– включить прибор (тумблер «**СЕТЬ**» переключить в верхнее положение) и дать ему прогреться в течение 15 минут;

– подключить входной кабель работающего осциллографа к соответствующим гнездам наборного поля, подав выходной сигнал генератора на вход усилителя вертикального отклонения. На экране осциллографа должны наблюдаться прямоугольные импульсы соответствующей полярности длительностью 0,1 мкс с частотой повторения 100 кГц и амплитудой $(17 \div 20)$ В. Если в дальнейшем наблюдение выходного сигнала

генератора не планируется, отключить от соответствующих гнезд наборного поля входной кабель осциллографа. **Генератор готов к работе.**

6. Порядок работы

6.1. Подготовить прибор к работе в соответствии с предыдущим разделом.

6.2. **Использование генератора, работающего в режиме внутреннего запуска:**

- нажать самую верхнюю кнопку переключателя « **ЗАПУСК** »;
- установить кнопками и шкальным устройством « **ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ** » необходимую частоту повторения импульсов;
- кнопками и шкальным устройством « **ВРЕМЕННОЙ СДВИГ** » установить необходимый временной сдвиг основного импульса прибора относительно синхроимпульса. Если временной сдвиг не нужен, **обязательно** нажать кнопку « **0** » переключателя « **ВРЕМЕННОЙ СДВИГ** »;
- кнопками и шкальным устройством « **ДЛИТЕЛЬНОСТЬ** » установить необходимую длительность основных импульсов прибора.

ПРИ ЭТОМ МИНИМАЛЬНАЯ СКВАЖНОСТЬ

ДОЛЖНА БЫТЬ НЕ МЕНЕЕ ДВУХ!;

- кнопками « **Л** », « **П** » установить необходимую полярность основных импульсов;
- кнопками делителя амплитуды (« **×1** »; « **×0,3** »; « **×0,1** »; « **×0,03** ») и ручкой « **АМПЛ** » плавной регулировки амплитуды основных импульсов установить по шкале вольтметра необходимую амплитуду импульсов. При этом, если амплитуда должна быть не менее 0,5 В, то выходной сигнал необходимо снимать с гнезда « **⊕ 1:1** ». Если же требуемая амплитуда менее 0,5 В, то выходной сигнал следует снимать с гнезда « **⊕ 1:10** » или « **⊕ 1:100** ». В этом случае необходимо нажать нижнюю кнопку делителя амплитуды « **×0,03** »;
- подключить кабель, входящий в комплект прибора, к выбранному выходному гнезду « **⊕** » либо непосредственно, либо через внешнюю нагрузку 500 Ом (балласт), также входящую в состав генератора. Для определения целесообразности использования внешней нагрузки необходимо оценить входное сопротивление электрической цепи, на которую будет работать генератор. Если входное сопротивление цепи относительно велико (превышает 5 кОм), то включение балласта необходимо для обеспечения точностных параметров генератора. Если же входное сопротивление лежит в диапазоне 500 Ом ÷ 5 кОм, то кабель можно подключать к выходному гнезду непосредственно;

ВНИМАНИЕ! ПОДКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕНЕЕ 500 Ом К ВЫХОДНЫМ ГНЕЗДАМ ГЕНЕРАТОРА НЕДОПУСТИМО!

– выходные концы кабеля подсоединить к электрической цепи, на которую будет работать генератор («земляной» конец – к «земле» цепи, сигнальный конец – к точке цепи, в которую необходимо подать импульсный сигнал);

– если необходимо синхронизировать функционирование аппаратуры, работающей совместно с генератором, соединить выходное гнездо « $\ominus \rightarrow$ » группы органов управления «**СИНХРОИМПУЛЬСЫ**» со входом этой аппаратуры с помощью специального кабеля, входящего в комплект прибора, выставить тумблером необходимую полярность синхроимпульсов и ручкой «**АМПЛ**» («**СИНХРОИМПУЛЬСЫ**») – требуемую амплитуду синхроимпульсов.

6.3. Использование генератора, работающего в режиме внешнего запуска:

– нажать одну из кнопок запуска « $\sim \sqcap$ »; « \sqcup », соответствующую форме и полярности внешнего запускающего сигнала;

– на входное гнездо «**ЗАПУСК**» с помощью кабеля подать запускающий сигнал с амплитудой не более 20 В и частотой не более 100 кГц.

Дальнейшая работа с генератором аналогична работе в режиме внутреннего запуска.

При работе прибора в режиме внешнего запуска, как и в предыдущем случае, **МИНИМАЛЬНАЯ СКВАЖНОСТЬ ОСНОВНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДОЛЖНА БЫТЬ НЕ МЕНЕЕ ДВУХ!**

6.4. Использование генератора, работающего в режиме разового запуска:

– нажать одну из кнопок внешнего запуска « $\sim \sqcap$ », « \sqcup »;

– остальные органы управления прибором установить в положения, аналогичные положениям при работе генератора в режиме внутреннего запуска;

– для формирования одиночного выходного импульса нажать кнопку разового запуска « \sqcup ». При каждом нажатии на эту кнопку генератор выдает на соответствующих выходах один синхроимпульс и один основной импульс.

7. Запрещенные режимы работы генератора и действия пользователя

Выполнение ниже перечисленных требований гарантирует безопасную эксплуатацию прибора.

7.1. Работа с прибором без заземления его корпуса запрещена!

7.2. Подключение нагрузки менее 500 Ом к выходным гнездам генератора запрещено!

7.3. Минимальная скважность выходных импульсов должна быть не менее двух (*визуально: длительность импульса не должна быть больше половины периода*)!

7.4. При переводе работающего генератора **из исходного режима в любой заданный вначале всегда выставляется требуемая частота выходного сигнала**, а лишь затем нужная длительность и все остальные параметры – это исключит возможность попадания прибора в запрещенный режим!

7.5. Величина времени задержки $t_{\text{зад}}$ не должна превышать 0,5 периода повторения основных импульсов!

7.6. Гнезда выходов **основных импульсов** « $\ominus \rightarrow$ » не допускают подключения к внешним цепям с наличием постоянных напряжений!

7.7. Гнездо выхода **синхроимпульсов** « $\ominus \rightarrow$ » не допускает подключение к цепям с постоянным напряжением более 10 В!

7.8. Суммарное напряжение (постоянная составляющая + амплитуда переменной) пусковых сигналов, подаваемое на гнездо « $\rightarrow \ominus$ » (внешний запуск), не должно превышать 20 В!

7.9. Одновременное нажатие двух кнопок переключателя в одной функциональной группе запрещено!

8. Контрольные вопросы и задания

8.1. Укажите назначение генератора Г5-54.

8.2. В каких режимах может работать генератор?

8.3. Пользуясь структурной схемой, расскажите принцип действия генератора в различных режимах.

8.4. Каково минимально допустимое значение внешнего сопротивления, на которое может работать генератор?

8.5. Укажите предельные (максимальные и минимальные) значения длительности и частоты основных импульсов, вырабатываемых генератором в автоколебательном режиме.

8.6. Укажите длительность фронта и среза основных импульсов в худшем случае.

8.7. В каком диапазоне регулируется плавно амплитуда основных импульсов? Каково ее максимально возможное значение?

- 8.8. Укажите значения основных параметров синхроимпульсов.
- 8.9. В каком диапазоне может меняться задержка основных импульсов относительно синхронизирующих? Укажите ограничения, накладываемые на величину задержки.
- 8.10. Укажите параметры сигналов, используемых для внешнего запуска генератора. Какие ограничения накладываются на эти сигналы?
- 8.11. Каково значение внутреннего сопротивления генератора по выходу « $\odot \rightarrow$ 1:1»?
- 8.12. Каковы параметры основных импульсов генератора в исходном состоянии?
- 8.13. Какой параметр и какого сигнала отражает встроенный вольтметр генератора?
- 8.14. Каким образом получить на основном выходе генератора импульс с амплитудой $U_m = 10 \text{ В}$ (3 В)?
- 8.15. Опишите органы управления, присоединения и контроля, расположенные на лицевой панели генератора.
- 8.16. Подготовьте генератор к работе, установив органы управления в исходное состояние.
- 8.17. Укажите порядок работы с прибором в случае:
- использования автоколебательного режима работы генератора;
 - функционирования генератора в ждущем режиме (с внешним запуском);
 - использования режима однократного запуска.
- 8.18. Укажите все запрещенные режимы работы генератора.
- 8.19. Изобразите эскизно диаграмму (1 период) последовательности основных импульсов генератора в штатном и запрещенном режимах.
- 8.20. Выполнить задание:
- установить органы управления, присоединения и контроля в положение, соответствующее исходному состоянию;
 - осуществив все необходимые коммутации на наборном поле, подать на первый и второй каналы осциллографа синхронизирующий и основной импульсы генератора, соответственно;
 - с помощью осциллографа определить все (как основные, так и дополнительные) параметры импульсов;
 - сравнить полученные параметры с указанными в техническом описании генератора, по результатам сравнения сделать выводы.

Раздел 4. Лабораторный практикум

Лабораторная работа №1

Применение универсального цифрового вольтметра В7-22А для измерений в электрических цепях постоянного тока

Цель работы: получение навыков монтажа электрических схем на монтажной панели. Освоение основных приемов работы с лабораторным источником питания и универсальным цифровым вольтметром В7-22А при проведении экспериментов в ЭЦ постоянного тока.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

При подготовке к выполнению работы:

- 1) ознакомиться с рабочей программой лабораторного занятия;
- 2) изучить разделы пособия с техническим описанием лабораторного источника питания, монтажной панели и цифрового вольтметра В7-22А;
- 3) подготовить в рабочей тетради таблицы (пример – таблица 4.1), для внесения результатов выполнения пунктов 2, 3, 5 программы;
- 4) рассчитать теоретические значения коэффициентов деления (формула (2.8), подраздел 2.3), которые должен обеспечивать делитель по схеме рис. 4.2 при указанных в пункте 5 номиналах резисторов R_1 и R_2 ;
- 5) подготовить ответы на контрольные вопросы и заготовку отчета.

В результате подготовки к занятию знать:

- a) правила монтажа электрических схем на монтажной панели;
- b) состояние органов управления, присоединения и контроля в исходном состоянии, а также запрещенные режимы для всех приборов и устройств, используемых на лабораторном занятии;
- c) способы организации постоянных напряжений различной полярности и величины на определенных гнездах монтажной панели;
- d) основные приемы работы с цифровым вольтметром В7-22А при измерениях активных сопротивлений, постоянных токов и напряжений;
- e) алгоритм расчета основной допускаемой погрешности измерений, проведенных с помощью ЦВ.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовить цифровой вольтметр (ЦВ) к работе. Включить и прогреть прибор в течение 3-х минут.
2. Используя ЦВ, измерить сопротивления выданных преподавателем резисторов на разных пределах измерения, начиная с самого грубого. Сопоставить результаты измерений с номинальным сопротивлением, указанным на корпусе элементов. Рассчитать предел допускаемой основной погрешности для каждого предела измерения. Результаты изме-

рений и расчетов погрешностей внести в таблицу. Сделать выводы.

3. Используя компоненты, выданные преподавателем, **с соблюдением правил монтажа** собрать на монтажной панели схемы, изображенные на рис. 4.1. Результат продемонстрировать преподавателю.

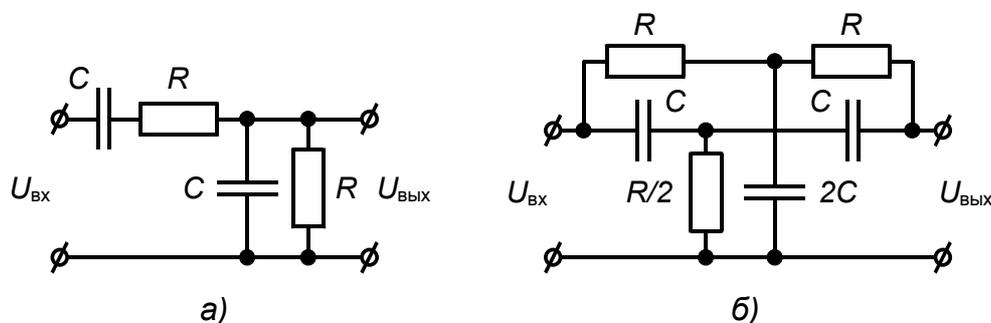


Рис. 4.1. Принципиальные схемы полосового фильтра (а) и 2Т-моста (б)

4. Отслеживая показания встроенного вольтметра, установить на выходах I–IV ЛИП значения постоянных напряжений: +5 В, +9 В; +12 В; –15 В, соответственно. Поочередно, подключая к монтажной панели соответствующий выход ЛИП, измерить с помощью ЦВ заданные напряжения, фиксируя результаты в таблице 4.1. Рассчитать погрешности измерений с регистрацией результатов расчета. Сделать выводы.

Таблица 4.1

Показания встроенного вольтметра ЛИП	Предел измерения ЦВ					
	20		200		2000	
	Показания ЦВ	Погреш-ть измер-я	Показания ЦВ	Погреш-ть измер-я	Показания ЦВ	Погреш-ть измер-я
+5 В						
+9 В						
+12 В						
–15 В						

5. Используя резисторы с номиналом $R_1 = R_2 = 1$ кОм, собрать на монтажной панели схему резистивного делителя напряжения (рис. 4.2). **Обоснованно** выбрав какой-либо из выходных каналов ЛИП, установить на его выходе, ориентируясь на показания встроенного вольтметра, одно из постоянных напряжений: +5 В; +10 В; +12 В; +15 В (выбрать самостоятельно). Подключить выбранное напряжение ко входу делителя. **Используя соответствующий режим работы** ЦВ, поочередно измерить, фиксируя результат, входное напряжение $U_{вх}$, напряжение на резисторе R_1 , выходное напряжение $U_{вых}$, входной ток делителя $I_{вх}$.

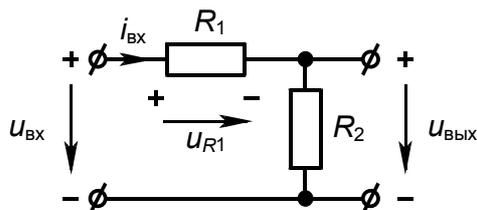


Рис. 4.2. Принципиальная схема резистивного делителя напряжения

Повторить процедуру, последовательно меняя сопротивление резистора R_1 (510 Ом; 2 кОм; 10 кОм; 51 кОм). Рассчитать коэффициент деления (передачи) делителя $K_{\text{дел}} = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ при каждом значении сопротивления резистора R_1 , сравнить полученные результаты с данными предварительных расчетов, определить погрешности эксперимента. Сделать выводы о свойствах и принципе действия схемы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите основные правила монтажа электрических схем.
2. Как влияет величина предела ЦВ на точность измерения? Что необходимо предпринять для повышения точности?
3. Какой предел ЦВ нужно использовать при измерении напряжения неизвестной величины?
4. Почему с помощью ЦВ невозможно непосредственно измерить сопротивление реактивных элементов (конденсатора, катушки индуктивности)? Аргументируйте ответ.
5. Каким образом определить предел допускаемой основной погрешности проведенных измерений?
6. В течение какого времени ЦВ может выдерживать перегрузку при измерении тока и напряжения? Поясните, как Вы понимаете значение термина «перегрузка». Ваши действия при «перегрузке» прибора?
7. Используя обозначения, нанесенные на лицевую панель ЦВ, определите предельно допустимые значения параметров при измерениях тока, напряжения и сопротивления, проводимых с помощью прибора.
8. Можно ли, используя ЛИП, получить постоянное напряжение 1 В; 27 В; 36 В? Аргументируйте ответ.
9. Каким образом с помощью ЛИП получить напряжение ± 3 В? Изобразите эскизно схему формирования данных напряжений.
10. Расскажите, какими способами можно определить значение входного тока делителя, изображенного на рис. 4.2.
11. Как рассчитать *приведенную* относительную погрешность величины напряжения, установленного на выходе ЛИП с помощью встроенного вольтметра? В каком случае эта погрешность будет иметь минимальное значение?

Лабораторная работа №2

Применение универсального цифрового вольтметра В7-22А для измерений в электрических цепях переменного тока

Цель работы: получение практических навыков работы с генератором ГЗ-109 и универсальным цифровым вольтметром В7-22А при проведении исследований в электрических цепях синусоидального тока.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

При подготовке к выполнению работы:

- 1) ознакомиться с рабочей программой лабораторного занятия;
- 2) изучить разделы пособия, в которых изложены сведения о гармонических сигналах и даны технические описания генератора ГЗ-109 и цифрового вольтметра В7-22А;
- 3) продумать вид и подготовить в рабочей тетради таблицы для внесения результатов выполнения пунктов 2, 3, 4 программы работы;
- 4) подготовить ответы на контрольные вопросы и заготовку отчета.

В результате подготовки к занятию знать:

- a) основные сведения о гармонических сигналах, включая понятия среднего, средневыпрямленного и действующего значений синусоидального тока и напряжения;
- b) назначение и функциональные возможности генератора ГЗ-109 и органов управления, присоединения и контроля, расположенных на передней панели прибора;
- c) состояние органов управления, присоединения и контроля в исходном состоянии, а также запрещенные режимы всех приборов, используемых на лабораторном занятии;
- d) основные приемы работы с генератором ГЗ-109 и цифровым вольтметром В7-22А при проведении измерений в электрических цепях переменного тока.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовить генератор ГЗ-109 и цифровой вольтметр к работе. Включить и прогреть приборы в течение 3-х минут.
2. Установить на выходе I генератора сигнал с параметрами (напряжение, частота), заданными преподавателем. Используя для коммутаций монтажную панель, измерить с помощью ЦВ выходное напряжение генератора. Рассчитать погрешности проведенного измерения и показаний встроенного вольтметра. Результаты внести в рабочую тетрадь.
3. *Под контролем преподавателя* измерить напряжение сети ~ 36 В на разных пределах измерения ЦВ, начиная с самого грубого. Рассчитать предел допускаемой основной погрешности результата для каждо-

го предела измерения. Результаты измерений и расчетов внести в таблицу. Сделать выводы.

4. Собрать на монтажной панели RC -цепь, изображенную на рис. 4.3 (вариант задает преподаватель). Установить на I выходе генератора сигнал с частотой 1 кГц и напряжением 5 В. Подать выходное напряжение генератора на вход собранной цепи. Соблюдая правила проведения измерений, определить с помощью ЦВ параметры: $I_{\text{вх}}$, $U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вых}}$, $U_{C(R)}$. Рассчитать модули коэффициента передачи цепи по напряжению $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$, входного сопротивления $Z_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}$ и емкостного сопротивления конденсатора $X_C = U_C/I_{\text{вх}}$ на заданной частоте. Зафиксировать результаты расчетов в рабочей тетради. Сделать выводы.

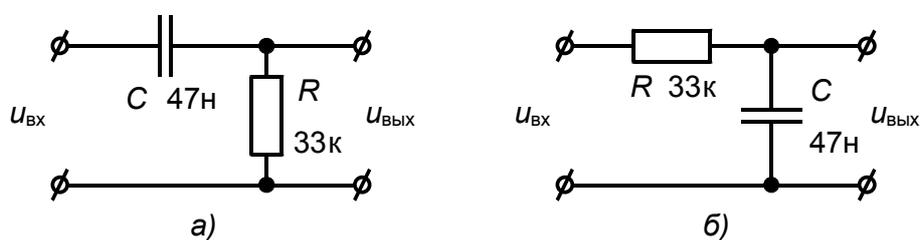


Рис. 4.3. RC -цепь с конденсатором (а) и резистором (б) на входе

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких случаях целесообразно использовать I выход (II выход) генератора ГЗ-109?
2. С какой целью нагрузка подключается к I выходу генератора через внешний аттенуатор?
3. Какое значение показывает встроенный вольтметр прибора, если амплитуда выходного сигнала на I выходе составляет 16,92 В?
4. Расскажите, как пользоваться шкалами встроенного вольтметра генератора ГЗ-109.
5. Каково максимальное время, необходимое генератору для установления выходного напряжения?
6. Каким образом в ЦВ организовано измерение переменного тока (напряжения), если по принципу действия прибор измеряет только постоянное напряжение?
7. Можно ли с помощью с ЦВ измерить напряжение: а) прямоугольной формы; б) пилообразное; в) синусоидальное; г) постоянное? Аргументируйте ответ.
8. Что такое «действующее» и «средневыпрямленное» напряжение?
9. При измерении переменного синусоидального напряжения ЦВ показал значение 100 В. Какова амплитуда измеряемого сигнала?
10. Почему для действующих значений синусоидальных величин в рассмотренных схемах (рис. 4.3) не выполняется II закон Кирхгофа?

Лабораторная работа №3

Осциллографирование постоянных и гармонических сигналов

Цель работы: освоение основных приемов работы с осциллографом GOS-620.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

При подготовке к выполнению работы:

- 1) ознакомиться с рабочей программой лабораторного занятия;
- 2) изучить разделы пособия с техническим описанием осциллографа GOS-620 и методами измерений параметров постоянных и гармонических сигналов с его помощью;
- 3) подготовить в рабочей тетради таблицы для внесения результатов выполнения пунктов 2, 3 программы работы;
- 4) подготовить ответы на контрольные вопросы и заготовку отчета.

В результате подготовки к занятию знать:

- a) назначение и функциональные возможности осциллографа GOS-620 и органов управления, присоединения и контроля, расположенных на передней панели прибора;
- b) состояние органов управления, присоединения и контроля в исходном состоянии при подготовке осциллографа к включению;
- c) запрещенные режимы осциллографа и действия оператора при работе с прибором;
- d) последовательность действий оператора после включения осциллографа при проверке готовности прибора к работе в одноканальном и двухканальном режимах, включая определение назначения концов сигнальных кабелей и проверку калибровки каналов;
- e) основные приемы работы с осциллографом при проведении измерений в электрических цепях постоянного и синусоидального тока.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовить осциллограф GOS-620 (двухканальный режим) и генератор ГЗ-109 к работе. Включить и прогреть приборы в течение 3-х минут. Проверить калибровку каналов осциллографа.

2. Руководствуясь показаниями встроенного вольтметра, установить на III и IV выходах лабораторного источника питания напряжения: +9В; -9В. Используя МП, осциллограф и ЦВ, измерить постоянные напряжения на указанных выходах с регистрацией результатов в рабочей тетради. Считая показания вольтметра действительными, определить абсолютную и относительную погрешность измерения постоянного напряжения осциллографом. Сделать выводы.

3. На монтажной панели собрать RC – цепь, изображенную на рис. 4.3 (вариант задает преподаватель). На вход цепи подать гармонический сигнал частотой $f = 1$ кГц и величиной $U_{\text{вых ген}} = 5$ В от генератора ГЗ-109. Используя осциллограф, получить и зафиксировать в рабочей тетради сфазированные осциллограммы процессов в схеме: $u_{\text{вх}}$, $u_{\text{вых}}$, $i_{\text{вх}}$ и $u_{C(R)}$. Измерить с помощью осциллографа основные параметры сигналов – период T , амплитуды $I_{m \text{ вх}}$, $U_{m \text{ вх}}$, $U_{m \text{ вых}}$ и $U_{m C(R)}$, а также фазовые сдвиги: $\varphi_{KU} = \varphi_{U_{\text{вых}}} - \varphi_{U_{\text{вх}}}$ – между входным и выходным сигналами (двумя способами), и $\varphi_{Z_{\text{вх}}} = \varphi_{U_{\text{вх}}} - \varphi_{I_{\text{вх}}}$ – между входным напряжением и входным током.

Примечание: при измерении φ_{KU} воспользуйтесь методикой, изложенной в подразделе 7.9 раздела 3. Чтобы определить $\varphi_{Z_{\text{вх}}} = \varphi_{U_{\text{вх}}} - \varphi_{I_{\text{вх}}}$, следует измерить фазовый сдвиг между входным напряжением и напряжением на резисторе $u_R = R \cdot i_R$, поскольку ток резистора и напряжение на нем *всегда синфазны!*

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое осциллограф? Для чего он используется?
2. Поясните устройство электронно-лучевой трубки.
3. Расскажите принцип действия осциллографа, используя функциональную схему прибора.
4. Чем режим X-Y отличается от «классического» режима работы?
5. Что такое развертка? Нарисуйте диаграмму напряжения развертки и поясните поведение электронного луча под действием этого сигнала.
6. Назначение синхронизации в осциллографе. Как она осуществляется? Виды синхронизации?
7. Назовите наиболее часто встречающуюся на практике причину отсутствия синхронизации. Что делать, если нет синхронизации?
8. Чем различаются ждущий и автоматический режимы работы генератора развертки? Как они задаются на практике? Что отражается на экране осциллографа в ждущем и автоматическом режимах?
9. Как обеспечить «паспортную» точность измерений, проводимых с помощью осциллографа?
10. Поясните смысл терминов: «открытый» и «закрытый» вход осциллографа.
11. Как определить потенциальный и «земляной» провод сигнального кабеля осциллографа?
12. Почему в двухканальном режиме «земляные» концы сигнальных кабелей каналов осциллографа нельзя подключать к точкам схемы с разными потенциалами?
13. Как с помощью осциллографа получить осциллограмму тока?

Лабораторная работа №4

Осциллографирование импульсных сигналов

Цель работы: получение практических навыков работы с генератором импульсов Г5-54. Освоение методов измерений параметров импульсных сигналов с помощью осциллографа GOS-620.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

При подготовке к выполнению работы:

- 1) ознакомиться с рабочей программой лабораторного занятия;
- 2) изучить разделы пособия, в которых приведены сведения об импульсных сигналах и их параметрах, даны технические описания генератора импульсов Г5-54, осциллографа GOS-620 и описаны методы измерения параметров импульсов с помощью осциллографа;
- 3) подготовить в рабочей тетради таблицы для внесения результатов выполнения пунктов 2, 4, 5 программы работы;
- 4) подготовить ответы на контрольные вопросы и заготовку отчета.

В результате подготовки к занятию знать:

- a) определение импульсного сигнала; основные, производные и дополнительные параметры электрических импульсов и методы их определения с помощью осциллографа;
- b) состояние органов управления, присоединения и контроля в исходном состоянии, а также запрещенные режимы для всех приборов и устройств, используемых на лабораторном занятии;
- c) параметры основных выходных импульсов генератора Г5-54 в исходном состоянии прибора;
- d) основные приемы работы с генератором Г5-54 и осциллографом GOS-620 при проведении измерений в электрических цепях импульсного действия.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовить к работе генератор Г5-54 и осциллограф GOS-620 (двухканальный режим), установив органы управления приборами в исходное состояние. *После проверки преподавателем* состояния приборов и получения разрешения на продолжение работы, включить и прогреть аппаратуру в течение 3-х минут. Определить назначение концов сигнальных кабелей осциллографа, проверить калибровку каналов I и II.

2. Осуществив необходимые соединения на монтажной панели, подать *на I канал осциллографа синхронизирующие*, а на II канал – *основные импульсы* генератора Г5-54. Добившись устойчивой синхронизации изображений сигналов, зарисовать, фазирова, полученные осциллограммы в общем виде (1 период), затем каждый сигнал в укрупнен-

ном виде с указанием параметров, подлежащих измерению. Определить с помощью осциллографа, фиксируя результаты в таблице, основные, производные и дополнительные параметры основных и синхронизирующих импульсов в исходном состоянии генератора.

Примечание: для определения формы и повышения точности измерений параметров *основных* импульсов целесообразно на время эксперимента **ввести задержку** $t_{\text{зад}} = 0,2-0,8$ мкс между основными и синхронизирующими импульсами, используя синхросигналы для запуска развертки осциллографа.

Результаты измерений внести в таблицу и показать преподавателю для проверки. Рассчитать погрешности полученных результатов по сравнению с **паспортными значениями** параметров основных импульсов в исходном состоянии генератора. Зарегистрировать результаты расчета в рабочей тетради. Сделать выводы.

3. Используя заданные преподавателем параметры основных импульсов генератора – частоту f , длительность $t_{\text{и}}$, полярность, амплитуду U_m , временной сдвиг (задержку) $t_{\text{зад}}$, установить, **меняя вначале частоту**, органы управления прибором в соответствующие положения. Подключить, используя гнезда монтажной панели, канал I осциллографа к **основному** выходу генератора и, анализируя осциллограмму сигналов, убедиться, что прибор не находится в запрещенном режиме: ***длительность импульса на экране осциллографа занимает не более половины периода импульсной последовательности, т.е. скважность выходных импульсов $q = T/t_{\text{и}} \geq 2$*** . Если генератор пребывает в штатном режиме, продолжить выполнение программы, в противном случае немедленно выключить прибор и **перевести органы управления генератором в исходное состояние**. Включить генератор и начать заново выполнение пункта 3 программы, устранив неточности в установках параметров.

4. Повторить действия по пункту 2 программы, зарисовав сфазированные осциллограммы и определив основные и дополнительные параметры наблюдаемых сигналов. Сравнить полученные результаты с заданными значениями, рассчитать погрешности, сделать выводы.

Не выключая генератор, **возвратить органы управления прибором в исходное состояние, меняя вначале длительность импульса $t_{\text{и}}$** .

5. На монтажной панели собрать RC-цепь (рис. 4.4), используя элементы с параметрами: $R = 1$ кОм (3,6 кОм); $C = 0,01$ мкФ (6,2 нФ, 4,7 нФ) – вариант схемы и номиналы элементов задаются преподавателем. Установить, **меняя вначале частоту**, следующие параметры основных импульсов генератора Г5-54: полярность – положительная, $f = 10$ кГц, $U_m = 5$ В, длительность $t_{\text{и}} = 25$ мкс. Подать основные импульсы на вход схемы. С помощью осциллографа снять попарно сфазированные осциллограммы: $u_{\text{вх}}(t)$, $u_{\text{вых}}(t)$, $u_{C(R)}(t)$, представляя их в общем

(1 период) и укрупненном виде с указанием параметров, подлежащих измерению (для измерения фронтов использовать *внешний* запуск развертки осциллографа синхроимпульсами генератора с введением задержки $t_{\text{зад}} = 0,2-0,8$ мкс). Измерить, фиксируя результаты в таблице, основные, производные и дополнительные параметры сигналов. Сделать выводы.

Примечание: использование для *внешнего* запуска осциллографа синхроимпульсов генератора Г5-54 с введением задержки между основными и синхронизирующими импульсами прибора возможно лишь в случае, когда снимается осциллограмма с элемента, *имеющего общую точку с «землей»*.

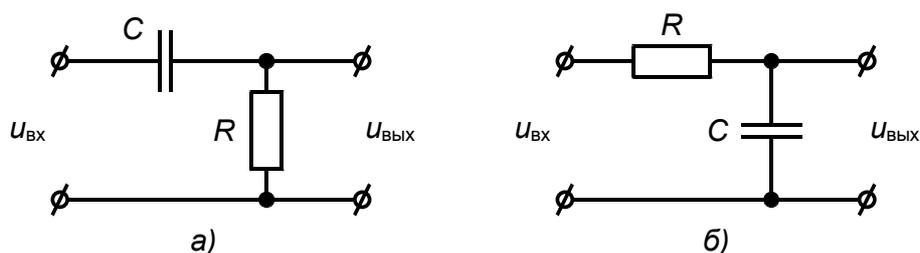


Рис. 4.4. RC-цепь с конденсатором (а) и резистором (б) на входе

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные, производные и дополнительные параметры квазипрямоугольных (пилообразных) электрических импульсов. Поясните (с помощью диаграмм), как они определяются.
2. Расскажите методику получения сфазированных осциллограмм с элементов, не имеющих общей точки с «землей» схемы.
3. Как с помощью осциллографа измерить активную длительность импульса? Какова при этом последовательность действий оператора?
4. Поясните назначение и функциональные возможности органов управления, присоединения и контроля, расположенных на передней панели генератора Г5-54. Перечислите запрещенные режимы работы.
5. В каких режимах может функционировать генератор Г5-54? Каким образом эти режимы задаются?
6. Назовите параметры импульсов на основном выходе генератора Г5-54 в исходном состоянии.
7. Каким образом на основном выходе генератора Г5-54 получить импульс с амплитудой $U_m = 5$ В (0,5 В)?
8. Какую максимально возможную амплитуду импульса можно получить на основном выходе генератора Г5-54?
9. Какой параметр импульса отражает встроенный вольтметр генератора Г5-54 (амплитуду, среднее, среднеквадратичное значение)?
10. Можно ли, используя ЦВ, определить амплитуду основного (синхронизирующего) импульса генератора Г5-54?

Лабораторная работа №5

Итоговое лабораторное занятие

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: закрепление устойчивых навыков практической работы с контрольно-измерительной аппаратурой.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с программой итоговой лабораторной работы. Подготовить эскизы функциональных схем, с помощью которых можно реализовать контрольные задания и выполнить пункты 4 ÷ 10 программы.
2. Повторить технические описания всего оборудования, которое используется в ходе лабораторного занятия, и методы работы с ним.
3. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовить аппаратуру к включению, установив органы управления приборов в исходное состояние.
2. Включить аппаратуру для предварительного прогрева.
3. По истечении 3-х минут после включения проверить калибровку осциллографа и цифрового вольтметра и, при необходимости, откалибровать их.
4. Используя соответствующие режимы работы цифрового вольтметра, измерить (*под наблюдением преподавателя*):
 - а) напряжение в сети ~ 36 В, 50 Гц;
 - б) напряжение в сети ~ 220 В, 50 Гц;
 - с) сопротивления трёх резисторов, выданных преподавателем.

Результаты измерений, *включая промежуточные*, занести в таблицу. Рассчитать предел допускаемой основной погрешности проведенных измерений, сделать выводы.

5. Руководствуясь показаниями встроенного вольтметра, установить на выходах III и IV лабораторного источника питания напряжения + 12,6 В и – 12,6 В, соответственно. Измерить указанные напряжения с помощью осциллографа и цифрового вольтметра. Рассчитать предел допускаемой основной погрешности измерения напряжений ЦВ. Считая, что ЦВ показывает действительные значения измеряемых напряжений, определить абсолютную и относительную погрешность измерения постоянного напряжения осциллографом. Занести результаты измерений в таблицу. Сделать выводы.

6. Используя модули с резистором и конденсатором, выданные преподавателем, собрать на монтажной плате фазосдвигающую RC-цепь, обеспечивающую заданный фазовый сдвиг между входным и выходным

гармоническими напряжениями – рис. 4.4. Рассчитать частоту входного сигнала, при которой обеспечивается требуемое значение φ_{Ku} . Пользуясь органами управления, установить на первом выходе генератора ГЗ-109 напряжение $U = 5$ В с частотой, соответствующей рассчитанному значению. Подать данное напряжение на вход исследуемой цепи. Подключив осциллограф (I канал – ко входу, а II канал – к выходу цепи), зарисовать сфазированные диаграммы. Измерить входной и выходной сигналы с помощью осциллографа и цифрового вольтметра. Рассчитать K_U и φ_{Ku} . Используя цифровой вольтметр, измерить входной ток цепи. Рассчитать модуль входного сопротивления цепи. Сравнить результаты эксперимента с теоретическими значениями, рассчитать погрешности измерений, сделать выводы.

Примечание: расчет искомых параметров производится по формулам: для RC-цепи с *резистором* на входе (обеспечивает *отрицательный* φ_{Ku}):

$$f_p = -\operatorname{tg}\varphi_{Ku} / (2\pi\tau); K_U = 1 / \sqrt{1 + (2\pi f_p \tau)^2}; Z_{\text{вх}} = R \sqrt{1 + 1 / (2\pi f_p \tau)^2};$$

для RC-цепи с *конденсатором* на входе (обеспечивает *положительный* φ_{Ku}):

$$f_p = (2\pi\tau \operatorname{tg}\varphi_{Ku})^{-1}; K_U = 2\pi f_p \tau / \sqrt{1 + (2\pi f_p \tau)^2}; Z_{\text{вх}} = R \sqrt{1 + 1 / (2\pi f_p \tau)^2},$$

где f_p – рабочая частота генератора ГЗ-109; $\tau = RC$ – постоянная времени цепи.

7. Пользуясь ручкой (9) – « VARIABLE » (плавно) канала I, *уменьшить изображение входного сигнала* до размера $U_{\text{вых}}$. Переключить осциллограф в режим работы « X-Y ». Переместить полученное изображение эллипса в центр экрана, зарисовать его и измерить параметры А и В, необходимые для определения φ_{Ku} с помощью фигур Лиссажу. Рассчитать фазовый сдвиг между $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ по формуле:

$$\varphi_{Ku} = \arcsin(A / B).$$

8. Осуществив необходимые коммутации на наборном поле, подать на первый и второй каналы осциллографа синхронизирующий и основной импульсы, соответственно, генератора Г5-54, работающего в исходном режиме. С помощью осциллографа определить основные и дополнительные параметры импульсов, зафиксировав результат. Сравнить полученные параметры с приведенными в техническом описании, сделать выводы.

9. С помощью органов управления установить параметры импульсов на основном выходе генератора Г5-54, *указанные преподавателем* (по-

лярность, длительность, частота, задержка). Переведя осциллограф в ждущий режим и используя для его *внешнего* запуска синхроимпульсы генератора (установить задержку $t_{\text{зад}} = 0,2-0,8$ мкс), измерить параметры основных импульсов, вырабатываемых генератором. Полученные значения сравнить с заданными, рассчитать погрешности, сделать выводы.

10. Перевести генератор Г5-54 в ждущий режим. С помощью органов управления установить:

а) на первом выходе генератора Г3-109 напряжение $U_r = 0,1$ В с частотой $f = 2500$ Гц;

б) на основном выходе генератора Г5-54 импульсный сигнал с параметрами: полярность – положительная; амплитуда $U_m = 1,5$ В; длительность $t_{\text{и}} = 100$ мкс; задержка $t_{\text{зад}} = 5$ мкс.

Сделав необходимые коммутации на монтажной панели:

а) подключить канал I осциллографа к выходу Г3-109;

б) подключить канал II осциллографа к основному выходу генератора Г5-54;

с) подать напряжение U_r на вход внешней синхронизации генератора Г5-54.

Плавно увеличивая величину синусоидального напряжения, определить его *минимальное* значение, достаточное для *стабильного* запуска генератора Г5-54. Зарисовать сфазированные диаграммы выходных сигналов двух генераторов в данном режиме, определить их реальные параметры. Зафиксировать результаты эксперимента.

Увеличить выходное напряжение генератора Г3-109 до уровня, при котором нормальная работа генератора Г5-54 нарушается (наблюдается «перезапуск»). Зарисовать сфазированные диаграммы выходных сигналов двух генераторов в данном режиме. Определить максимальный диапазон напряжений U_r , в котором оба генератора работают нормально.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ЗАЩИТЕ ИТОГОВОГО ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ

1. Подготовьте к включению приборы, входящие в состав рабочего места лаборатории, установив органы управления, присоединения и контроля каждого прибора в исходное состояние.

2. Укажите назначение и функциональные возможности приборов, входящих в состав рабочего места (по указанию преподавателя).

3. Опишите органы управления, присоединения и контроля каждого из приборов, используемых при выполнении итоговой лабораторной работы (по указанию преподавателя).

4. Укажите запрещенные действия пользователя и режимы работы осциллографа GOS-620, генераторов ГЗ-109 и Г5-54, цифрового вольтметра В7-22А (по указанию преподавателя).

5. Проверьте калибровку осциллографа.

6. Укажите максимально допустимые значения напряжений, которые можно подавать на различные входы осциллографа.

7. Расскажите о возможных режимах работы входов каналов вертикального отклонения осциллографа. В каких случаях целесообразно использовать тот или иной режим?

8. Перечислите, с комментариями, возможные режимы работы каналов тракта вертикального отклонения осциллографа. Какими органами управления задаются эти режимы?

9. Каково значение входного сопротивления и входной емкости усилительных трактов вертикального отклонения обоих каналов?

10. Каков предел допускаемой основной погрешности измерений с помощью осциллографа напряжений и временных интервалов при нормальных условиях эксплуатации? Какие требования предъявляются к величине изображения измеряемого сигнала для обеспечения этой погрешности?

11. Назовите максимально допустимые значения измеряемых с помощью ЦВ величин: постоянного и переменного напряжения и тока, активного сопротивления.

12. Какой параметр переменного сигнала (мгновенное, среднее, действующее или амплитудное значение) измеряет и индицирует ЦВ?

13. Какова максимально допустимая величина коэффициента гармоник измеряемого синусоидального напряжения, при которой еще обеспечивается паспортная точность измерения ЦВ?

14. Каким образом определить погрешность, имеющую место при измерении какого-либо параметра цифровым вольтметром? В каком случае эта погрешность будет иметь минимально возможное значение?

15. Каким образом ЦВ реагирует на перегрузку?

16. Можно ли измерить амплитуду основных импульсов, вырабатываемых генератором Г5-54, с помощью ЦВ?

17. Поясните, каким образом с помощью ЦВ провести измерение заданного параметра с максимально возможной точностью.

18. Каким образом производится установка нуля индикаторного устройства ЦВ? Какое показание табло считается при этом допустимым?

19. Приведите схему подключения ЦВ для измерения входного пере-

менного тока какой-либо пассивной электрической цепи (по указанию преподавателя). В каких положениях должны находиться при этом органы управления, присоединения и контроля ЦВ?

20. В каких режимах может работать генератор Г5-54 и каким образом эти режимы обеспечиваются?

21. Укажите значения параметров основных и синхронизирующих сигналов, вырабатываемых генератором Г5-54 в исходном состоянии.

22. В каком диапазоне регулируется плавно амплитуда основных импульсов генератора Г5-54? Каково ее максимально возможное значение?

23. Каково значение внутреннего сопротивления генератора Г5-54 по выходу « \ominus 1:1 »?

24. В каких случаях целесообразно использовать первый (второй) выход генератора Г3-109?

25. В каком диапазоне регулируется плавно величина выходного напряжения на первом выходе генератора Г3-109? Каково ее максимально возможное значение?

26. Расскажите, каким образом на первом выходе генератора Г3-109 получить сигнал величиной 1 мВ?

27. Поясните назначение переключателя « **НАГРУЗКА, Ω** ».

28. Каким образом на практике увеличивается «жесткость» внешней характеристики генератора Г3-109?

29. Подготовьте осциллограф к работе в двухканальном режиме, установив органы управления прибором в исходное состояние. Проведите с помощью осциллографа измерение постоянного напряжения неизвестной величины и полярности (по заданию преподавателя).

30. Используя ЦВ, измерьте сопротивление резисторов, предложенных преподавателем. Определите основную допускаемую погрешность измерения в каждом конкретном случае.

31. Выполнить задание (по указанию преподавателя):

а) повторить выполнение пунктов 6, 7 программы итоговой лабораторной работы. Результаты измерений продемонстрировать преподавателю. Описать последовательность действий при проведении измерений.

б) повторить выполнение пунктов 8 (9) из программы итоговой лабораторной работы. Результаты измерений показать преподавателю. Описать алгоритм проведения требуемых измерений.

Примечание: задание считается успешно выполненным, если время его выполнения (без учета последующих комментариев) не превысило 15 минут.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе выполняется индивидуально, аккуратно, грамотно и должен содержать нижеперечисленные разделы.

1. Цель работы.
2. Программа работы (укрупненно, без подробного описания действий, предпринимаемых при выполнении того или иного подпункта).
3. Предварительные расчеты.
4. Последовательно изложенные результаты выполнения каждого пункта программы, включающие (по мере необходимости):
 - принципиальные схемы исследуемых цепей, выполненные по ЕСКД;
 - сфазированные осциллограммы в общем виде (1 период); каждый сигнал в укрупненном виде – с указанием параметров, подлежащих измерению, для всех представленных сигналов;
 - результаты измерений, сведенные в таблицу;
 - характеристики, построенные по экспериментальным данным;
 - расчеты параметров, выполняемые на основе полученных характеристик;
 - сравнение результатов предварительного расчета и эксперимента с определением погрешностей.
5. Выводы (должны отражать конкретные полученные результаты исследования, а не перечислять выполняемые действия) – приводятся либо в конце работы, либо в конце каждого пункта по ходу выполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электротехнический справочник. В 3-х томах. Т.1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 520 с., ил.
2. ГОСТ 16465-70 «Сигналы радиотехнические. Термины и определения».
3. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для студентов вузов по спец. «Конструирование и производство радиоаппаратуры». – М.: Высш. шк., 1988. – 464 с.: ил.
4. Быстров Ю.А., Мироненко И.Г., Хижа Г.С. Электронные цепи и устройства. Учебник для вузов. С.-Пб.; Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 1999. – 512 с.: ил.
5. Телешевский Б.Е. Измерения в электро- и радиотехнике: Учеб. для средн. проф.-техн. училищ. – М.: Высш. шк., 1984. – 207 с., ил. – (Профтехобразование).
6. Ерофеев Ю.Н. Импульсные устройства: Учеб. пособие для вузов по спец. «Радиотехника». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 527 с.
7. Морозов А.Г. Электротехника, электроника и импульсная техника: Учеб. пособие для инженерно-эконом. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 448 с.: ил.
8. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб. пособие для вузов. – М.: Логос, 2001. – 408 с.: ил.
9. Ярославцев Е.В. Техническое описание приборов, используемых при выполнении лабораторных работ на кафедре промышленной и медицинской электроники. Программы лабораторных работ по дисциплинам «Теория электрических цепей», «Электроника»: учебное пособие / Е.В. Ярославцев; Национальный исследовательский университет. – Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 130 с.
10. 20MHz Dual Trace Oscilloscope Model: GOS-620 i Test Equipment // <http://www.testequipmentdepot.com/instek/pdf/GOM620OM.pdf>

Учебное издание

ГРЕБЕННИКОВ Виталий Владимирович
ЯРОСЛАВЦЕВ Евгений Витальевич

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И СИГНАЛОВ**

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор *доктор технических наук,
профессор Г.С. Евтушенко*
Дизайн обложки *В.В. Гребенников*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати _____.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 10. Уч.-изд. л. 9,03
Заказ _____. Тираж 200 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru