

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Е.В. Ярославцев**

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИБОРОВ,**  
используемых при выполнении лабораторных работ  
на кафедре промышленной и медицинской электроники

**ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**  
по дисциплинам «Теория электрических цепей»,  
«Электроника» для студентов направлений 210100 «Электроника  
и нанoeлектроника», 201000 «Биотехнические системы  
и технологии»

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

Издательство  
Томского политехнического университета  
2010

УДК 616-07+621.3.011.7(076.5)

ББК 34.7я73+31.211я73

Я765

**Ярославцев Е.В.**

Я765 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 Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 130 с.

Пособие включает в себя две части.

Первая часть посвящена техническому описанию приборов из комплекта профессионального оборудования, входящего в состав рабочего места учебной лаборатории «Электронные цепи и микроэлектроника» кафедры ПМЭ НИ ТПУ. Во второй части приведены программы лабораторных работ, составляющих обязательную часть лабораторных практикумов ряда общепрофессиональных и специальных дисциплин образовательных программ подготовки бакалавров по направлениям 210100 и 201000.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии».

УДК 616-07+621.3.011.7(076.5)

ББК 34.7я73+31.211я73

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор  
заместитель Генерального директора ОАО «НПЦ «Полнос»

*Ю.М. Казанцев*

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

*И.В. Целебровский*

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет», 2010

© Ярославцев Е.В., 2010

© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2010

# ОСЦИЛЛОГРАФ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ С1-83

## 1. Назначение

Двухканальный универсальный осциллограф 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 400 мкВ до 200 В, временных интервалов – в диапазоне от 400 нС до 20 С;
- наблюдение напряжений в диапазоне от 200 мкВ до 200 В, временных интервалов – в диапазоне от 100 нС до 20 С.

Нормальные условия эксплуатации:

температура окружающей среды	$(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
относительная влажность	$(65 \pm 15) \%$ ;
атмосферное давление	$(750 \pm 30)$ мм рт. ст.

Рабочие условия эксплуатации:

температура окружающей среды	$(- 30 \div + 50)^\circ\text{C}$ ;
относительная влажность	до 98 %.

## 2. Технические данные

2.1. Рабочая часть экрана осциллографа:	
а) по горизонтали (10 делений)	120 мм;
б) по вертикали (8 делений)	100 мм.
2.2. Ширина линий луча, определяемая размытостью и расфокусировкой, не более	0,8 мм.
2.3. Геометрические искажения изображения на экране, не более	2 %.
2.4. Смещение луча из-за дрейфа в течение 1 часа работы, не более	2 мВ.
2.5. Число каналов вертикального отклонения	2.
2.6. Режимы работы каналов тракта вертикального отклонения:	
а) канал I – одноканальный;	

b) канал II – одноканальный;	
c) прерывистый – двухканальный;	
d) поочередный – двухканальный;	
e) алгебраическое сложение ( $I \pm II$ );	
f) последовательное включение каналов I и II с закрытым входом II.	
2.7. Параметры входов:	
a) входное активное сопротивление	
– каналов I и II	( $1 \pm 0,02$ ) МОм;
– каналов I и II с выносным делителем 1:10	$10 \pm 0,75$ МОм;
– входа внешней синхронизации (открытого):	
• при нажатой кнопке « <b>(0,5 – 5) внеш.</b> », не менее	35 кОм;
• при нажатой кнопке « <b>(5 – 50) внеш.</b> », не менее	650 кОм;
• канала <b>Z</b> , не менее	80 кОм;
b) входная емкость	
– каналов I и II	$35 \pm 5$ пФ;
– каналов I и II с выносным делителем 1:10, не более	15 пФ;
– входа внешней синхронизации (открытого):	
• при нажатой кнопке « <b>(0,5 – 5) внеш.</b> », не более	30 пФ;
• при нажатой кнопке « <b>(5 – 50) внеш.</b> », не более	10 пФ;
– входа канала <b>Z</b> , не более	55 пФ.
2.8. Допустимое суммарное значение постоянно-го и переменного напряжений на закрытом входе, не более	
– каналов I и II	200 В;
– при последовательном включении каналов I и II	50 В.
2.9. Максимальная амплитуда (размах) исследуемого напряжения на входе, не более	
– каналов I и II	160 В;
– внешнего делителя 1:10	200 В;
– при последовательном включении каналов I и II	1,6 В.
2.10. Полоса пропускания каналов I и II тракта вертикального отклонения при неравномерности ам-	

плитудно-частотной характеристики не более 3 дБ:	
а) в положении переключателей « V/дел » « 1 mV » и « 2 mV »	(0÷2) МГц;
б) во всех остальных положениях переключателей « V/дел »	(0÷5) МГц;
в) при последовательном включении каналов I и II	(10·10 <sup>-6</sup> ÷1) МГц.
2.11. Полоса пропускания канала горизонтального отклонения в режиме X-Y	(0÷2) МГц.
2.12. Выброс переходной характеристики каналов I и II тракта вертикального отклонения во всех положениях переключателей « V/дел », не более	3 %;
– с выносным делителем 1:10, не более	3 %;
– при последовательном включении каналов, не более	5 %.
2.13. Время установления переходной характеристики каналов I и II тракта вертикального отклонения во всех положениях переключателя « V/дел », за исключением положений « 1 mV » и « 2 mV », не более	210 нС;
– в положениях « 1 mV » и « 2 mV », не более	500 нС;
– при последовательном включении каналов, не более	1 мкС.
2.14. Неравномерность переходной характеристики каналов I и II (отражения, синхронные наводки) после времени установления переходной характеристики, не более	±2 %
2.15. Спад вершины переходной характеристики испытательного импульса длительностью 10 мС при закрытом входе, не более	10 %;
– при последовательном включении каналов, не более	15 %.
2.16. Число фиксированных коэффициентов отклонения луча каналов вертикального отклонения (в диапазоне от 0,001 до 2 В/дел)	11.
Каждый коэффициент отклонения плавно регулируется с перекрытием не менее чем в 2,5 раза, и может дискретно увеличиваться в 10 раз (множитель « ×10 »).	
2.17. Предел допускаемой основной погрешности коэффициентов отклонения каналов вертикального	

отклонения луча в нормальных условиях эксплуатации, не более	±4 %;
– при последовательном включении каналов, не более	±8 %.
2.18. Предел допускаемой основной погрешности	
а) измерения напряжений и временных интервалов в нормальных условиях эксплуатации	±5 %;
б) временных интервалов с использованием множителя развертки «×0,2»	±10 %.
2.19. Минимальный размер изображения по вертикали и горизонтали, при которых, соответственно, обеспечивается класс точности прибора, не менее	4 деления.
2.20. Режимы работы генератора развертки:	
а) автоколебательный;	
б) ждущий.	
2.21. Число фиксированных коэффициентов развертки (в диапазоне от 0,5 до $5 \cdot 10^6$ мкС/дел)	22.
Длительность развертки плавно регулируется на каждом поддиапазоне с перекрытием не менее чем в 2,5 раза, и может дискретно уменьшаться в 5 раз (множитель «×0,2»).	
2.22. Предел допускаемой основной погрешности коэффициентов развертки в нормальных условиях эксплуатации не более	±4 %;
– при использовании множителя «×0,2», не более	±8 %.
2.23. Временные параметры синхронизирующих сигналов при внешней и внутренней синхронизации развертки	
а) частота	
– для синусоидальных сигналов	$(1 \div 5 \times 10^6)$ Гц;
– для импульсных сигналов обеих полярностей	$\leq 1 \times 10^6$ Гц;
б) длительность (для импульсных сигналов)	$(0,3 \div 1 \times 10^6)$
2.24. В автоколебательном режиме развертки нижняя частота запуска, не менее	мкС. 100 Гц.
2.25. Величина изображения сигнала, необходимая для устойчивой внутренней синхронизации	
а) минимальная:	
– в обычном режиме	$\leq 0,8$ деления;
– при последовательном включении каналов	

I и II	≤ 2 деления;
b) максимальная	≤ 8 делений.
2.26. Величина внешнего сигнала, необходимая для устойчивой внешней синхронизации:	
a) минимальная	0,5 В;
b) максимальная	50 В.
2.27. Нестабильность запуска развертки при любом виде синхронизации, не более	20 нС
2.28. Параметры синусоидального сигнала, обеспечивающего модуляцию луча по яркости (вход Z):	
a) амплитуда	(10 ÷ 25) В;
b) частота	(20 ÷ 1 × 10 <sup>5</sup> ) Гц.
2.29. Предел допускаемой погрешности калибратора в нормальных условиях эксплуатации	
– по амплитуде	±1,5 %;
– по частоте	±1,5 %.

### 3. Устройство и принцип действия осциллографа

Структурная схема прибора изображена на рис. 1.

Основными функциональными блоками осциллографа являются:

3.1. **электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)**, предназначенная для визуализации исследуемых электрических сигналов;

3.2. **тракт вертикального отклонения луча**, предназначенный для усиления (ослабления) исследуемых электрических сигналов, подводимых к вертикально-отклоняющим пластинам ЭЛТ, до необходимой величины, обеспечивающей удобное наблюдение и исследование изображения на экране.

Тракт состоит из двух независимых каналов (**канал Y (I)** и **канал Y (II)**), **коммутатора**, управляющего логикой работы каналов, и **выходного усилителя Y**.

Каждый из каналов содержит: **входную цепь**, **аттенюатор** (частотно-компенсированный делитель), **предварительный усилитель** и **диодную ключевую схему**;

3.3. **промежуточный усилитель**, предназначенный для дополнительного усиления сигнала первого канала, использующегося для внутренней синхронизации развертки в одном из режимов синхронизации и при работе осциллографа в режиме «X–Y»;

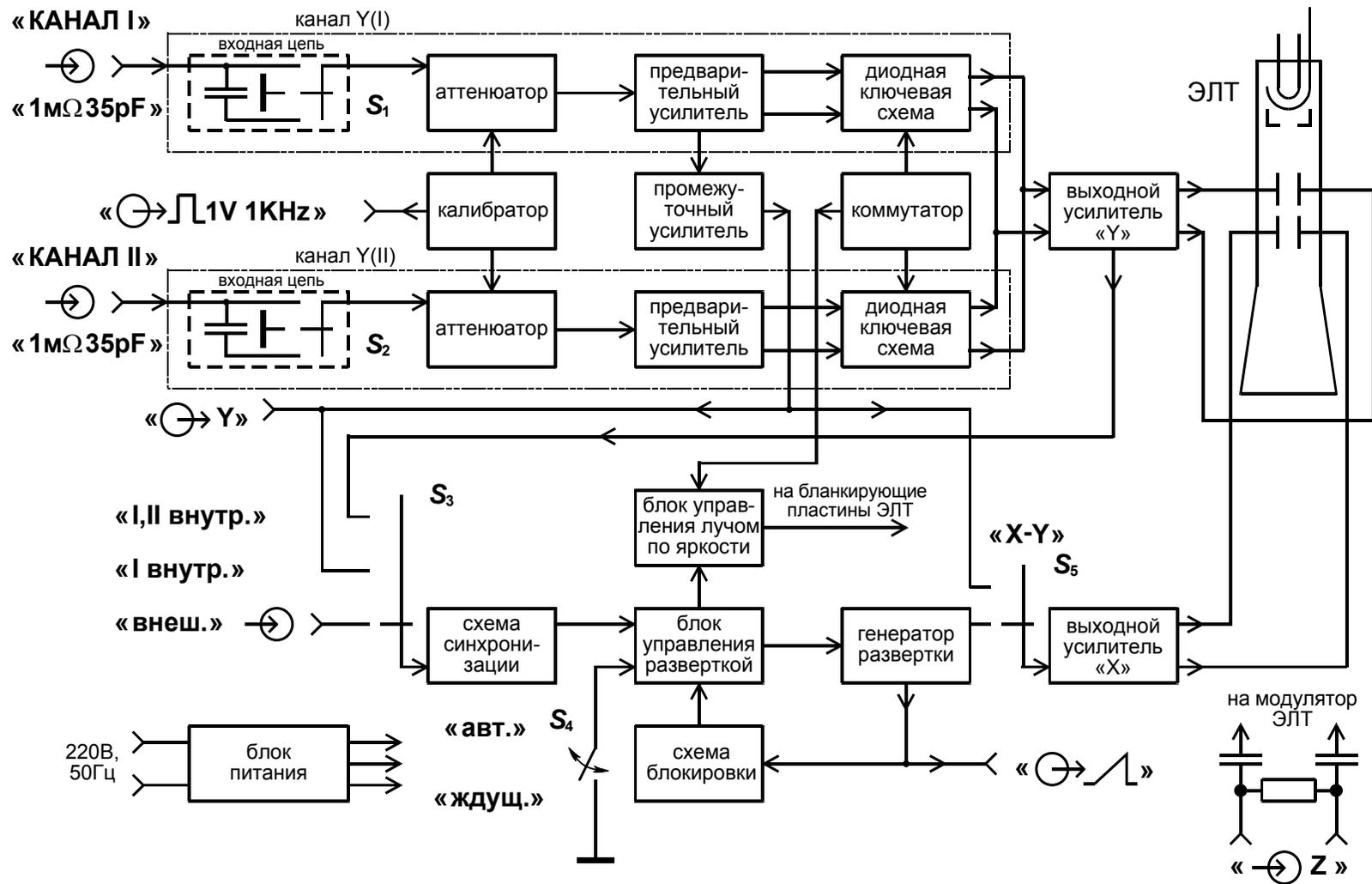


Рис. 1. Структурная схема осциллографа С1-83

3.4. **тракт горизонтального отклонения луча**, осуществляющий развертку изображения исследуемого сигнала по горизонтали. В тракте вырабатывается пилообразное напряжение, называемое напряжением развертки, которое подается на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ в моменты времени, обусловленные выбранным режимом синхронизации.

В состав тракта входят: **схема синхронизации, блок управления разверткой, генератор развертки, схема блокировки и выходной усилитель X**;

3.5. **блок управления лучом по яркости**, предназначенный для формирования импульсов гашения луча ЭЛТ;

3.6. **калибратор**, вырабатывающий образцовое напряжение, используемое для проверки и калибровки коэффициентов отклонения луча по вертикали и длительностей развертки;

3.7. **блок питания**, обеспечивающий прибор необходимыми питающими напряжениями.

Принцип действия осциллографа заключается в следующем.

Исследуемый сигнал подается на входное гнездо « 1MΩ35pF» либо первого («**Канал I**»), либо второго («**Канал II**») каналов, либо два сигнала одновременно подаются на оба входных гнезда тракта вертикального отклонения.

В зависимости от положения переключателя режима входа  $S_1$  ( $S_2$ ) входная цепь или непосредственно (открытый вход « $\approx$ »), или через разделительный конденсатор (закрытый вход « $\sim$ ») передает исследуемый сигнал на вход аттенюатора. Меняя с помощью органов управления коэффициент деления аттенюатора, обеспечивают величину изображения на экране ЭЛТ, удобную для наблюдения.

При установке переключателя  $S_1$  ( $S_2$ ) в положение «**⊥**» соответствующая входная цепь отключается от аттенюатора, вход которого одновременно соединяется с «земляной» шиной осциллографа. В этом режиме исследуемый сигнал на экран не поступает («зависает» на выходе входной цепи), что позволяет точно задать начальное («нулевое») положение линии развертки, необходимое для обеспечения требуемой точности измерений, без отключения входного кабеля от источника сигнала.

С выхода аттенюатора сигнал поступает на предварительный усилитель, в котором находятся элементы для его балансировки, калибров-

ки коэффициента отклонения (« $\blacktriangledown$ »), регулировки усиления (« $\blacktriangleright$ »), а также смещения луча по вертикали (« $\updownarrow$ »).

С выходов предварительных усилителей усиленные сигналы через диодные ключевые схемы поступают на выходной усилитель  $Y$ , с выхода которого – на вертикально-отклоняющие пластины ЭЛТ.

Управление диодными ключевыми схемами осуществляет коммутатор. В зависимости от режима работы коммутатора, задаваемого внешними органами управления, каналы вертикального отклонения могут работать в одном из следующих режимов:

- кнопка «**I**» – на выходной усилитель  $Y$  и, следовательно, на экран ЭЛТ поступает только изображение сигнала первого канала;

- кнопка «**II, X–Y**» – при «классическом» использовании осциллографа на экране ЭЛТ наблюдается только сигнал канала II;

- кнопка «**I  $\pm$  II**» – на экране ЭЛТ изображается один сигнал, являющийся алгебраической суммой (геометрическое сложение) сигналов I и II каналов;

- кнопка «**...**» – на экране ЭЛТ наблюдается изображение сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется с частотой 100 кГц (режим используется при исследовании относительно низкочастотных сигналов);

- кнопка « **$\rightarrow \rightarrow$** » – на экране ЭЛТ представлены изображения сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется в конце каждого прямого хода развертки (применяется при исследовании относительно высокочастотных сигналов).

Следует отметить, что выходной сигнал предварительного усилителя первого (только!) канала поступает еще и на промежуточный усилитель, с выхода которого сигналы направляются:

- на выходное гнездо « **$\odot \rightarrow Y$** » – «технологический» выход первого канала, используемый при проведении ремонтных работ и для последовательного соединения усилительных трактов I-го и II-го каналов при исследовании сигналов малой величины;

- для внутренней синхронизации развертки изображения сигналом первого канала (при задании этого режима органами управления);

- для подачи на выходной усилитель  $X$  при работе осциллографа в режиме «**X–Y**»;

Тракт горизонтального отклонения луча, разворачивающий изображение сигналов по горизонтали экрана, может работать либо в ждущем, либо в автоколебательном режимах.

В *ждушем* режиме (тумблер  $S_4$  в положении «*ждуш.*») на вход схемы синхронизации в зависимости от положения переключателя  $S_3$  приходят запускающие сигналы либо:

- с выхода промежуточного усилителя (внутренняя синхронизация сигналом первого канала – нажата кнопка «**I внутр.**»);
- с выхода выходного усилителя  $Y$  (внутренняя синхронизация сигналами первого и второго каналов – кнопка «**I, II внутр.**»);
- от внешнего источника синхронизирующих сигналов (внешняя синхронизация – кнопки «**0,5 – 5 внеш.**» или «**5 – 50 внеш.**» в зависимости от амплитуды запускающих сигналов).

Схема синхронизации осуществляет селекцию поступающих сигналов по полярности и величине (в соответствии с положением кнопок «+», «-» и потенциометра «**уровень**») и, если эти параметры соответствуют требуемым, вырабатывает нормализованные импульсы, следующие на вход блока управления разверткой. Работая в *ждушем* режиме, этот блок синхронно со входными сигналами запускает генератор развертки, вырабатывающий пилообразное напряжение. «Пила» усиливается выходным усилителем  $X$  и поступает на горизонтально – отклоняющие пластины ЭЛТ, осуществляя развертку наблюдаемых сигналов по горизонтальной оси экрана.

Если на входе схемы синхронизации отсутствуют запускающие сигналы, или какие-либо их параметры не соответствуют требуемым, генератор развертки не работает, и развертка не осуществляется (экран «темный»).

В *автоколебательном* режиме работы (переключатель  $S_4$  в положении «**авт.**») тракт горизонтального отклонения луча работает точно так же, как и в *ждушем*. Однако это происходит лишь в случае поступления на вход схемы синхронизации запускающих сигналов, параметры которых соответствуют требуемым. Если это условие нарушено, схема синхронизации перестает вырабатывать нормализованные импульсы, синхронизирующие работу блока управления разверткой. Последний переходит в автоколебательный режим, запуская генератор развертки с частотой  $\approx 100$  Гц. В этом случае при отсутствии входных сигналов осциллографа на экране ЭЛТ наблюдается горизонтальная линия развертки – яркая полоса.

Схема блокировки предупреждает повторный запуск генератора развертки при обратном ходе развертки и в течение времени восстановления исходного состояния генератора, а также задает амплитуду выходного пилообразного напряжения.

Блок управления лучом по яркости по сигналам от блока управления разверткой и коммутатора вырабатывает прямоугольные импульсы напряжения, поступающие на бланкирующие пластины ЭЛТ для гашения луча во время обратного хода развертки и в моменты переключения каналов I и II.

Вход «*Z*» используется для подачи внешнего управляющего напряжения известной фиксированной частоты на модулятор ЭЛТ для модуляции луча по яркости. В этом случае на изображении исследуемого сигнала появляются световые метки, расстояние между которыми равно периоду управляющего (модулирующего) напряжения, что упрощает временные измерения.

При работе осциллографа в режиме «*X–Y*» к выходному усилителю *X* с помощью переключателя *S*<sub>5</sub> вместо выхода генератора развертки подключают выход промежуточного усилителя, усиливающего сигнал первого канала. Одновременно первый канал отключается от выходного усилителя *Y*. В этом случае отклонение луча по горизонтали на экране ЭЛТ осуществляется не пилообразным напряжением развертки, как в «классическом» режиме, а усиленным сигналом, поступающим на первый вход осциллографа. Второй канал тракта вертикального отклонения остается подключенным ко входу выходного усилителя *Y*. Данный режим позволяет наблюдать на экране осциллографа функциональную зависимость между входными сигналами  $Y = f(X)$ , представляющую собой либо график в декартовой системе координат, либо фигуру Лиссажу (в зависимости от вида сигналов).

Для периодической проверки и калибровки коэффициентов отклонения луча первого и второго каналов, а также длительностей развертки используется калибратор, вырабатывающий образцовые напряжения – постоянное и импульсное. Калибратор подключается к аттенюаторам обоих каналов с помощью внешних органов управления. Наблюдая на экране ЭЛТ изображение образцового напряжения и проводя соответствующие регулировки, осуществляют калибровку коэффициентов отклонения и длительностей развертки.

#### 4. Описание органов управления осциллографом

**Внимание!** Для кнопочных переключателей недопустимо одновременное нажатие двух и более кнопок из одной функциональной группы!

Расположение органов управления на передней панели прибора приведено на рис.2.

#### 4.1. Органы управления ЭЛТ:

- ручка «  » – регулирует яркость изображения;
- ручка «  » – регулирует четкость (фокус) изображения;
- ручка «  » – регулирует астигматизм луча;
- ручка «  » – регулирует освещение линий шкалы на экране ЭЛТ.

#### 4.2. Органы управления тракта вертикального отклонения:

- переключатели « **V/дел.** » – устанавливают калиброванные коэффициенты отклонения луча каналов I и II, когда **ручки потенциометров плавной регулировки коэффициентов отклонения установлены в крайнее правое положение (до щелчка!)**;
- потенциометры «  » – регулируют коэффициенты отклонения каналов;
- потенциометры «  » – обеспечивают плавную регулировку коэффициентов отклонения обоих каналов с перекрытием не менее чем в 2,5 раза в каждом положении переключателя « **V/дел.** »;
- потенциометры «  » – регулируют положение лучей обоих каналов по вертикали;
- «  **1MΩ35pF** » – высокочастотные гнезда для подачи исследуемых сигналов (входы усилителей);
- переключатели режима работы входов усилителя в положениях:
  - а) «  » – на вход усилителя исследуемый сигнал поступает через разделительный конденсатор, пропускающий только переменную составляющую сигнала (закрытый вход);
  - б) «  » – на вход усилителя исследуемый сигнал поступает с постоянной составляющей (открытый вход);
  - с) «  » – вход усилителя подключен к корпусу;

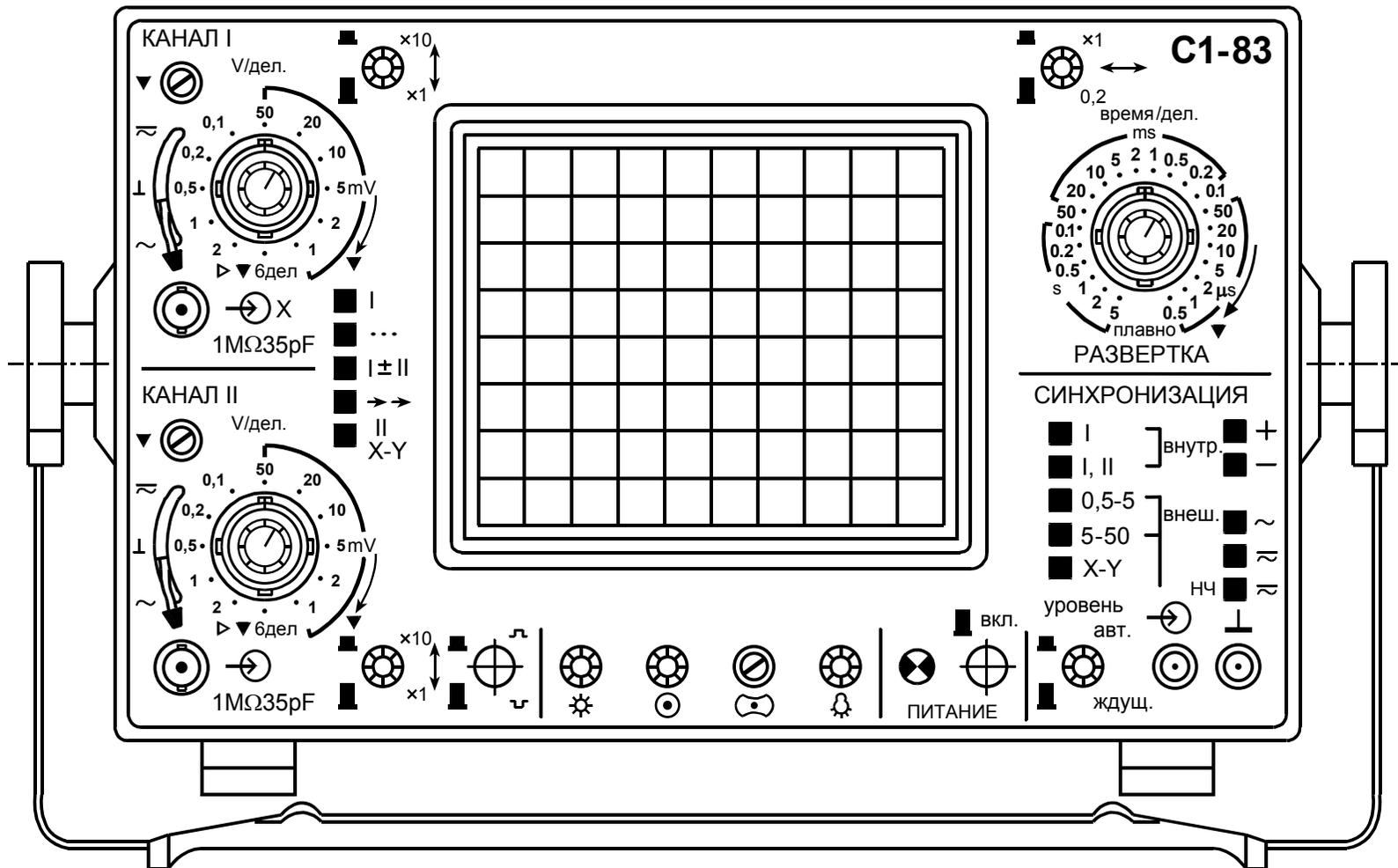


Рис. 2. Лицевая панель осциллографа С1-83

- переключатели режима работы усилителей в положениях:
  - a) « I » – на экране ЭЛТ наблюдается сигнал канала I;
  - b) « II, X + Y » – на экране ЭЛТ наблюдается сигнал канала II;
  - c) « I ± II » – на экране ЭЛТ наблюдается алгебраическая сумма сигналов каналов I и II;
  - d) « ... » – на экране ЭЛТ наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется с частотой 100 кГц;
  - e) « → → » – на экране ЭЛТ наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется в конце каждого прямого хода развертки;
- переключатель инвертирования сигнала во II- ом канале в положениях:
  - a) «  » – фаза сигнала не меняется;
  - b) «  » – фаза сигнала меняется на 180°;
- переключатели изменения усиления каналов в 10 раз, совмещенные с ручкой «  », в положениях:
  - a) « ×1 » – коэффициент отклонения канала соответствует положению аттенюатора (ручка «  » вытянута – обозначение состояния ручки «  »);
  - b) « ×10 » – коэффициент отклонения канала соответствует положению аттенюатора, умноженному на 10 (ручка «  » утоплена – обозначение состояния ручки – «  »).

#### 4.3. Органы управления синхронизацией:

- потенциометр « **уровень** » – выбирает уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развертки;
- переключатель источника синхронизации в положениях:
  - a) « I внутр. » – развертка синхронизируется сигналом первого канала;
  - b) « I, II внутр. » – развертка синхронизируется сигналами обоих каналов;
  - c) « 0,5 – 5 внеш. » – развертка синхронизируется внешним сигналом амплитудой 0,5 ÷ 5 В;
  - d) « 5 – 50 внеш. » – развертка синхронизируется внешним сигналом амплитудой 5 ÷ 50 В;

- е) «  $X - Y$  » – вход усилителя  $X$  отключается от генератора развертки и подключается к I – му каналу усилителя  $Y$ , работа генератора развертки прекращается;
- переключатель режима работы входа синхронизации в положениях:
    - а) «  $\sim$  » – закрытый вход синхронизации;
    - б) «  $\approx$  » – открытый вход синхронизации;
    - с) «  $\approx$  НЧ » – открытый вход синхронизации с подключенным фильтром нижних частот.
  - переключатель полярности синхронизирующего сигнала в положениях:
    - а) « + » – развертка синхронизируется положительным перепадом запускающего сигнала;
    - б) « - » – развертка синхронизируется отрицательным перепадом запускающего сигнала;
  - «  $\rightarrow$  **внеш.** » – гнездо для подачи внешнего синхронизирующего сигнала.

#### 4.4. Органы управления разверткой:

- переключатель « **время/дел.** » – устанавливает калиброванный коэффициент развертки в случае, когда ручка плавной регулировки скорости развертки установлена в крайнее правое положение «  $\blacktriangleright$  » (до щелчка).
- ручка « **плавно** » – обеспечивает плавную регулировку коэффициента развертки с перекрытием в  $\geq 2,5$  раза в каждом положении переключателя « **время/дел.** »;
- потенциометр «  $\leftrightarrow$  » – обеспечивает перемещение лучей по горизонтали;
- переключатель «  $\times 1, \times 0,2$  », совмещенный с ручкой «  $\leftrightarrow$  » – увеличивает скорость развертки в положении «  $\times 0,2$  » в 5 раз относительно значения, соответствующего положению переключателя « **время/дел.** » (ручка потенциометра «  $\leftrightarrow$  » вытянута – обозначение состояния ручки – «  $\blacksquare$  »);
- переключатель режима работы генератора развертки, совмещенный с ручкой потенциометра « **уровень** », в положениях:

а) « **авт.** » – генератор развертки работает в автоколебательном режиме и режиме синхронизации, вырабатывая пилообразное напряжение даже при отсутствии запускающих сигналов. Синхронизация осуществляется с частотой не ниже 100 Гц (ручка « **уровень** » утоплена – находится в состоянии «  »);

б) « **ждуш.** » – запуск развертки осуществляется только при наличии синхронизирующего сигнала (ручка « **уровень** » вытянута в положение «  »).

4.5. Переключатель « **ПИТАНИЕ** » – осуществляет включение («  ») и выключение («  ») осциллографа.

4.6. Органы управления и присоединения, расположенные на левой боковой стенке прибора (рис. 3):

- гнездо «  » – корпус прибора;
- гнездо «  Y » – выход I канала;
- гнездо «   1V1kHz » – выход калибратора;
- переключатель «  ,  » – переключает выход калибратора с постоянного напряжения на переменное типа «меандр».

4.7. Органы управления, расположенные на правой боковой стенке прибора (рис. 4):

- гнездо «  » – корпус прибора;
- гнездо «   » – выход пилообразного напряжения развертки;
- потенциометр «  x1 » – калибровка скорости развертки;
- потенциометр «  x 0,2 » – калибровка скорости развертки при растяжке.

4.8. Органы управления и присоединения, расположенные на задней панели прибора:

- разъем « **СЕТЬ** » – для подсоединения шнура питания к сети или источнику постоянного напряжения;
- держатели предохранителей с надписью « **2 А** », « **1 А** » – для включения защитных плавких предохранителей в цепь питания осциллографа;

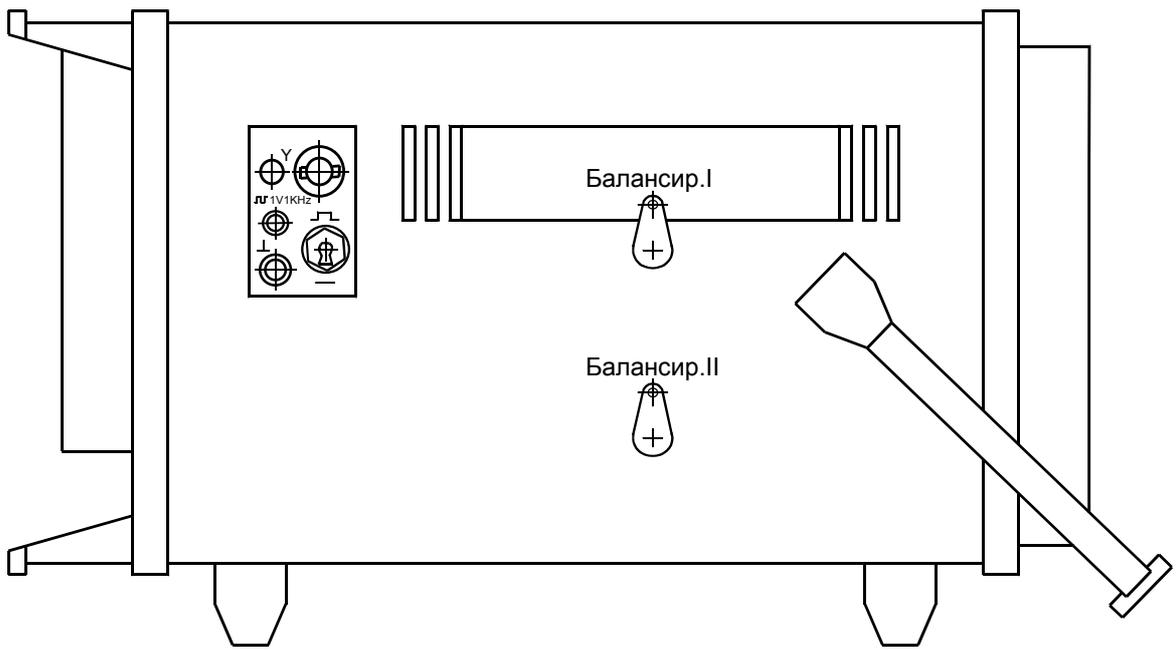


Рис. 3. Левая боковая панель осциллографа С1-83

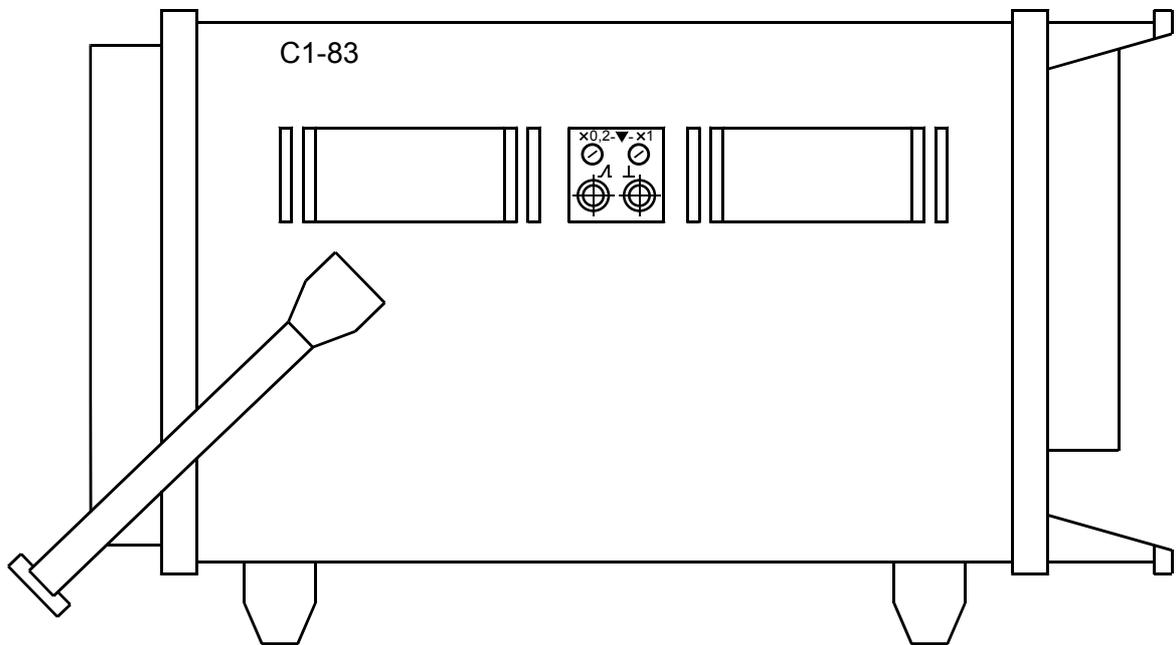


Рис. 4. Правая боковая панель осциллографа С1-83



– установите тумблер «, ~» в положение «~», если прибор питается от сети переменного тока, и в положение «, ~», если прибор питается от источника постоянного тока;

– тумблер «**220 V, 115 V**» переключите на соответствующее напряжение сети переменного тока. При питании прибора от источника постоянного тока положение тумблера «**220 V, 115 V**» не принципиально.

5.3. Включите тумблер «**ПИТАНИЕ**» на передней панели прибора (  ). **При этом должна загореться сигнальная лампочка.** Дайте прибору прогреться в течение 2 – 3 минут. Приступите к калибровке и проверке работоспособности прибора.

5.4. Ручкой «» установите яркость линии развертки, удобную для наблюдения.

5.5. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «**I**».

5.6. Ручкой «» канала I совместите линию развертки с центром экрана.

5.7. Ручкой «» установите одинаковую четкость изображения по всей линии луча.

5.8. Установите переключатель «**V/дел.**» канала I в положение «**▼ 6 дел.**», а ручку «» – в крайнее правое положение «**▼**» (до щелчка). При этом величина изображения сигнала на экране ЭЛТ должна быть равна 6 делениям. Если величина изображения импульсов не равна 6 делениям, то откалибруйте усилитель. Калибровка осуществляется потенциометром «**▼**», выведенным под шлиц на переднюю панель над переключателем «**V/дел.**» I-го канала. Вращая ручку потенциометра «**▼**» лезвием отвертки, установите величину изображения по вертикали, равную 6 делениям.

5.9. Поверните ручку «» канала I влево до упора. Величина изображения должна уменьшиться не менее чем в 2,5 раза. Возвратите ручку «» в положение «**▼**».

5.10. Установите переключатель рода работы усилителя в положение «**II**» и повторите операции по п.п. 6÷9. Калибровка коэффициента отклонения канала II, при необходимости, производится аналогично п. 8

с помощью ручки потенциометра « ▼ », относящегося ко второму каналу и выведенного под шлиц на переднюю панель над переключателем « V/дел. » II-го канала.

5.11. Установите поворотом ручки « **уровень** » устойчивое изображение на экране ЭЛТ в различных положениях переключателей полярности синхронизирующих сигналов и режима работы входа синхронизации: а) « +, ~ »; б) « -, ~ »; в) « +, ≈ »; г) « -, ≈ ».

5.12. Установите переключатель рода работы усилителя в положение « **I** ».

5.13. Переключатель рода синхронизации установите в положение « **I внутр.** ».

5.14. Проверьте наличие синхронизации по п. 5.11.

5.15. Установите переключатель рода работы усилителя в положение « ... ». При этом на экране ЭЛТ должны наблюдаться изображения сигналов обоих каналов.

5.16. Переведите переключатель рода работы усилителя в положение « → → ». На экране ЭЛТ должны сохраниться изображения сигналов обоих каналов.

5.17. Установите с помощью ручек « ▷ » изображения обоих сигналов величиной 4 деления.

5.18. Установите переключатель рода работы усилителя в положение « **I ± II** ». При этом на экране ЭЛТ должен наблюдаться сигнал размахом 8 делений.

5.19. Переведите переключатель инвертирования сигнала во II канале в положение «  » («  »). На экране должна наблюдаться прямая линия. Возвратите переключатель инвертирования в исходное состояние «  » («  »).

5.20. Поверните ручку «  » от упора до упора. Изображение должно перемещаться по горизонтали.

5.21. Установите переключатель « V/дел. » каналов I и II в положение « **20 mV** », переключатели « ×1; ×10 » – в положение « ×10 », а ручки « ▷ » обоих каналов – в положение « ▼ ».

5.22. Установите переключатели входов «  $\approx$  ,  $\perp$  ,  $\sim$  » каналов I и II в положение «  $\approx$  ».

5.23. Переключатель рода работы усилителя установите в положение « I ».

5.24. Соедините кабелем вход канала I с выходом калибратора «  $\odot \rightarrow \square 1V1kHz$  ». Величина изображения импульсов должна составлять пять делений шкалы экрана.

5.25. Переведите переключатель рода работы усилителя в положение « II, X-Y », переключатель рода синхронизации – в положение « I, II внутр. ».

5.26. Соедините кабелем вход канала II с выходом калибратора «  $\odot \rightarrow \square 1V1kHz$  ». Величина изображения импульсов должна составлять пять делений шкалы экрана.

5.27. Установите переключатель развертки в положение « 1 mS », переключатель «  $\times 1$ ,  $\times 0,2$  » – в положение «  $\times 1$  ». Поворотом ручки «  $\leftrightarrow$  » совместите начало периода сигнала с первой вертикальной линией экрана ЭЛТ. На всей длине экрана (10 делений) должно помещаться 10 периодов. При необходимости произведите калибровку развертки. Калибровка осуществляется с помощью потенциометра «  $\blacktriangledown \times 1$  », расположенного на правой боковой стенке прибора. Вращая ручку потенциометра, добейтесь, чтобы десять периодов сигнала совпало с десятью делениями шкалы экрана ЭЛТ.

5.28. Установите переключатель «  $\times 1$ ,  $\times 0,2$  » в положение «  $\times 0,2$  ». На всей длине экрана должно помещаться 2 периода. При необходимости произведите калибровку развертки. Для этого переведите переключатель развертки в положение « 5 mS ». Ручкой « уровень » установите на экране ЭЛТ устойчивое изображение. С помощью ручки «  $\leftrightarrow$  » совместите один из фронтов импульса на начальном участке развертки с первой вертикальной линией на экране ЭЛТ. Отсчитайте десять периодов сигнала калибратора и, вращая ручку потенциометра «  $\blacktriangledown \times 0,2$  » (правая стенка прибора), добейтесь, чтобы десять периодов сигнала совпало с десятью делениями шкалы экрана ЭЛТ.

5.29. Установите переключатели « V/дел. » I-го и II-го каналов в положение «  $\blacktriangledown 6$  дел. ». Переключатель синхронизации установите в положение « X-Y ». На экране ЭЛТ должна наблюдаться наклонная линия,

представляющая собой диагональ мнимого квадрата со стороной 6 делений.

После проверки работоспособности и калибровки осциллографа переведите органы управления прибором (**не выключая его!**) в исходное состояние (п. 6).

**Примечание:** если осциллограф используется практически ежедневно, то проверка калибровки прибора проводится по укороченной программе: выполняются только пункты 1, 3 – 8, 27, 10, 27.

## 6. Исходное состояние осциллографа

Для перевода осциллографа в исходное состояние установите ручки и переключатели органов управления на передней панели прибора в следующие положения:

органы управления ЭЛТ:

– «  », «  », «  » – в среднее;

органы управления трактов вертикального отклонения обоих каналов:

– «  ,  ,  » – в положение «  »;

– «  » – в среднее;

– « **V/дел.** » – в положение « **2 V** »;

– «  » – в крайнее правое положение «  » (до щелчка);

– « **×1, ×10** » – в положение « **×10** »;

– « **I, ... , I ± II,   , ( II, X-Y )** » – в положение «   »;

– переключатель «  ,  » канала II – в положение «  » – «  »;

органы управления разверткой:

– « **время/дел.** » – в положение « **1 mS** »;

– «  » – в крайнее правое положение «  » (до щелчка);

– « **×1; ×0,2** » – в положение « **×1** »;

органы управления синхронизацией:

– « **СИНХРОНИЗАЦИЯ** » – в положение « **I внутр.** »;

- « +, – » – в положение « + »;
- « ~ ,  $\approx$  ,  $\approx$  НЧ » – в положение «  $\approx$  »;
- « авт., ждущ. » – в положение « авт. »;
- « уровень » – в крайнее правое;

другие органы управления:

- переключатель «  $\sqcap$  , – » калибратора – в положение «  $\sqcap$  ».
- Осциллограф подготовлен к проведению измерений.

## 7. Проведение измерений

### 7.1 Измерение постоянного напряжения

Выполните следующие операции:

- поставьте ручку « уровень » в положение « авт. » – «  $\blacksquare$  »;
- выберите для предстоящей работы один из каналов осциллографа.

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

- поставьте переключатель режима работы усилителей в положение « I »;
- установите переключатель « V/дел. » канала I в положение « 2V », а переключатель «  $\times 1$ ;  $\times 10$  » – в положение «  $\times 10$  » – «  $\blacksquare$  »;
- установите ручку плавной регулировки коэффициента усиления первого канала «  $\triangleright$  » в крайнее правое положение (до щелчка).
- поставьте переключатель «  $\approx$  ,  $\perp$  , ~ » канала I в положение «  $\perp$  »;
- если известно, что измеряемое напряжение **положительно** относительно «корпуса», ручкой «  $\updownarrow$  » 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. 5, а. Запомните положение контрольной линии.



а)



б)

Рис. 5. Формирование контрольной линии (а) и измерение постоянного напряжения (б)

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 «» после установки контрольной линии;

– подайте измеряемый сигнал на входной разъем « 1MΩ35pF» используемого канала;

– верните переключатель «, , » канала I в положение «»;

**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 «V/дел.» и «**×1; ×10**» канала I в такое положение, чтобы сместившаяся под действием входного сигнала линия развертки отстояла от контрольной на  $4 \div 7$  делений шкалы;

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

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

– умножьте расстояние, измеренное выше, на показания переключателей «V/дел.» и «**×1; ×10**».

**ПРИМЕР.** Расстояние между контрольной линией и линией развертки составляет 6,2 деления (рис. 5, б); переключатель «V/дел.» установлен в положение «**0,5 V**», а переключатель «**×1; ×10**» – в положение «**×10**» (ручка «» утоплена – «»).

Измеряемое напряжение составляет:

$$6,2 \text{ делен.} \times (0,5 \text{ В/ делен.}) \times 10 = 31 \text{ В.}$$

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

Выполните указанные операции:

- подайте измеряемый сигнал на гнездо « $\rightarrow \text{1M}\Omega\text{35pF}$ » одного из каналов;
- установите переключатель режима работы усилителя на выбранный канал;

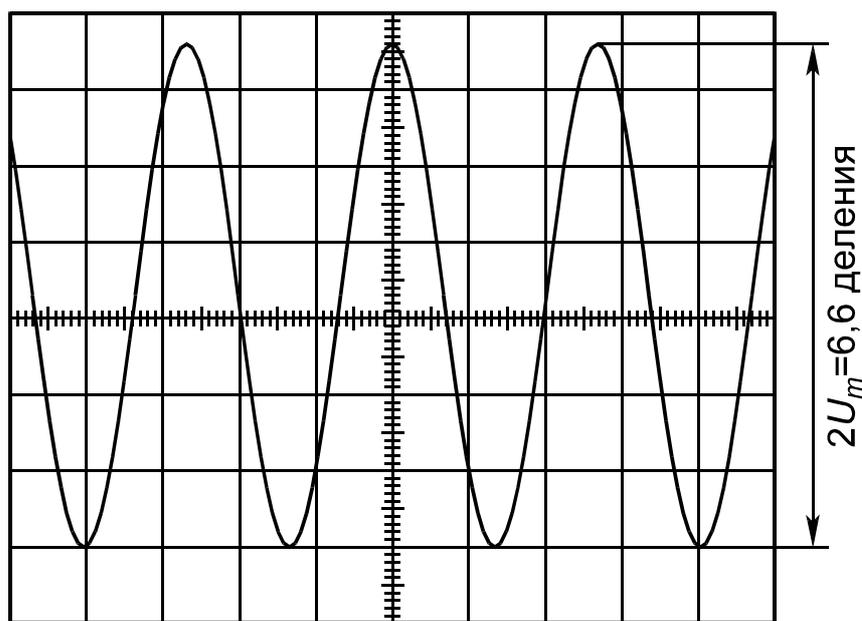


Рис. 6. Измерение полного размаха (двойной амплитуды) переменного синусоидального напряжения

- поставьте переключатель « $\approx$ ,  $\perp$ ,  $\sim$ » этого канала в положение « $\sim$ ».

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

- поверните ручку « $\blacktriangleright$ » плавной регулировки усиления используемого канала в крайнее правое положение (до щелчка);
- поставьте переключатели «V/дел.» и « $\times 1$ ;  $\times 10$ » данного канала в такое положение, чтобы полный размах изображения составлял более 4-х больших делений шкалы экрана;

– ручкой « **уровень** » установите устойчивое изображение. Поставьте переключатель « **время/дел.** » в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;

– ручкой « **↔** » горизонтального перемещения сместите изображение таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на средней вертикальной линии шкалы (рис. 6):

– установите ручку « **↑↓** » вертикального смещения так, чтобы минимальный уровень сигнала совпадал с одной из нижних горизонтальных линий, а максимальный – находился в пределах экрана;

– измерьте расстояние в делениях между нижней и верхней точками изображения.

**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 « **V/дел.** » и « **×1, ×10** ».

**ПРИМЕР.** Полный размах сигнала составляет 6,6 делений (рис. 6); используется внешний делитель 1:10; переключатель « **V/дел.** » установлен в положение « **5 mV** », а переключатель « **×1; ×10** » – в положение « **×10** » (ручка « **↑↓** » вытянута – « **■** »).

Измеряемое напряжение составляет:

$$6,6 \text{ делен.} \times 10 \times (5 \text{ мВ/ делен.}) \times 10 = 3300 \text{ мВ,}$$

следовательно, амплитуда сигнала  $U_m=1650 \text{ мВ}$ .

## 7.2. Измерение амплитуды переменной составляющей импульсного сигнала с **большой постоянной составляющей**

Выполните следующие операции:

- поставьте ручку « **уровень** » в положение « **авт.** » – « **■** »;
- выберите для предстоящей работы один из каналов осциллографа (для определенности воспользуемся первым каналом);
- поставьте переключатель режима работы усилителей в положение « **I** »;
- установите переключатель « **V/дел.** » канала I в положение « **2V** », а переключатель « **×1; ×10** » – в положение « **×10** » – « **■** »;

- установите ручку плавной регулировки коэффициента усиления первого канала «▷» в крайнее правое положение (до щелчка);
- поставьте переключатель « $\approx$ ,  $\perp$ ,  $\sim$ » канала I в положение « $\sim$ »;
- установите переключатель источника синхронизации в положение «I внутр.»;
- поставьте переключатель полярности синхронизирующего сигнала в положение «+» или «-» в зависимости от вида исследуемого сигнала;
- установите переключатель режима работы входа синхронизации в положение « $\sim$ »;

**Примечание:** если величина переменной составляющей сигнала соразмерна с постоянной составляющей, можно использовать положение « $\approx$ »;

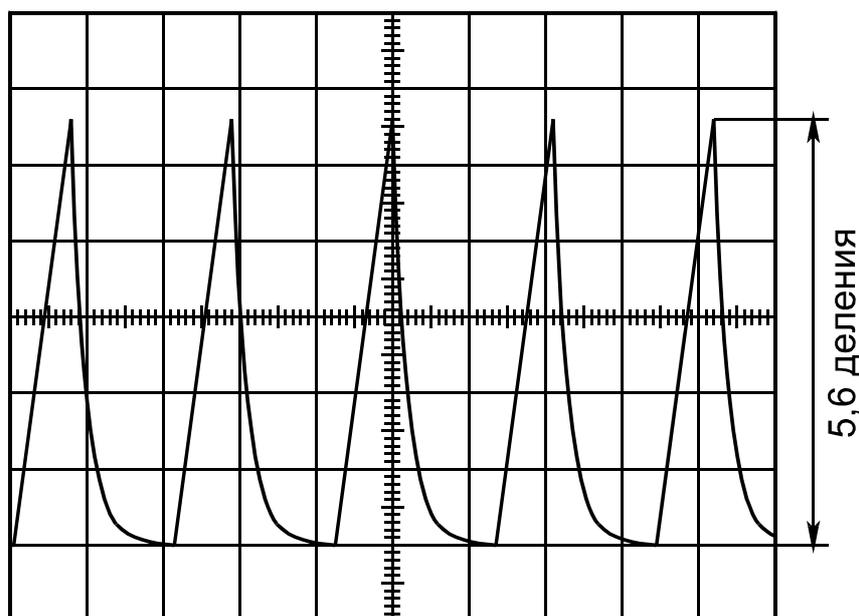


Рис. 7. Измерение амплитуды переменной составляющей импульсного сигнала, имеющего большую постоянную составляющую

- подайте измеряемый сигнал на гнездо «  1MΩ35pF » первого канала;
- ручкой «уровень» установите устойчивое изображение;
- поставьте переключатели « V/дел. » и « ×1; ×10 » в такое положение, чтобы полный размах переменной составляющей сигнала составлял более 4-х больших делений шкалы экрана;
- установите ручку «  » канала I в такое положение, чтобы минимальный уровень сигнала совпадал с одной из нижних горизонтальных линий, а максимальный – находился в пределах экрана;
- ручкой «  » горизонтального перемещения сместите изображение таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на средней вертикальной линии шкалы (рис. 7);
- поставьте переключатель « время/дел. » в положение, при котором наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;
- если синхронизация нарушилась, ручкой « уровень » добейтесь устойчивого 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 « V/дел. » и « ×1, ×10 ».

**ПРИМЕР.** Размах вертикального отклонения сигнала составляет 5,6 деления, используется внешний делитель 1:10, переключатель « V/дел. » установлен в положение «5 mV», а переключатель « ×1; ×10 » – в положение « ×1 » (ручка «  » вытянута – «  ») – рис. 7.

Измеряемое напряжение составляет:

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

### 7.3. Измерение временного сдвига между двумя импульсными сигналами

Для измерения временного сдвига между двумя импульсами выполните следующие действия:

– установите переключатели «  $\approx$  ,  $\perp$  ,  $\sim$  » обоих каналов в нужное положение в зависимости от вида сигналов;

– установите переключатель режима работы усилителя в положение «...» или «  $\rightarrow \rightarrow$  » в соответствии с предполагаемой частотой входных сигналов;

**Примечание:** режим «...» более пригоден для исследования низкочастотных сигналов;

– установите переключатель источника синхронизации в положение « **I внутр.** »;

– 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 временем задержки);



Рис. 8. Измерение временного сдвига между двумя импульсными сигналами

- если сигналы имеют различную полярность, тумблером « ,  » инвертируйте сигнал канала II;
- переключателями « V/дел. » и « ×1; ×10 » установите размеры изображений сигналов обоих каналов по 2-8 делений;
- ручкой « **уровень** » установите устойчивое изображение сигналов;
- переключателями « **время/дел.** » и « ×1; ×0,2 » установите такую скорость развертки, чтобы между импульсами было не менее 4-х делений;
- ручками «  » обоих каналов установите оба импульса (или точки изображения, между которыми производится измерение) посередине экрана относительно центральной горизонтальной линии;
- с помощью ручки «  » совместите контрольный сигнал с какой-либо из начальных вертикальных линий сетки в левой части экрана;
- измерьте расстояние по горизонтали между импульсами канала I и канала II (рис. 8);
- умножьте полученное число на скорость развертки, соответствующую положению переключателей « **время/дел.** » и « ×1; ×0,2 ».

**ПРИМЕР.** Переключатель « **время/дел.** » установлен в положение « **50 μS** », включена растяжка развертки, разность по горизонтали между импульсами составляет 4,4 деления. Следовательно, временной сдвиг между сигналами:

$$4,4 \text{ делен.} \times (50 \text{ мкс/дел.}) \times 0,2 = 44 \text{ мкс.}$$

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

Выполните следующие действия:

- подайте исследуемый сигнал на гнездо «  **1MΩ35pF** » одного из каналов;
- установите переключатель « V/дел. » в такое положение, чтобы изображение на экране составило 5-7 делений;
- установите переключатели « **время/дел.** » и « ×1, ×0,2 » 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 обеспечено даже при использовании максимально высокой скорости развертки (переключатель « время/дел. » находится в положении «  $0,5 \mu S$  », переключатель «  $\times 1$ ;  $\times 0,2$  » – в положении «  $\times 0,2$  »).

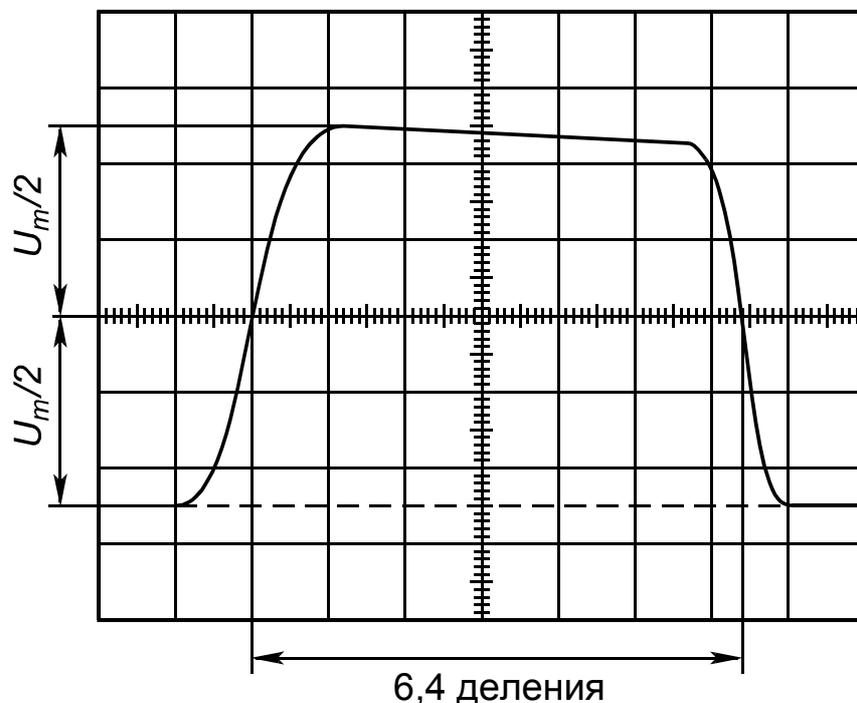


Рис. 9. Измерение длительности между двумя точками сигнала (активной длительности импульса)

– установите ручкой «уровень» устойчивое изображение на экране ЭЛТ;

– переместите ручкой « $\updownarrow$ » 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 « $\leftrightarrow$ » переместите изображение сигнала таким образом, чтобы точка, от которой начинается отсчет, совместилась с одной из вертикальных линий в левой стороне экрана (рис. 9);

– измерьте горизонтальное расстояние между точками отсчета;

– умножьте расстояние, определенное выше, на коэффициент развертки и показатель положения переключателя «  $\times 1$ ;  $\times 0,2$  » – получите требуемый результат.

**ПРИМЕР.** Расстояние между точками отсчета составляет 6,4 деления (рис. 9); переключатель « **время/дел.** » установлен в положение « **0,2 мС** », а переключатель «  $\times 1$ ;  $\times 0,2$  » – в положение «  $\times 1$  ». Длительность сигнала составляет:

$$(0,2 \text{ мС/ делен.}) \times 6,4 \text{ делен.} \times 1 = 1,28 \text{ мС.}$$

### 7.5. Измерение частоты периодических сигналов

Для измерения частоты выполните следующие действия:

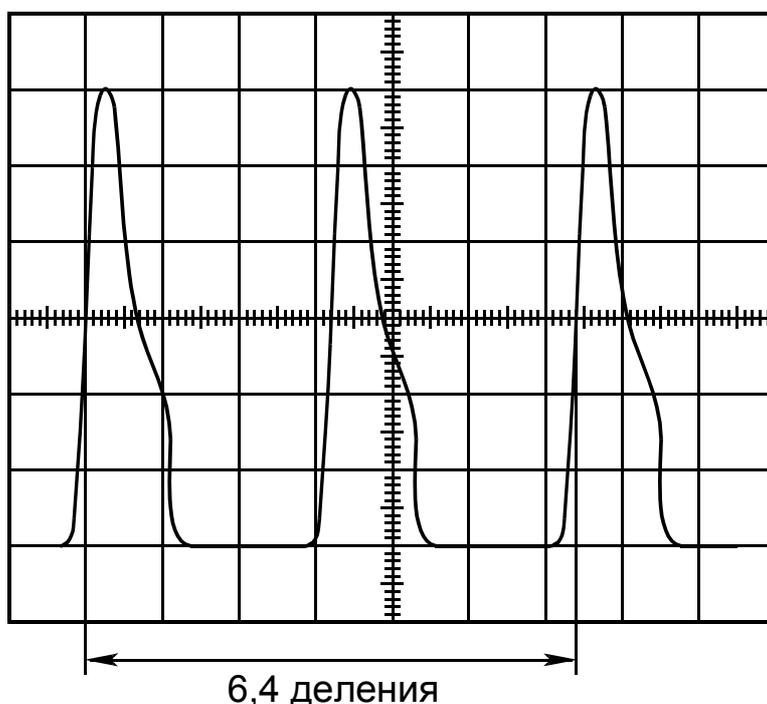


Рис. 10. Измерение частоты периодического сигнала

– измерьте длительность одного периода  $T$  сигнала по методике, изложенной в пункте 7.5.

**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 опреде-

лялись 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  $f_c$  по формуле:

$$f_c = n / T ,$$

где  $n$  – число измеренных периодов.

**ПРИМЕР.** Длительность двух периодов наблюдаемого сигнала составляет 6,4 деления (рис. 10); переключатель « **время/дел.** » установлен в положение « **10  $\mu$ S** », а переключатель «  **$\times 1$ ;  $\times 0,2$**  » – в положение «  **$\times 1$**  ».

Таким образом:

$$2T = (10 \text{ мкС/ делен.}) \times 6,4 \text{ делен.} \times 1 = 64 \text{ мкС.}$$

Следовательно, частота сигнала:

$$f_c = 2/64 \text{ мкС} \cong 31250 \text{ Гц.}$$

#### 7.6. Измерение времени нарастания (фронта) 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**  $t_{фа}$  – интервале времени, в течение которого сигнал меняется на фронте между уровнями 0,1 и 0,9 своей амплитуды  $U_m$ .

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

- установите переключатель режима работы усилителя в положение « **I** »;
- ручку плавной регулировки скорости развертки « **▷** » поставьте в крайнее правое положение « **▼** » (до щелчка);
- подайте исследуемый сигнал на гнездо « **↻ 1M $\Omega$ 35pF** » канала I;
- с помощью органов управления синхронизацией добейтесь устойчивого состояния изображения сигнала на экране ЭЛТ;

- установите переключателями « V/дел. » и « ×1, ×10 » максимально возможное (в пределах экрана) изображение сигнала по амплитуде;
- вращая ручку плавной регулировки « ▷ » коэффициента усиления первого канала, установите такой размер изображения сигнала по вертикали, чтобы амплитуда импульса составила целое число делений экрана;
- ручкой « уровень » синхронизируйте начало развертки с самой нижней точкой изображения фронта;

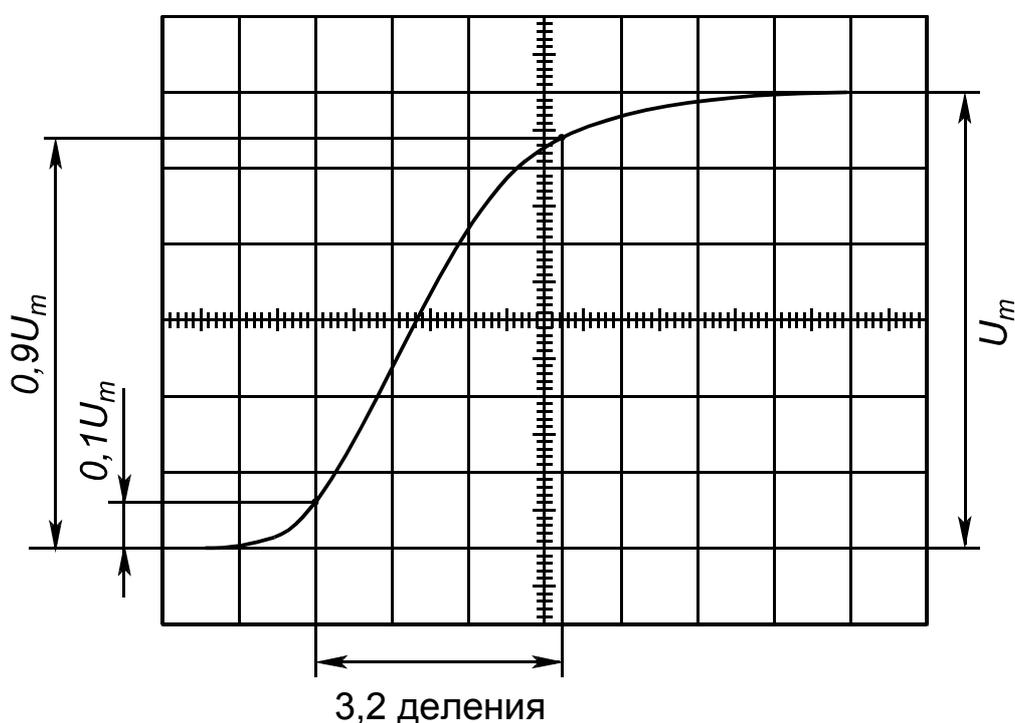


Рис. 11. Измерение активной длительности фронта импульсного сигнала

- вращая ручку « ↕ » канала I, совместите нижнюю точку изображения с одной из горизонтальных линий в нижней части экрана – рис. 11;
- определите точки уровней 0,1 и 0,9 амплитуды на нарастающей части импульса (фронте);

– установите переключателями « **время/дел.** » и « **×1; ×0,2** » 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;

– ручкой « **↔** » совместите точку уровня  $0,1U_m$  сигнала с одной из вертикальных линий шкалы в левой части экрана ЭЛТ (рис. 11);

– определите горизонтальное расстояние между точками уровней 0,1 и 0,9 от амплитуды;

– умножьте расстояние, определенное выше, на величину, соответствующую положению переключателей « **время/дел.** » и « **×1; ×0,2** »;

**ПРИМЕР.** Расстояние по горизонтали между точками сигнала на уровнях 0,1 и 0,9 амплитуды равно 3,2 деления. Переключатель « **время/дел.** » установлен в положение « **0,5 μS** »; использована растяжка развертки. Время нарастания:

$$3,2 \text{ делен.} \times (0,5 \text{ мкС/дел.}) \times 0,2 = 0,32 \text{ мкС.}$$

**Примечание:** время спада (заднего фронта) импульса по уровням 0,1 и 0,9 амплитуды измеряется аналогично измерению длительности переднего фронта.

#### 7.7. Измерение разности фаз между двумя синусоидальными сигналами одной частоты

##### I. первый метод (основной)

– установите ручку « **уровень** » в положение – « **авт.** »;

– установите переключатель режима работы усилителя в положение «...» или « **→ →** » в зависимости от предполагаемой частоты входного сигнала;

**Примечание:** режим «...» более пригоден для исследования низкочастотных сигналов;

– установите переключатели « **≈** , **⊥** , **~** » обоих каналов в положение « **⊥** »;

– ручками « **↑↓** » обоих каналов совместите линии развертки с центральной горизонтальной линией шкалы экрана;

– поставьте переключатели «  $\approx$  ,  $\perp$  ,  $\sim$  » обоих каналов в положение «  $\sim$  » или «  $\approx$  ».

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

– подайте опорный (как правило, **входной**) сигнал на гнездо «  $\rightarrow$   $1M\Omega 35pF$  » канала I, а исследуемый – на гнездо «  $\rightarrow$   $1M\Omega 35pF$  » канала II;

– установите переключатель синхронизации в положение « **I внутр.** »;

– поставьте переключатель полярности синхронизирующего сигнала в положение « + »;

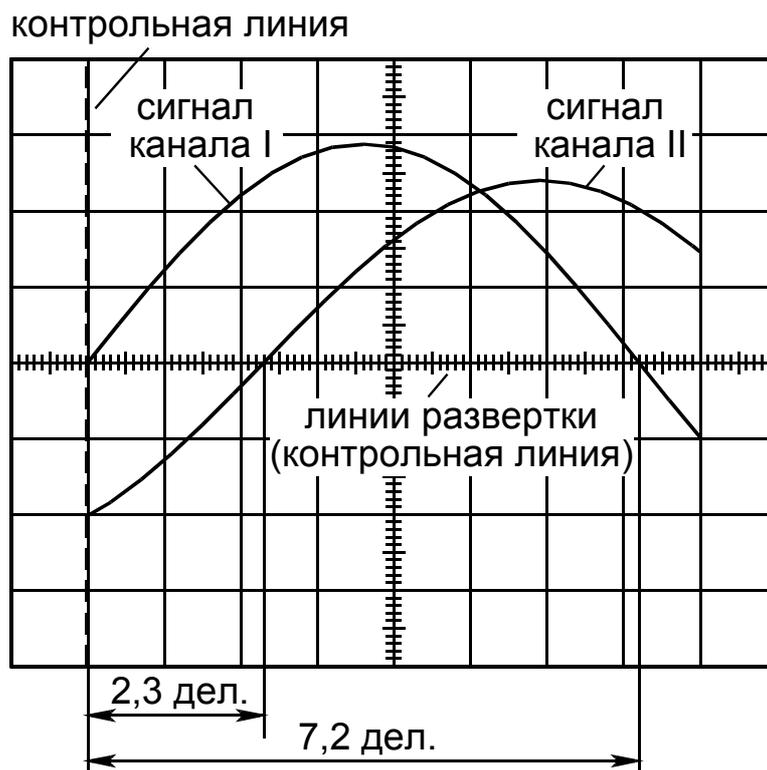


Рис. 12. Измерение разности фаз двух синусоидальных сигналов

- установите переключатель режима работы входа синхронизации в положение «  $\sim$  » или «  $\approx$  »;
- ручкой « **уровень** » добейтесь устойчивого изображения сигналов;
- переключателями « **V/дел.** », « **×1, ×10** » и ручками регулировки усиления « **▷** » установите размеры изображений сигналов обоих каналов по 5-8 делений;
- переключите переключатель режима работы усилителей в положение « **I** »;
- вращая ручку « **уровень** », 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 « **↔** » совместите начало развертки с какой-либо из начальных вертикальных линий сетки в левой части экрана;

**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;**

- переключателями « **время/дел.** », « **×1; ×0,2** » и ручкой плавной регулировки коэффициента развертки 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  $\sigma$ :

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

**Примечание:** на практике полупериод опорной синусоиды целесообразно устанавливать равным 6-ти делениям: в этом случае одно большое деление шкалы будет соответствовать  $30^\circ$ , а одно малое –  $3^\circ$ ;

- верните переключатель режима работы усилителей в исходное положение « **...** » или « **→ →** »;
- определите фазовый сдвиг между опорным и исследуемым сигналами в делениях шкалы –  $\lambda$  (делен.);

**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.** Полупериод опорной синусоиды составляет 7,2 деления, исследуемая синусоида отстает от опорной на 2,3 деления (рис. 12). Таким образом, начальная фаза исследуемой гармоники (сдвиг фаз) отрицательна и составляет:

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

II. второй метод (в режиме  $X - Y$  с помощью фигур Лиссажу)

Выполните следующие действия:

- установите ручку « **уровень** » в положение – « **авт.** »;
- установите переключатель режима работы усилителя в положение «...» или «  $\rightarrow \rightarrow$  » в зависимости от предполагаемой частоты входного сигнала;

**Примечание:** режим «...» более пригоден для исследования низкочастотных сигналов;

- установите переключатели «  $\approx$  ,  $\perp$  ,  $\sim$  » обоих каналов в положение «  $\perp$  »;
- ручками «  $\updownarrow$  » обоих каналов совместите линии развертки с центральной горизонтальной линией шкалы экрана;
- поставьте переключатели «  $\approx$  ,  $\perp$  ,  $\sim$  » обоих каналов в положение «  $\sim$  » или «  $\approx$  ».

**Примечание:** для НЧ сигналов частотой менее 50 Гц использовать положение «  $\approx$  »;

– подайте опорный сигнал на входное гнездо «  $\rightarrow$   $1M\Omega 35pF$  » канала I, а исследуемый – на гнездо «  $\rightarrow$   $1M\Omega 35pF$  » канала II;

– установите переключатель синхронизации в положение « I внутр. »;

– поставьте переключатель полярности синхронизирующего сигнала в положение « + »;

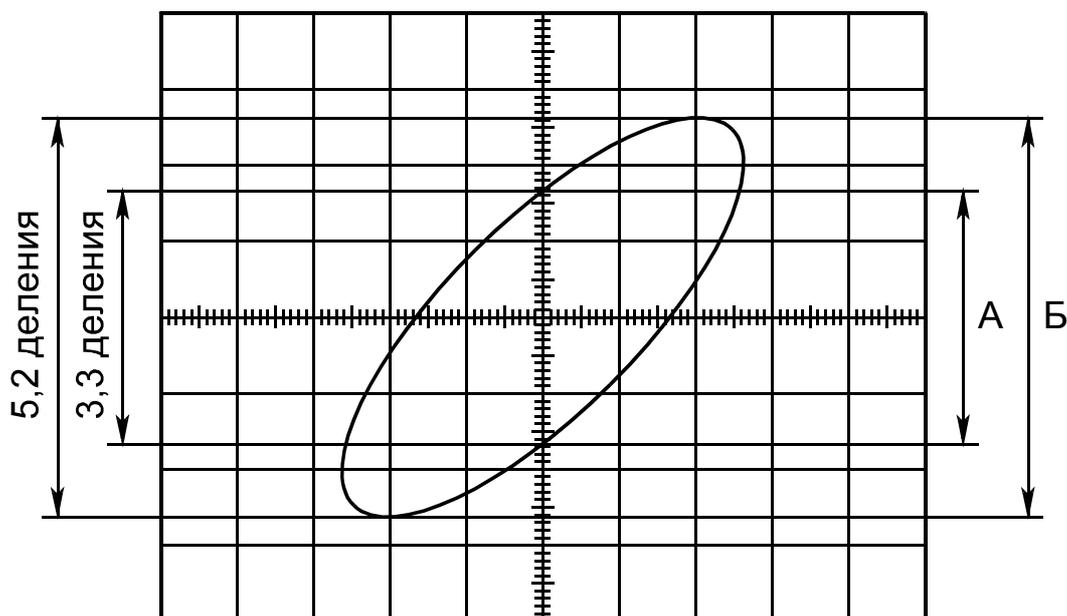


Рис. 13. Измерение разности фаз двух синусоидальных сигналов методом фигур Лиссажу

– установите переключатель режима работы входа синхронизации в положение «  $\sim$  » или «  $\approx$  »;

– ручкой « **уровень** » установите устойчивое изображение сигналов;

– переключателями « V/дел. », «  $\times 1$ ,  $\times 10$  » и ручками регулировки усиления «  $\triangleright$  » установите **одинаковые размеры изображений сигналов обоих каналов** (по 5-8 делений);

– установите переключатель режима работы входных усилителей в положение « II, X – Y »;

- переключатель синхронизации установите в положение « X – Y »;
- ручками «  $\updownarrow$  » и «  $\leftrightarrow$  » переместите изображение полученной фигуры Лиссажу (как правило, эллипс) **точно в центр** экрана;
- измерьте расстояния А и Б, как показано на рис. 13.

**Примечание:** А – это расстояние в делениях между точками пересечения полученной фигуры центральной вертикальной линией шкалы;

Б – максимальный размер фигуры по вертикали в делениях;

- рассчитайте величину фазового сдвига между рассматриваемыми синусоидами по формуле:

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

**ПРИМЕР.** Для получившейся фигуры справедливо: А = 3,3 деления, Б = 5,2 деления (рис. 13). Таким образом:

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

## 8. Контрольные вопросы и задания

8.1. Что такое осциллограф? Какие работы можно производить с его помощью в общем случае? Укажите назначение и функциональные возможности осциллографа С1-83.

8.2. Изобразите простейшую структурную схему осциллографа; расскажите принцип работы прибора по этой схеме.

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

8.4. Укажите запрещенные действия пользователя и режимы работы осциллографа.

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

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

- а) на левой (правой) стороне лицевой панели осциллографа;
- б) на нижней части лицевой панели осциллографа;
- с) на левой (правой) боковой панели осциллографа.

8.7. Для чего используется переключатель « V/дел. »?

8.8. Подготовьте осциллограф к включению, установив органы управления прибором в соответствующее состояние.

8.9. Проверьте калибровку осциллографа (по укороченной программе; по полной программе – по указанию преподавателя).

8.10. Пользуясь структурной схемой, расскажите принцип действия осциллографа С1-83.

8.11. Расскажите о возможных режимах работы входов каналов вертикального отклонения осциллографа. В каких случаях целесообразно использовать тот или иной режим?

8.12. Каково значение входного сопротивления и входной емкости усилительных трактов вертикального отклонения обоих каналов?

8.13. Укажите полосу пропускания усилительных трактов обоих каналов вертикального отклонения осциллографа в различных режимах работы.

8.14. Подготовьте осциллограф к проведению измерений, установив органы управления прибором в исходное состояние.

8.15. 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.

8.16. Для чего используется потенциометр « **уровень** »?

8.17. Как Вы понимаете термин «синхронизация работы осциллографа»?

8.18. Чем отличаются автоколебательный и ждущий режимы работы генератора развертки?

8.19. Для каких целей используется ручка-переключатель « **×1; ×0,2** »?

8.20. Перечислите, с комментариями, возможные режимы работы каналов тракта вертикального отклонения осциллографа. Каким органом управления задаются эти режимы?

8.21. Укажите параметры сигналов, используемых для внешнего запуска осциллографа. Какие ограничения накладываются на эти сигналы?

8.22. Укажите максимально допустимые значения напряжений, которые можно подавать на различные входы осциллографа.

8.23. Что такое «калибратор»? Укажите возможные режимы работы и параметры сигналов на выходе калибратора, используемого в осциллографе С1-83.

8.24. 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?

8.25. Укажите нормальные и рабочие условия эксплуатации осциллографа С1-83.

## ОСЦИЛЛОГРАФ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ GOS-620 (GOS-620FG)

### 1. Назначение

Двухканальный универсальный осциллограф GOS-620 (аналог 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:

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

Модификация GOS-620FG имеет встроенный многофункциональный генератор, формирующий три формы сигнала (синус, треугольник, прямоугольник) с частотой до 1 МГц.

## 2. Основные технические параметры осциллографа GOS-620

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЯ
<b>канал вертикального отклонения</b>	
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 <sub>пик.</sub> , до 1 кГц)
Режимы работы	Канал I; канал II; канал II инвертированный; каналы I+II; каналы I и II прерывисто или поочередно
Выход канала I	≥ 20 мВ/дел на 50 Ом
<b>канал горизонтального отклонения</b>	
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
<b>синхронизация</b>	
Источники синхронизации	Автовыбор; канал I; канал II; сеть; внешний
Режимы запуска развертки	Автоколебательный; ждущий; ТВ (кадр, строка)
Уровень внешней синхронизации	До 300 В (DC+AC <sub>пик.</sub> , до 1 кГц)
Вход внешней синхронизации	1 МОм / 30 пФ
<b>X-Y вход</b>	
Полоса пропускания (- 3 дБ)	0 ... 500 кГц (- 3 дБ)
Коэффициент отклонения	5 мВ/дел...5 В/дел (±4 %)

Разность фаз X-Y	$\leq 3^\circ$ в диапазоне 0...50 кГц
<b>Z-вход</b>	
Частотный диапазон	0...2 МГц
Чувствительность	$\geq 5$ В (макс. до 30 В DC+AC <sub>пик</sub> , до 1 кГц)
Входное сопротивление	47 кОм
<b>ЭЛТ</b>	
Размер экрана	8 × 10 дел. (1 дел. = 10 мм)
<b>общие данные</b>	
Напряжение питания	115 В / 230 В $\pm$ 15%, 50 / 60 Гц
Потребляемая мощность	40 ВА
Габаритные размеры	310 × 150 × 455 мм
Масса	8 кг

### 3. Перевод обозначений органов управления

POWER	сеть
INTEN	яркость
TRACE	луч
TRACE ROTATION	поворот луча
FOCUS	фокус
ILLUM	подсветка
CAL	калибратор
VERTICAL POSITION	положение по вертикали
VOLTS/DIV	вольт/дел
VAR	плавно
PULL×5MAG	тянуть для увеличения в 5 раз
CH1, CH2	канал I, канал II
AC/DC	постоянный/переменный
GND	земля
ALT/CHOP/ADD	попеременно/поочередно/сумма
INV	инверсия
HORIZONTAL POSITION	положение по горизонтали
×10	растяжка в 10 раз
TRIGGER LEVEL	уровень запуска
TRIGGER ALT	сложение сигналов синхронизации

MODE	режим
SOURCE	источник
SLOPE	полярность
TV-V	ТВ-строки
TV-H	ТВ-кадры
FREQUENCY	частота
RANGE	диапазон
FUNC	форма сигнала
AMPLITUDE	амплитуда
PULL DC-OFFSET	тянуть постоянное смещение
TIME/DIV	ВРЕМЯ/ДЕЛ

#### 4. Описание органов управления осциллографом

Расположение органов управления на передней панели прибора приведено на рис.14.

##### 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.

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

(33) – экран электронно-лучевой трубки.

##### 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.

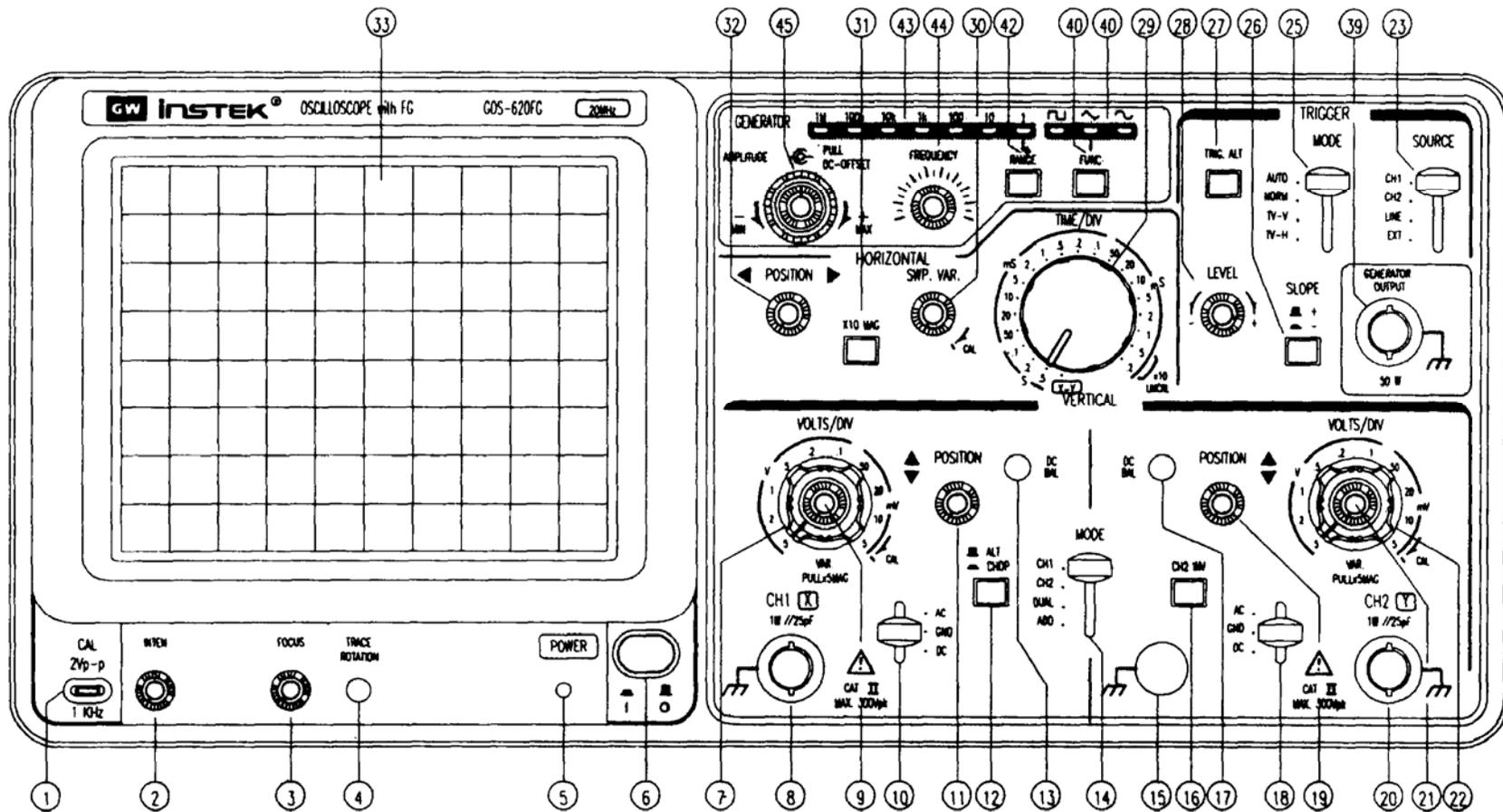


Рис 14. Расположение органов управления на передней панели осциллографа GOS – 620FG

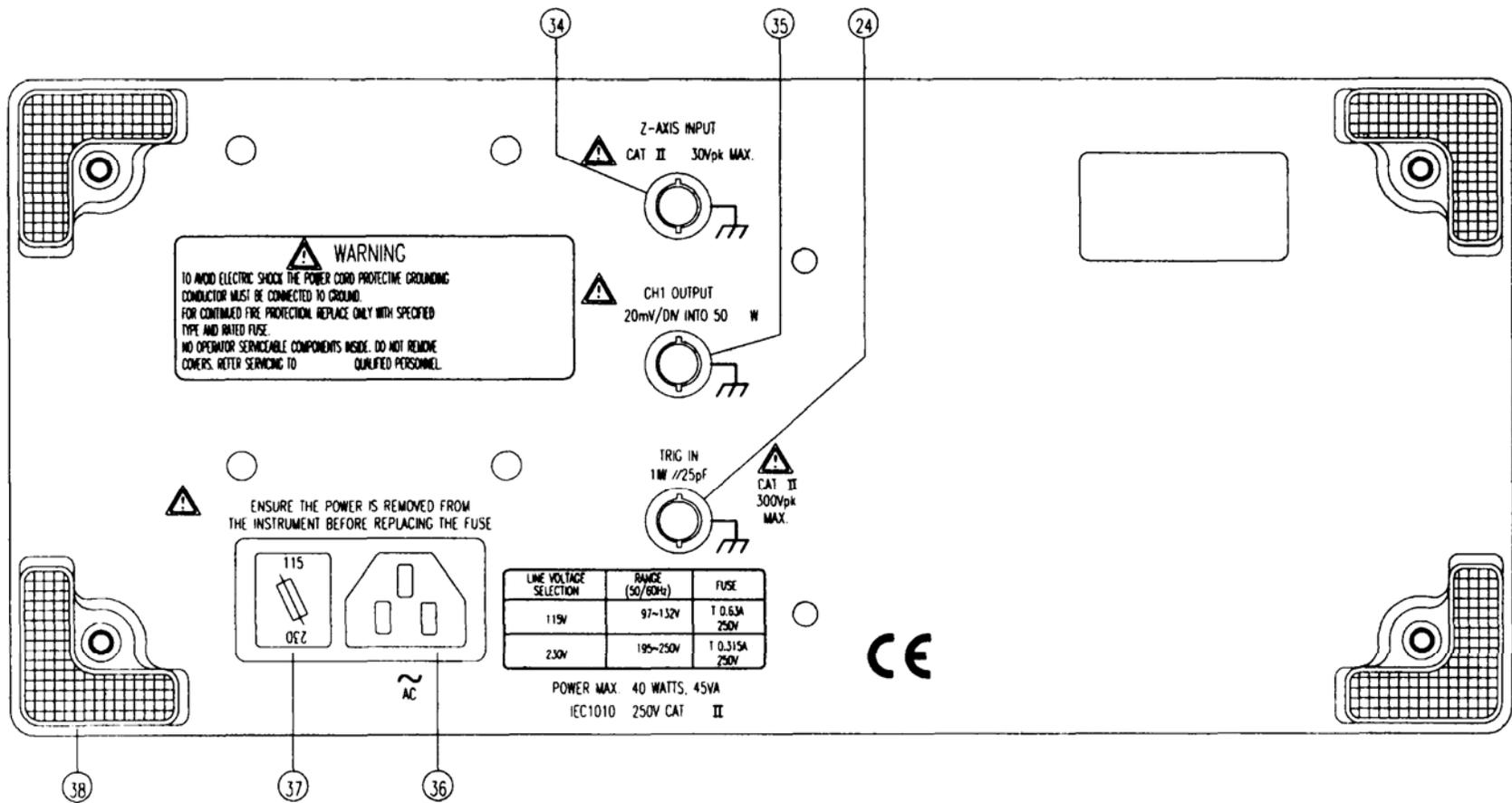


Рис 15. Расположение органов управления на задней панели осциллографа GOS-620FG

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

(10), (18) – переключатели « **AC-DC-GND** » – переключают режимы работы входов усилителя:

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

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

« **GND** »: вход усилителя отключается от источника сигнала и заземляется.

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

(9), (21) – ручка « **VARIABLE** » (плавно). 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** »: на экране наблюдаются изображения сигналов обоих каналов;

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

(12) – кнопка « **ALT/CHOP** ». Когда кнопка отжата в двухканальном режиме, режим работы коммутатора выбирается автоматически, исходя из положения ручки время/дел. При нажатии на кнопку коммутатор принудительно переключается в режим «попеременный». Происходит

одновременная прорисовка обоих каналов – эффект двухлучевого осциллографа.

#### 4.4. Органы управления синхронизацией

**(23)** – переключатель «**SOURCE**» (источник). Устанавливает режим внутренней и (или) внешней синхронизации:

«**CH 1**» (канал I) (*X-Y*): развертка синхронизируется сигналом 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*. В модели GOS-620 это гнездо расположено непосредственно под переключателем «**SOURCE**», в модели GOS-620FG – на задней панели осциллографа. Чтобы использовать этот вход, переключите выключатель **(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 появляется устойчивое изображение даже несинхронных сигналов, поступающих на оба канала осциллографа.

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

«**+**»: развёртки синхронизируются положительным перепадом исследуемого сигнала;

«**-**»: развёртки синхронизируются отрицательным перепадом исследуемого сигнала.

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

**(25)** – переключатель «**TRIGGER MODE**» – определяет режим работы запуска развёртки:

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

«**NORM**» – ждущий режим: развёртка запускается только при наличии входного сигнала;

«**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 переводе в положение « **X-Y** » (крайнее левое) обеспечивается наблюдение фигур Лиссажу.

(30) – ручка « **SWP VAR** » (развертка плавно) – обеспечивает плавную регулировку коэффициента развёртки с перекрытием 2,5 раза в каждом положении переключателя время/дел. **При расчете временных интервалов по экрану осциллографа ручка должна находиться в крайнем правом положении до щелчка (риска « CAL »)!**

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

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

#### 4.6. Органы управления функциональным генератором (только для осциллографа GOS-620FG)

(39) – гнездо « **GENERATOR OUTPUT** » – выход встроенного функционального генератора 50 Ом.

(40) – переключатель « **FUNC** » – задает форму выходного сигнала. При нажатии на кнопку форма сигнала изменяется в последовательности «синус-треугольник-прямоугольник-синус» и фиксируется индикатором (41).

(41) – индикатор « **OUTPUT WAVEFORM DISPLAY** » – индицирует форму генерируемого сигнала.

(42) – переключатель « **RANGE** » – переключает диапазоны частот выходного сигнала генератора. При последовательном нажатии на кнопку выбирается необходимый диапазон из ряда: 1 МГц, 100 кГц, 10 кГц, 1 кГц, 100 Гц, 10 Гц и 1 Гц, который и фиксируется индикатором (43).

(43) – индикатор « **FREQUENCY RANGE DISPLAY** » – указывает выбранный диапазон частот.

(44) – ручка « **FREQUENCY** » (частота) – регулятор частоты в пределах выбранного диапазона. При вращении ручки по часовой стрелке происходит плавное увеличение частоты; против часовой стрелки – уменьшение. Крайнее правое положение соответствует верхней границе выбранного диапазона (42), (43).

**(45)** – ручка « **AMPLITUDE/DC LEVEL** » – регулятор амплитуды выходного сигнала и уровня смещения его постоянным напряжением от – 6 до + 6 В. Если ручка утоплена: при ее вращении по часовой стрелке амплитуда выходного напряжения увеличивается до 14 В. Если ручку вытянуть на себя и вращать, к выходному сигналу добавляется постоянная составляющая.

Расположение органов управления на задней панели прибора приведено на рис.15.

**(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 измерительного прибора.

**(24)** – « **EXT TRIG IN** » – вход сигнала внешней синхронизации (**только для осциллографа GOS-620FG!**).

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

## 5. Порядок работы с осциллографом

### 5.1. Одноканальный режим работы

**Перед включением прибора** убедитесь, что клемма заземления соединена с «землей», а органы управления осциллографом установлены в положениях, указанных ниже:

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), (22)	0,5 В/дел
VARIABLE	(9), (21)	CAL (крайнее правое положение по часовой стрелке до щелчка)
AC-DC-GND	(10), (18)	GND

SOURCE	(23)	CH I
SLOPE	(26)	+
TRIG ALT	(27)	Отжат
TRIGGER MODE	(25)	AUTO
TIME/DIV	(18)	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 положения, указанные выше, подключите сетевой шнур к розетке и затем действуйте в указанной последовательности:

1). Включите кнопку « **POWER** » и убедитесь, что загорается индикатор сети. В течение приблизительно 20 секунд на экране должна появиться линия развертки. Если луч не появляется примерно в течение минуты, проверьте правильность установки органов управления.

2). Установите желательную яркость и фокус изображения с помощью ручек « **INTEN** » и « **FOCUS** ».

3). Подайте на вход « **CH 1(X)** » (Канал I) сигнал (например, с выхода калибратора).

4). Установите переключатель « **AC-DC-GND** » в положение « **AC** ». На экране должно наблюдаться изображение сигнала.

5). Отрегулируйте четкость изображения ручкой « **FOCUS** ».

6). С помощью переключателей « **VOLTS/DIV** » и « **TIME/DIV** » установите желаемые размеры сигнала.

7). Совместите с помощью переключателей изображение сигнала с линиями шкалы так, чтобы можно было легко рассчитать амплитуду ( $V_p-p$ ) и период (T).

Изложенное выше – это основные положения работы с осциллографом при использовании канала I (« **CH 1** »). При работе с каналом II (« **CH 2** ») последовательность действий оператора аналогична.

## 5.2. Двухканальный режим работы

Установите переключатель « **VERT MODE** » в положение « **DUAL** ». На экране, кроме сигнала, поступающего на канал I, будет наблюдаться прямая линия развертки канала II (**органы управления должны быть установлены в положения, указанные выше**).

Подайте сигнал на второй канал « **CH 2** ». Переключатель « **AC-DC-GND** » поставьте в положение « **AC** ». Установите «удобный» размер изображения с помощью ручек « **VOLTS/DIV** » и « **TIME/DIV** ».

При использовании двухканального режима (« **DUAL** » или « **ADD** ») сигнал канала I или канала II может быть засинхронизирован посредством переключения выключателя « **SOURCE** ». Если сигналы, подаваемые на « **CH 1** » (Канал I) и « **CH 2** » (Канал II), одинаковы или кратны (эквивалентны) по частоте, то они могут быть стабильно отображены одновременно.

Если нет, (то есть сигналы автономны), то только сигнал канала, выбранный переключателем « **SOURCE** » в качестве синхронизирующего, может быть отображен стационарно. Однако если нажать кнопку « **TRIG ALT** », то возможно стабильное наблюдение двух неэквивалентных по частоте сигналов. (**Не используйте « CHOP » и « ALT » переключатель в то же самое время**). Переключение между « **CHOP** »-режимом и « **ALT** »-режимом автоматически происходит путём изменения положения переключателя « **TIME/DIV** ».

### 5.3. Режим суммирования сигналов

На экране осциллографа можно наблюдать алгебраическую сумму сигналов « **CH 1** » (Канал I) и « **CH 2** » (Канал II), установив переключатель « **VERT MODE** » в положение « **ADD** ». Если одновременно нажат переключатель « **CH 2 INV** » – на экране отображается разность сигналов – (« **CH 1** » – « **CH 2** »).

Для более точных вычислений желательно, чтобы чувствительность каждого из двух каналов была одинаковой, что можно сделать с помощью « **VARIABLE** »-кнопок. Вертикальное перемещение изображения может быть осуществлено ручкой « **VERTICAL POSITION** » любого канала. Ввиду линейности вертикальных усилителей поставьте обе кнопки в средние положения.

### 5.4. Синхронизация (обеспечение устойчивости изображения)

Выбор синхронизации необходим для эффективных действий с осциллографом. Пользователь должен быть полностью знаком с функциями переключателей режимов и источников синхронизации.

#### **Функции переключателя « TRIGGER MODE »**

Режим **AUTO (автоматический)**. Выбор автоматического режима работы развертки осуществляется установкой переключателя в положение « **AUTO** ». В этом случае генератор развертки работает в автоколебательном режиме без сигнала синхронизации. Как только появится

сигнал синхронизации, генератор развертки будет работать синхронно со входным сигналом. Режим **AUTO** удобно использовать при включении прибора для наблюдения луча и входного сигнала и последующего включения других режимов работы прибора. При установке органов управления в необходимые положения можно вернуться в режим **NORM**. Режим **AUTO** должен использоваться при исследовании постоянных напряжений и сигналов с малыми амплитудами, когда сигналы синхронизации развертки либо отсутствуют, либо их уровень недостаточен для устойчивой работы.

Режим **NORM (ждущий)**. Генератор развертки не будет запускаться до тех пор, пока не будет установлен необходимый уровень запуска развертки ручкой « **LEVEL** » (уровень). Генератор развертки формирует только один ход луча и в дальнейшем активируется только при поступлении другого сигнала синхронизации. В режиме **NORM** на экране не будет отображения луча до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации. В режиме сложения сигнала от канала 1 и 2 и режиме синхронизации **NORM** не будет отображения ни одного канала до тех пор, пока не поступит сигнал синхронизации.

Режимы **TV-V** и **TV-H** в лабораторных работах не используются.

### **Функции переключателя « SOURCE »**

Переключатель « **SOURCE** » используется для выбора источника синхронизации:

« **CH 1** »: в качестве сигнала синхронизации, запускающего генератор развертки, используется сигнал, поступающий на вход усилителя **CH 1** (наиболее часто применяемый режим);

« **CH 2** »: в качестве сигнала синхронизации используется сигнал усилителя **CH 2**;

« **LINE** »: сигнал с частотой питающей сети переменного тока используется как сигнал синхронизации. Этот метод эффективен, когда измеряемый сигнал имеет четкое временное соотношение с частотой сети;

« **EXT** »: развёртка запускается **внешним** сигналом, который подаётся на вход « **EXT TRIG IN** ». Так как развёртка синхронизируется одним и тем же сигналом, это позволяет исследовать сигналы различной амплитуды, частоты и формы без перестройки регулировок синхронизации.

### **Выбор уровня запуска и полярности**

Запуск развертки осуществляется при установке определенного уровня ручкой запуска « **LEVEL** ». Вращение ручки приводит к изменению начальной точки запуска генератора развертки. При вращении ручки в область «+» запуск будет происходить положительной полуволной; при вращении ручки в область «-» запуск будет осуществляться отрицательной полуволной; когда ручка находится в центральном положении, запуск развертки будет осуществляться с нулевой линии.

Вращая ручку « **TRIG LEVEL** », установите необходимый уровень запуска. При исследовании синусоидального сигнала начальная фаза может быть изменена. Вращением ручки « **TRIG LEVEL** » можно добиться синхронизации сигнала от пика до пика.

Когда переключатель « **TRIG SLOPE** » находится в положении «+», развёртка запускается нарастающей (положительной) частью синхронизирующего сигнала.

Когда переключатель « **TRIG SLOPE** » находится в положении «-», развёртка запускается спадающей (отрицательной) частью синхронизирующего сигнала. Выбор полярности сигнала показан на рис. 16.

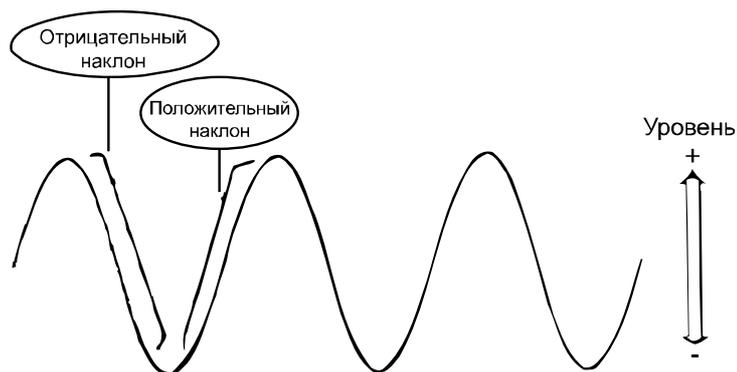


Рис. 16. Выбор полярности синхронизирующего сигнала

### **Синхронизация суммарным сигналом (кнопка **TRIG ALT**)**

Кнопка **TRIG ALT** используется для выбора различных источников синхронизации в двухканальном режиме (выбирается переключателем **VERT MODE**). В этом режиме запуск развертки осуществляется **поочередно** сигналом от канала 1 и сигналом от канала 2. Это необходимо при исследовании сигналов с разной частотой или периодами. В этом режиме оба сигнала будут засинхронизированы, и изображение на экране осциллографа будет неподвижным. **Этот режим нельзя использовать при измерении разности фаз между сигналами канала I и канала II!**

## Установка времени развертки

Установите переключатель « **TIME/DIV** » в такое положение, при котором на экране отображается необходимое число периодов сигнала. Если периодов много, уменьшите время развертки. Если на экране отображается только линия развертки, попробуйте увеличить время развертки. Когда время развертки достаточно малое при наблюдении части сигнала, особенно прямоугольной формы, на экране будет видна прямая линия.

### «Растяжка» сигнала

Чтобы точнее исследовать небольшие части сигнала, расположенные относительно далеко от момента запуска развертки, используйте кнопку « **×10 MAG** ». Для включения режима **MAG** (**увеличение**) выполните следующие операции:

1. Установите ручкой « **TIME/DIV** » самый большой коэффициент развертки, который позволяет изучить эту часть сигнала.
2. Вращением ручки « **HORIZONTAL POSITION** » установите сигнал так, чтобы исследуемый участок сигнала был в центре экрана.
3. Нажмите кнопку « **×10 MAG** » для включения индикатора. При выполнении выше указанных процедур необходимая часть сигнала будет увеличенной в 10 раз (растянутой).

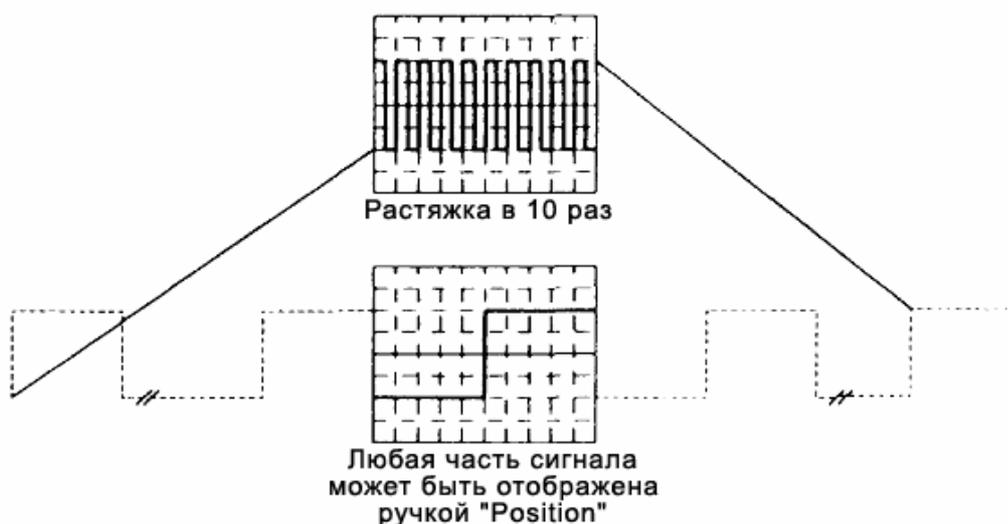


Рис.17. «Растяжка» исследуемого сигнала

Очевидно, что в этом случае увеличенная скорость развертки будет составлять:

$$0,1 \text{ мкс/дел} / 10 = 10 \text{ нс/дел},$$

что необходимо учитывать при расчете временных параметров сигнала.

Следует отметить, что при использовании кнопки «**×10 MAG**» яркость луча может существенно уменьшиться.

#### Режим X-Y

Установите переключатель « **TIME/DIV** » в положение **X-Y** для установки режима наблюдения фигур Лиссажу. При этом входы осциллографа распределятся следующим образом:

X-ось (горизонтальная) – вход канала I;  
Y-ось (вертикальная) – вход канала II.

**Примечание:** Когда с помощью **X-Y** режима наблюдают сигналы высокой частоты, следует учитывать рабочую полосу частот усилителей вертикального отклонения и возможное «технологическое» различие фаз между сигналами, поступающими на X- и Y-оси.

Режим **X-Y** используется для измерений, которые не могут быть проведены в обычном режиме (измерение отношений частот, температуры, скорости и т.д.).

1. Установите переключатель « **TIME/DIV** » в положение **X-Y**. При этом линия развертки Канала I станет осью X, а канала II – осью Y.
2. Подайте исследуемые сигналы на соответствующие входы осциллографа.
3. Ручками положения луча по горизонтали и вертикали переместите изображение в нужную часть экрана (как правило, центральную).
4. Переключателем « **TIME/DIV** » канала I установите необходимый размер изображения по оси X (чем больше размер изображения, тем выше точность измерений).
5. Переключателем « **TIME/DIV** » канала II установите необходимый размер изображения по оси Y.
6. Проведите измерения, определив все необходимые параметры изображения; рассчитайте результаты по известным формулам.



**ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ.** Не превышайте максимальные входные напряжения ~300V. Максимальные входные напряжения должны иметь частоты не более 1 кГц.

## 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 среднеквадратическом значении);
- 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 1.

Таблица 1.

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

\* - на переключателе пределов нажата кнопка « **2000** ».

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

Обозначения, принятые в таблице:

$U_{пр}, I_{пр}, R_{пр}$  - 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 К.

2.3. Входное активное сопротивление прибора

а) 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;

б) 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:

а)  $1000 \pm 5$  мкА - на пределах 0,2 и 2 кОм;

б)  $10 \pm 0,05$  мкА - на пределах 20 и 200 кОм;

с)  $1 \pm 0,005$  мкА - на пределе 2000 кОм.

2.7. Падение напряжения на входном сопротивлении прибора при измерении постоянного и переменного токов:

а) до 220 мВ - на пределах 0,2; 2; 20 мА;

б) 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 2.

Таблица 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 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:

- a)  $\pm 5$  знаков младшего разряда в течение 24 часов непрерывной работы;
- b)  $\pm 1$  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:

- a) окружающая температура от 263 до 313 К (от минус 10 до плюс 40 °С);
- b) относительная влажность до 80 % при температуре воздуха 293 К (20 °С);
- c) электропитание от сети переменного тока частотой  $50 \pm 0,5$  Гц, напряжением  $220 \pm 22$  В и содержанием гармоник до 5 %.

### **3. Устройство и принцип действия прибора**

Структурная схема прибора представлена на рис. 18.

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.

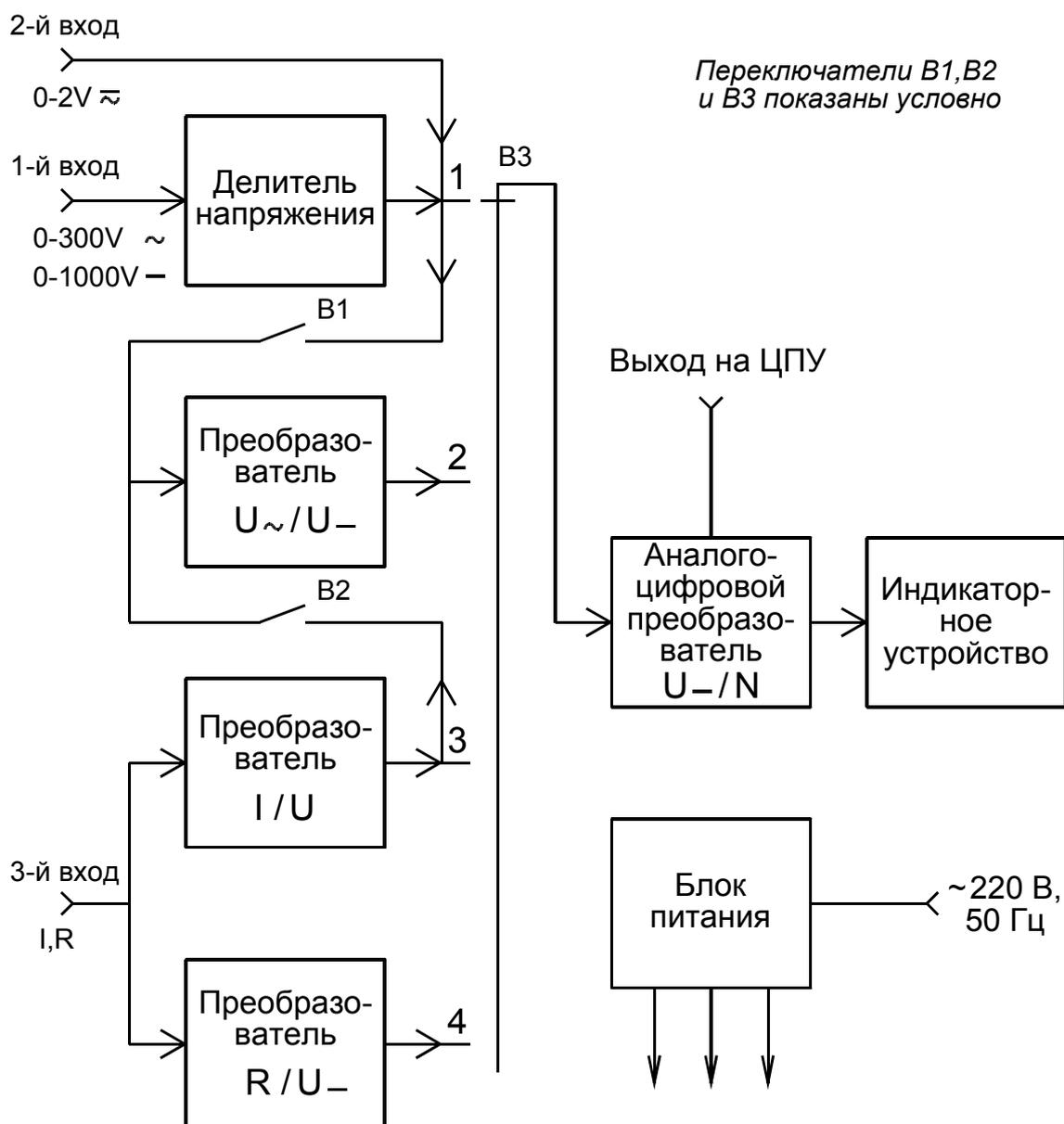


Рис. 18. Структурная схема вольтметра В7-22А.

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. 19 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 интегрирующий 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  $\Delta U$  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  $U_0$ .

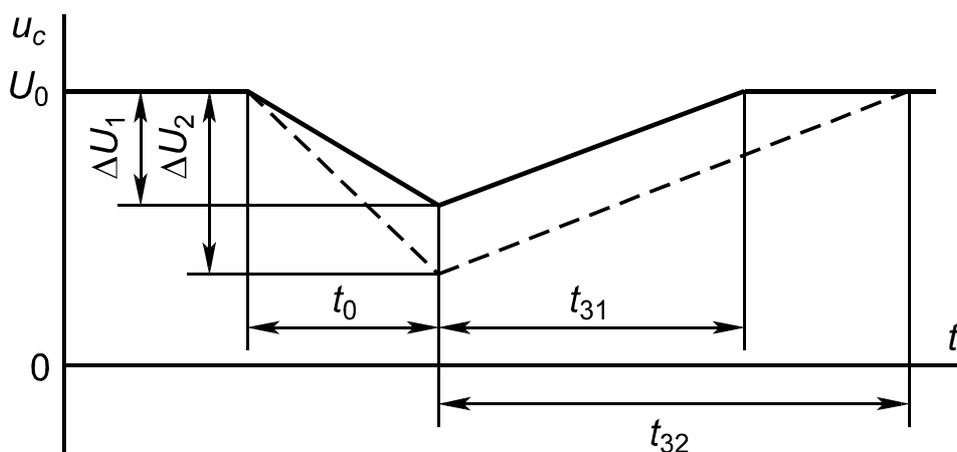


Рис. 19. Диаграмма напряжения на интегрирующем конденсаторе, поясняющая метод двухтактного интегрирования. Штриховая линия соответствует большему значению измеряемой величины.

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  $\Delta U$  и время заряда  $t_3$  интегрирующего конденсатора, и наоборот (рис. 19).

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. 18).

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 средневыпрямленное 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. 18). Так, например, при измерении переменного тока общая структурная схема прибора преобразуется к виду (В1 – разомкнут, В2 – замкнут, В3 – в положении 2) – рис. 20:

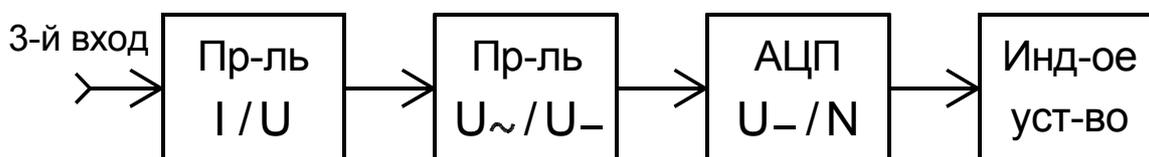


Рис. 20. Структурная схема прибора в режиме измерения переменного тока.

#### 4. Описание органов управления, присоединения и контроля

На лицевой панели прибора, изображенной на рис. 21, 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 «  »;
- шнур питания.

На верхней крышке прибора расположено гнездо с выведенным под шлиц потенциометром « ► 0 ◀ », предназначенным для установки нуля индикаторного устройства.

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

#### 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 «  » на задней стенке прибора с контуром заземления;
- вставьте вилку шнура питания в розетку, подключенную к электрической сети.

**В Н И М А Н И Е !**  
**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРА БЕЗ ЕГО**  
**ЗАЗЕМЛЕНИЯ !**

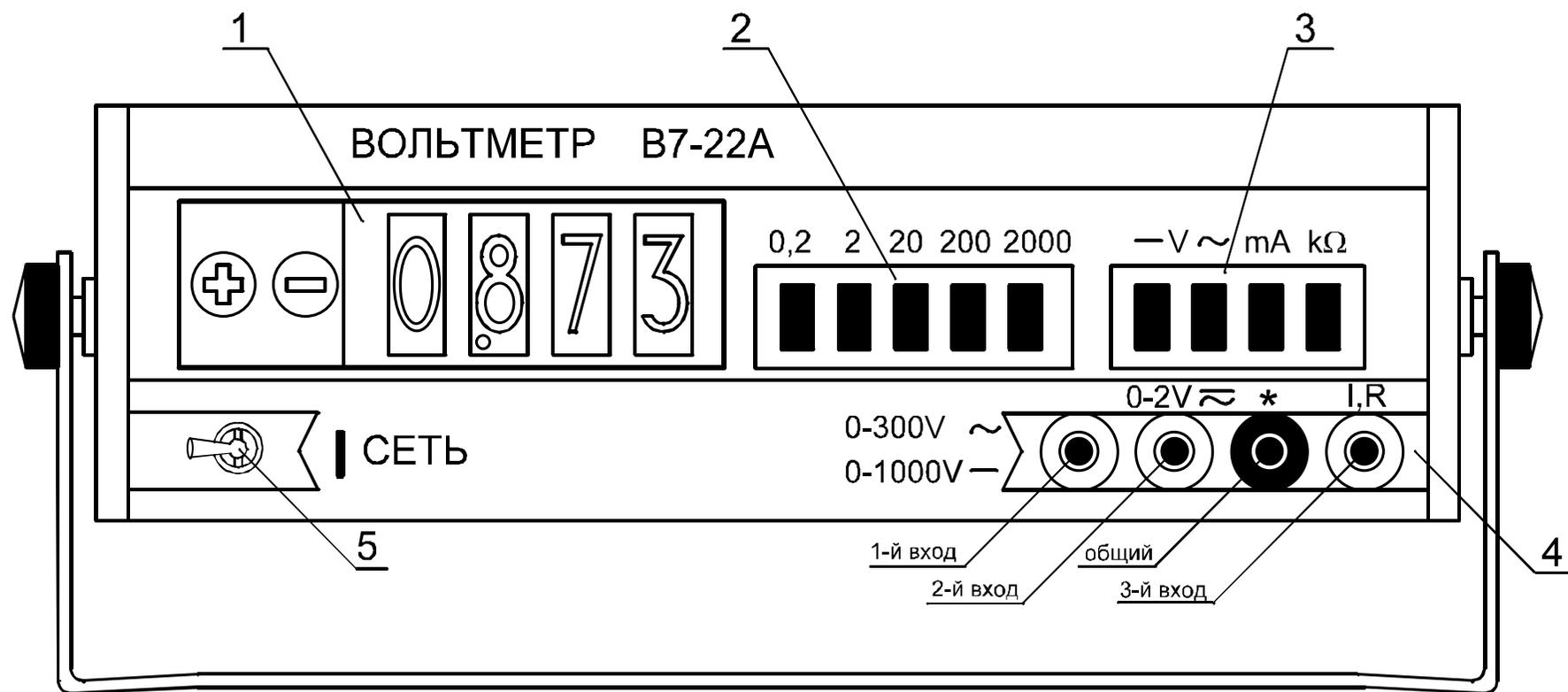


Рис. 21. Лицевая панель универсального цифрового вольтметра В7-22А

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) $\left. \begin{array}{l} 0 - 300V \sim \\ 0 - 1000V_- \end{array} \right\}$ | – 1-й вход; |
| б) $0 - 2V \sim$   | – 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 «  » 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 «  » на верхней крышке прибора, добейтесь положения, когда знаки « + » и « - » на индикаторном устройстве индицируются поочередно. При этом допустимо показание табло до  $\pm 0002$ .

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 целесообразно перевести органы управления прибором в исходное положение (см. пункт 5.4.).

## 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 $\Omega$**  » 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:

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

7.8. По завершении работы установите органы управления прибором в исходное состояние (см. пункт 6.4.) и выключите прибор (тумблер « **СЕТЬ** » – в левое положение – « **0** »).

## 8. Контрольные вопросы и задания

8.1. Какой параметр переменного сигнала (мгновенное, среднее, действующее или амплитудное значение) измеряет и индицирует универсальный цифровой вольтметр (ЦВ)?

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

8.3. Чему равно минимальное (в худшем случае) значение входного сопротивления ЦВ в режиме измерения напряжения?

8.4. Назовите назначение всех входов ЦВ.

8.5. Укажите порядок подключения прибора к питающей сети.

8.6. Каким образом ЦВ реагирует на перегрузку?

8.7. Произведите, с комментариями, подготовку прибора к работе.

8.8. Укажите порядок работы с прибором в случае:

- а) измерения постоянного напряжения до 350 В (до 1 В);
- б) измерения переменного напряжения до 50 В;
- в) измерения постоянного тока;
- г) измерения переменного тока;
- е) измерения сопротивления.

8.9. Измерьте (под контролем преподавателя) напряжение промышленной сети  $\sim 220$  В, 50 Гц ( $\sim 36$  В, 50 Гц) в электророзетках лабораторного стола.

8.10. Поясните, каким образом провести измерение заданного параметра с максимально возможной точностью.

8.11. Измерьте сопротивление резисторов, предложенных преподавателем. Определите основную погрешность измерения в каждом конкретном случае.

8.12. Расскажите принцип действия аналого-цифрового преобразователя, используемого в приборе.

8.13. Какова максимально допустимая величина коэффициента гармоник измеряемого синусоидального напряжения, при которой еще обеспечивается паспортная точность измерения?

8.14. Укажите время установления показаний прибора в худшем случае.

8.15. Какова паразитная входная емкость ЦВ?

8.16. Каким образом производится установка нуля индикаторного устройства? Какое показание табло считается при этом допустимым?

8.17. Назовите максимально допустимые значения измеряемых величин: постоянного и переменного напряжения и тока, сопротивления.

8.18. Приведите структурную схему прибора в режиме измерения переменного напряжения свыше 2 В.

8.19. Какое время должен прогреваться прибор для выхода на режим?

8.20. Укажите величину входного тока прибора в режиме измерения постоянного напряжения на пределах 0,2 и 2 В.

8.21. Приведите схему подключения прибора для измерения входного тока какой-либо пассивной электрической цепи.

## **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  $T/t_{и}$  ( $T$  - период импульсного процесса) более 5 является основным. Погрешность установки длительности основных импульсов в основном диапазоне не превышает  $\pm(0,1 t_{и} + 0,03 \text{ мкс})$ . 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  $0,3 U_{max}$ ;

б) ступенчатое ослабление амплитуды основных импульсов с коэффициентами ( $K$ ) « $\times 1$ »; « $\times 0,3$ »; « $\times 0,1$ »; « $\times 0,03$ »;

с) дополнительное ослабление амплитуды основных импульсов в 10 и 100 раз (дополнительные выходы « $\ominus \rightarrow 1:10$ », « $\ominus \rightarrow 1:100$ ») при коэффициенте ослабления « $0,03$ ».

2.6. Погрешность установки амплитуды в пределах плавно-ступенчатой регулировки не превышает  $\pm(0,1 U_{max} + K \times 1 \text{ В})$ , 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:

- а) полярность переключаемая (положительная и отрицательная);
- б) длительность, фиксированная в пределах  $(0,3 \div 1,0)$  мкс;
- с) максимальная амплитуда не менее 10 В (но не более 15 В) на нагрузке 1 кОм с параллельной емкостью 50 пФ;
- д) длительность фронта не более 0,1 мкс;
- е) выброс и неравномерность вершины не более 20 % от амплитуды;
- ф) длительность среза не нормируется;
- г) 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 0,5 периода 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:

- а) автоколебательный (с внутренним запуском);
- б) ждущий (с внешним запуском);
- с) 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:

а) 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;

б) синусоидальным напряжением амплитудой от 5 до 20 В при частоте от 50 Гц до 100 кГц;

с) механическим однократным пускателем - кнопкой.

2.18. Параметры входных и выходных высокочастотных (ВЧ) гнезд прибора:

а) суммарное напряжение (постоянное напряжение и напряжение пусковых сигналов), подаваемое на гнездо « $\ominus \rightarrow$ » (внешний запуск), не должно превышать 20 В;

б) гнезда выходов основных импульсов « $\ominus \rightarrow$ » не допускают подключения к цепям с наличием постоянных напряжений;

с) гнездо выхода синхроимпульсов « $\ominus \rightarrow$ » допускает подключение к цепям с постоянным напряжением не более 10 В;

д) входное сопротивление гнезда « $\ominus \rightarrow$ » (внешний запуск) - не менее 1 кОм с параллельной емкостью не более 50 пФ;

е) выходное сопротивление гнезда « $\ominus \rightarrow$ » выхода синхроимпульсов - не более 600 Ом;

ф) 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 « $\ominus \rightarrow 1:10$ », « $\ominus \rightarrow 1:100$ » 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. 22.

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 ко 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 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.

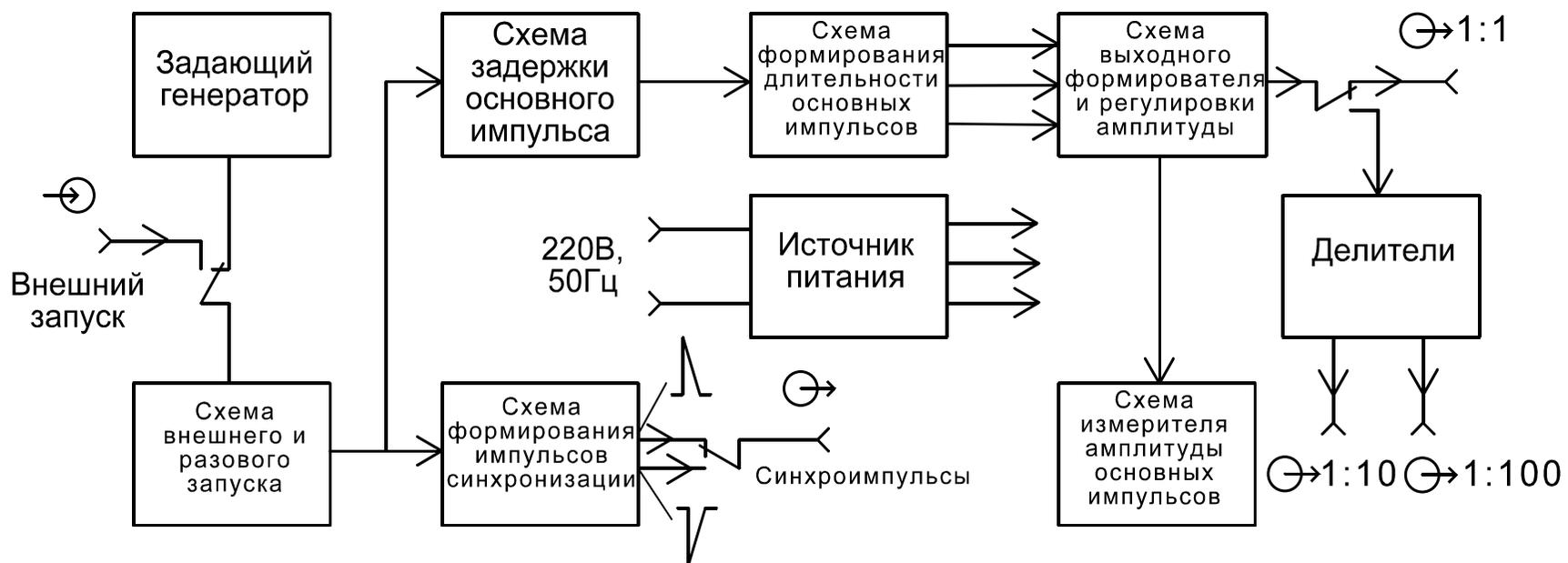


Рис. 22. Структурная схема генератора Г5-54.

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 « $\ominus$ », соединяемое кабелем с внешним источником запускающих импульсов с требуемыми параметрами. Кроме того, внешний запускающий сигнал формируется при нажатии кнопки разового пуска « $\text{|||}$ », имеющейся на лицевой панели прибора. В зависимости от выбранного режима работы вход схемы внешнего и разового запуска подключается либо к гнезду « $\ominus$ », 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. 23, расположены:

а) тумблер «**СЕТЬ**» и индикаторная лампа включения;

б) группа кнопок «**Запуск**»:

– при нажатой верхней кнопке генератор работает в режиме внутреннего запуска (автоколебательный режим);

– при нажатой кнопке « $\text{L}$ » запуск генератора осуществляется внешним отрицательным импульсом;

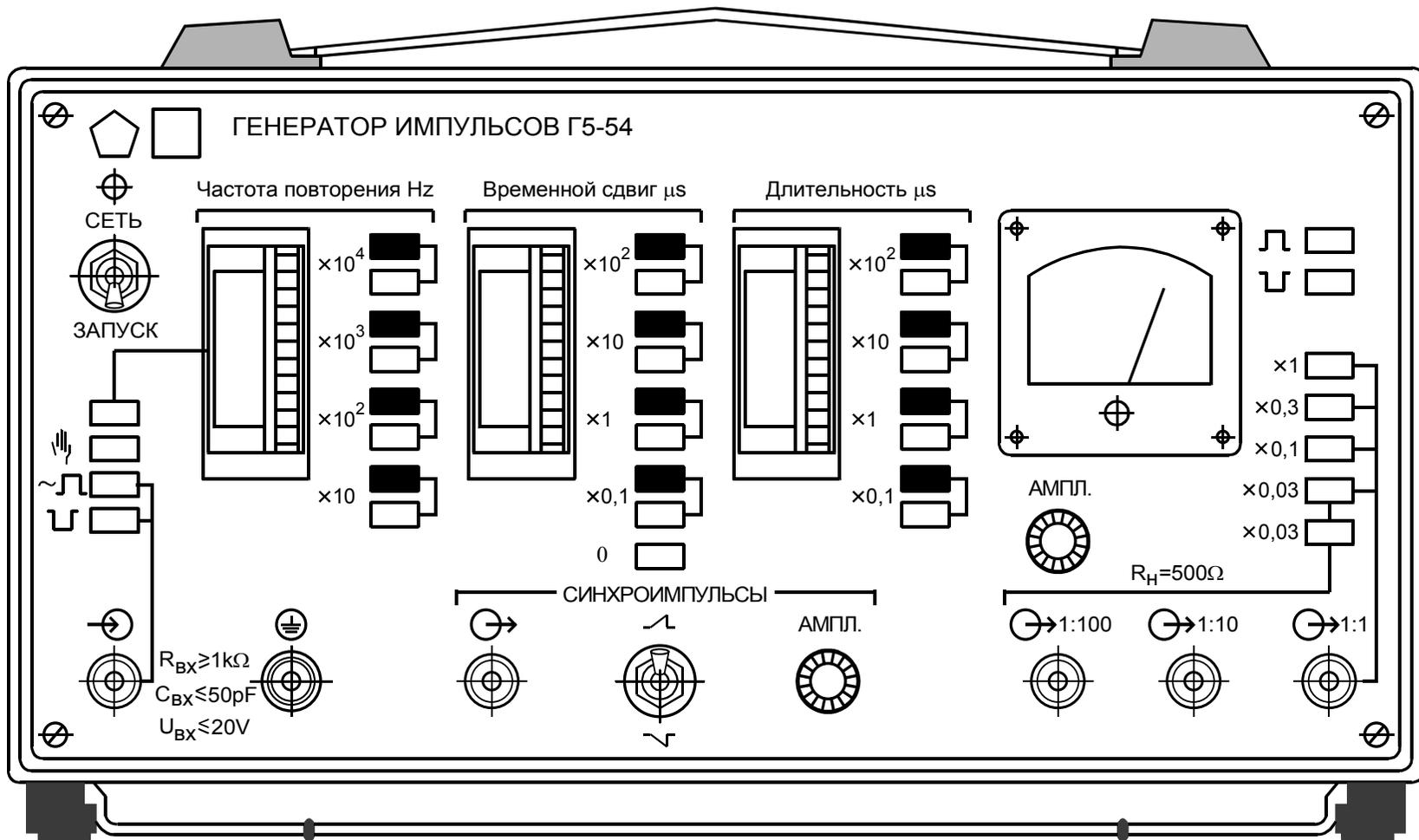


Рис. 23. Лицевая панель генератора Г5-54

- при нажатой кнопке « $\sim \sqcup$ » запуск прибора производится внешним положительным импульсом или синусоидальным сигналом;
- при нажатии кнопки « $\sqcup \} \}$ », работает разовый (однократный) запуск;

с) группа органов управления «**ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ**», содержащая шкальное устройство плавной регулировки частоты повторения и переключатель поддиапазонов частоты повторения. Цвет кнопки соответствует цвету шкалы плавной регулировки, по которой необходимо вести отсчет;

д) группа «**СИНХРОИМПУЛЬСЫ**» – выходное гнездо синхроимпульса, переключатель его полярности и регулятор амплитуды синхроимпульсов «**АМПЛ**»;

е) группа «**ВРЕМЕННОЙ СДВИГ**», содержащая шкальное устройство плавной регулировки временного сдвига основного импульса относительно синхроимпульса и переключатель поддиапазона временного сдвига. Цвет кнопки соответствует цвету шкалы плавной регулировки, по которой необходимо вести отсчет;

ф) группа «**ДЛИТЕЛЬНОСТЬ**», содержащая шкальное устройство плавной регулировки длительности основного импульса и переключатель поддиапазонов длительности основных импульсов. Цвет кнопки соответствует цвету шкалы плавной регулировки, по которой необходимо вести отсчет;

г) группа выхода основных импульсов – выходные гнезда « $\odot \rightarrow 1:1$ », « $\odot \rightarrow 1:10$ » и « $\odot \rightarrow 1:100$ »; переключатель полярности основных импульсов; ручка плавной регулировки и переключатель делителя амплитуды основного импульса; вольтметр, показывающий амплитуду основного импульса (отсчет по шкале измерительного прибора производится с учетом включенного делителя амплитуды и коэффициента деления выходного гнезда);

h) клемма, соединенная с корпусом прибора.

#### і) 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 « $\odot \rightarrow 1:1$ »;

- подключить кабель, входящий в комплект прибора, к одному из выходных гнезд внешней нагрузки;
- штекеры присоединительных концов кабеля ввести в гнезда наборного поля ("земляной" конец - красный провод - кабеля 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;
- нажать кнопку « **Л** » или « **U** »;
- 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÷20) В. Если в дальнейшем наблюдение выходного сигнала генератора не планируется, отключить от соответствующих гнезд наборного поля входной кабель осциллографа. Генератор готов к работе.

## 5. 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 им-

пульса 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 засинхронизировать аппаратуру, работающую совместно с генератором, соединить выходное гнездо «**⊕**» группы органов управления «**СИНХРОИМПУЛЬСЫ**» со входом этой аппаратуры с помощью специального кабеля, входящего в комплект прибора, выставить тумблером необходимую полярность синхроим-

пульсов и ручкой « АМПЛ » ( « СИНХРОИМПУЛЬСЫ » ) – необходимую амплитуду синхроимпульсов.

6.3. Использование генератора, работающего в режиме внешнего запуска:

– нажать одну из кнопок запуска «  $\sim \square$  »; «  $\square$  », 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 «  $\sim \square$  »; «  $\square$  »;

– 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 «  $\square$  ». При каждом нажатии на эту кнопку генератор выдает на соответствующих выходах один синхроимпульс и один основной импульс.

## 7. Контрольные вопросы и задания

7.1. Укажите назначение генератора Г5-54.

7.2. В каких режимах может работать генератор?

7.3. Пользуясь структурной схемой, расскажите принцип действия генератора в различных режимах.

7.4. Каково минимально допустимое значение внешнего сопротивления, на которое может работать генератор?

7.5. Укажите предельные (максимальные и минимальные) значения длительности и частоты основных импульсов, вырабатываемых генератором в автоколебательном режиме.

7.6. Укажите длительность фронта и среза основных импульсов в худшем случае.

7.7. В каком диапазоне регулируется плавно амплитуда основных импульсов? Каково ее максимально возможное значение?

7.8. Укажите значения основных параметров синхроимпульсов.

7.9. В каком диапазоне может меняться задержка основных импульсов относительно синхронизирующих? Укажите ограничения, накладываемые на величину задержки.

7.10. Укажите параметры сигналов, используемых для внешнего запуска генератора. Какие ограничения накладываются на эти сигналы?

7.11. Каково значение внутреннего сопротивления генератора по выходу « $\ominus \rightarrow 1:1$ »?

7.12. Опишите органы управления, присоединения и контроля, расположенные на лицевой панели генератора.

7.13. Подготовьте генератор к работе, установив органы управления в исходное состояние.

7.14. Укажите порядок работы с прибором в случае:

- а) использования автоколебательного режима работы генератора;
- б) функционирования генератора в ждущем режиме (с внешним запуском);
- с) использования режима однократного запуска.

7.15. Укажите все запрещенные режимы работы генератора.

7.16. 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.

## **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:

a)  $\pm (1 + 50/f_n)\%$  в поддиапазоне частот от 200 Гц до 20 кГц (II и III поддиапазоны);

b)  $\pm (2 + 50/f_n)\%$  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, устанавливаемое по шкале частот « Hz », Гц.

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:

a) возможность гальванической развязки между нагрузкой и усилителем мощности генератора;

b) согласование выходного сопротивления генератора и сопротивления нагрузки путем изменения коэффициента трансформации трансформатора для достижения максимальной мощности, передаваемой в нагрузку;

c) 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 V**» не превышает  $\pm 4\%$ ;

– дополнительная погрешность установки опорного значения выходного напряжения при положении аттенюатора «**15 V**», обусловленная изменением температуры окружающей среды на каждые 10°C в диапазоне рабочих температур не превышает  $\pm 2\%$ ;

– предусмотрена ступенчатая регулировка выходного напряжения ступенями через 10 дБ с помощью встроенного аттенюатора 60 дБ. Погрешность ослабления встроенного аттенюатора при активной нагрузке 50 Ом в рабочем диапазоне температур не превышает  $\pm 0,5$  дБ;

– для подключения к гнезду « $\ominus \rightarrow 1$ » 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 « $\ominus \rightarrow 2$ »:

– 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  $\pm 15\%$ ;  $\pm 10\%$ ;  $\pm 10\%$  и  $\pm 25\%$ ;

- асимметрия выходного напряжения не превышает  $\pm 5\%$  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  $220 \pm 22$  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. 24.

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.

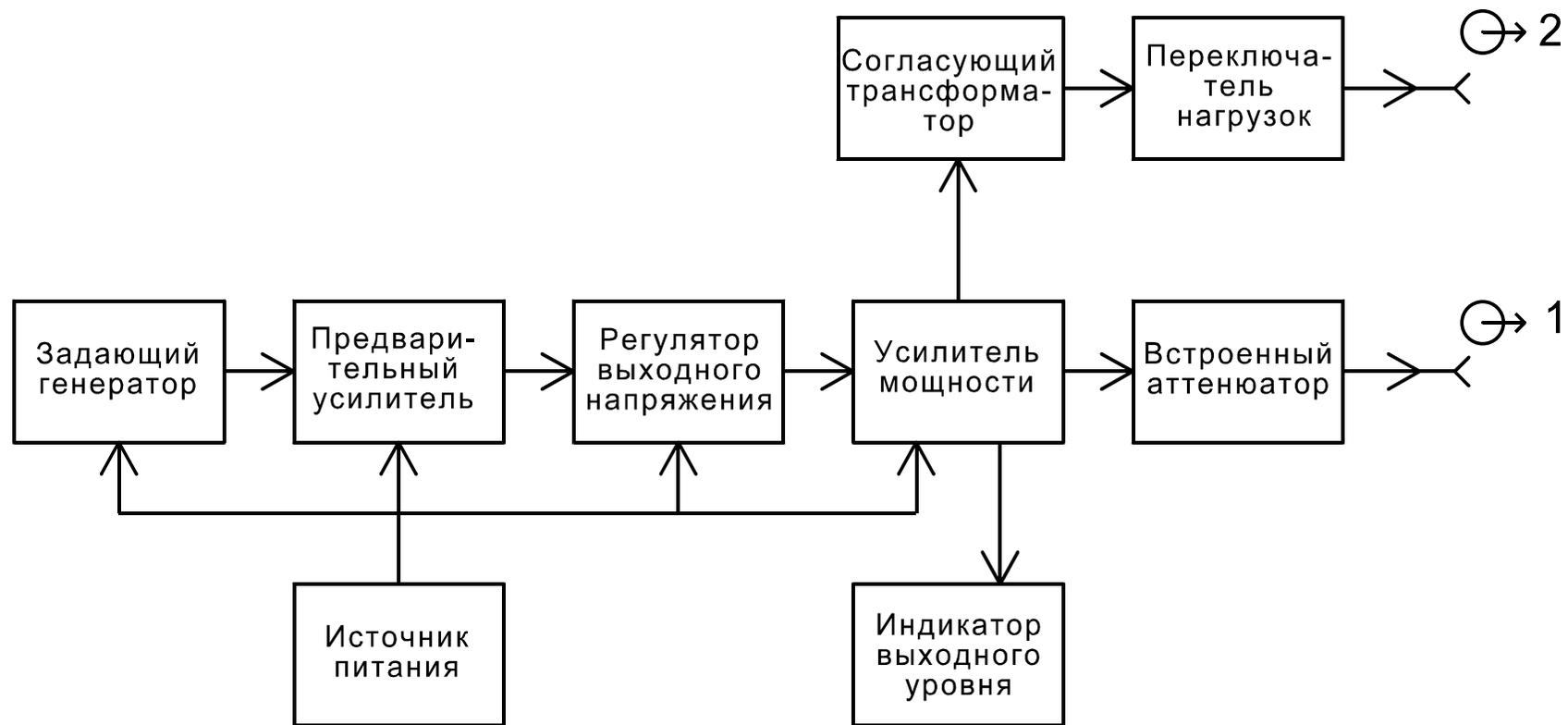


Рис. 24. Структурная схема генератора ГЗ-109.

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.

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. 25, 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 отчета уровня выходного сигнала генератора;

4 – ручка переключателя «**НАГРУЗКА,  $\Omega$** » – для переключения нагрузок генератора;

5 – группа малогабаритных клемм « $\ominus \rightarrow 2$ » – выход 2 генератора;

6 – разъем гнезда « $\ominus \rightarrow 1$ » – выход 1 генератора;

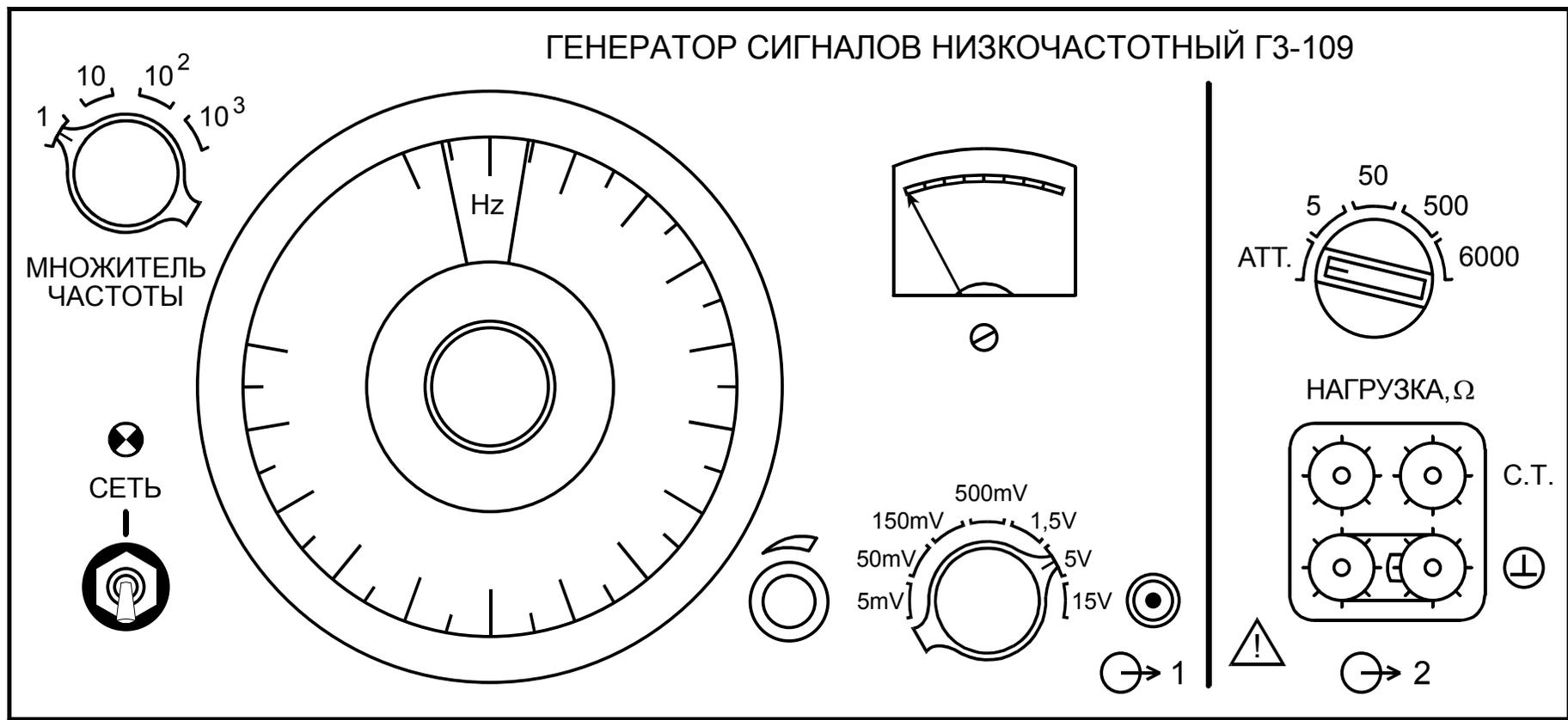


Рис. 25. Лицевая панель генератора ГЗ-109.

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 «  $\odot \rightarrow 1$  »;

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 генератора;
- 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,  $\Omega$**  »- 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.

**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.

Значения частот каждого поддиапазона приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Положение переключателя « <b>МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ</b> »	Значение частоты поддиапазона, Гц
×1	20 – 200
×10	200 – 2000
×10 <sup>2</sup>	2000 – 20000
×10 <sup>3</sup>	20000 – 200000

6.3. Выбрать выход генератора (1-й или 2-й), с которого сигнал будет подаваться на нагрузку.

Второй выход «  $\odot \rightarrow 2$  » 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÷5000 Ом необходимо передать максимально возможную мощность.

Во всех остальных случаях целесообразно использовать первый выход «  $\odot \rightarrow 1$  », учитывая, что сигнал с этого выхода характеризуется наименьшими нелинейными и частотными искажениями.

6.4. Использование первого выхода «  $\odot \rightarrow 1$  »:

- переключатель « **НАГРУЗКА,  $\Omega$**  » поставить в положение « **АТТ.** »;
- подключить кабель, входящий в комплект прибора, к гнезду «  $\odot \rightarrow 1$  » либо непосредственно, либо через балластную нагрузку 50 Ом, также входящую в состав генератора. Использование балласта необходимо для обеспечения точностных параметров генератора в случае, ко-

гда входное сопротивление цепи, на которую будет работать генератор, существенно превышает 50 Ом (более 500 Ом). Если входное сопротивление цепи лежит в диапазоне 50 Ом ÷ 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 ÷ 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**» (1 В – «**1,5 V**»; 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 4.

Таблица 4.

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 « $\ominus 1$ » 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 «земле» цепи, сигнальный конец – к точке цепи, в которую необходимо подать сигнал).

#### 6.5. Использование второго выхода « $\ominus 2$ »:

– ручку потенциометра «» установить в крайнее левое положение;

– ручку встроенного аттенюатора 60 дБ «**15 mV**» ÷ «**15 V**» установить в положение «**15 V**»;

– переключатель «**НАГРУЗКА,  $\Omega$** » установить в положение, соответствующее (наиболее близкое) величине внешней нагрузки;

– освободить гнездо « $\ominus 1$ » (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 « $\ominus 2$ ».

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;

с) средняя точка нагрузки соединяется с клеммой «**С.Т.**»;

д) 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 «  $\ominus$  ») 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 «  $\ominus$  » с помощью перемычки, входящей в комплект генератора;
- г) внешний измерительный прибор включается между клеммой «  $\ominus$  » и второй клеммой, к которой подключена нагрузка.

Схемы подключения внешней нагрузки и внешнего измерительного прибора к выходу «  $\ominus \rightarrow 2$  » генератора показаны на рис. 26.

Надо отметить, что при необходимости гальванической развязки между нагрузкой и усилителем клемму «  $\ominus$  » нужно исключить из описанных выше соединений;

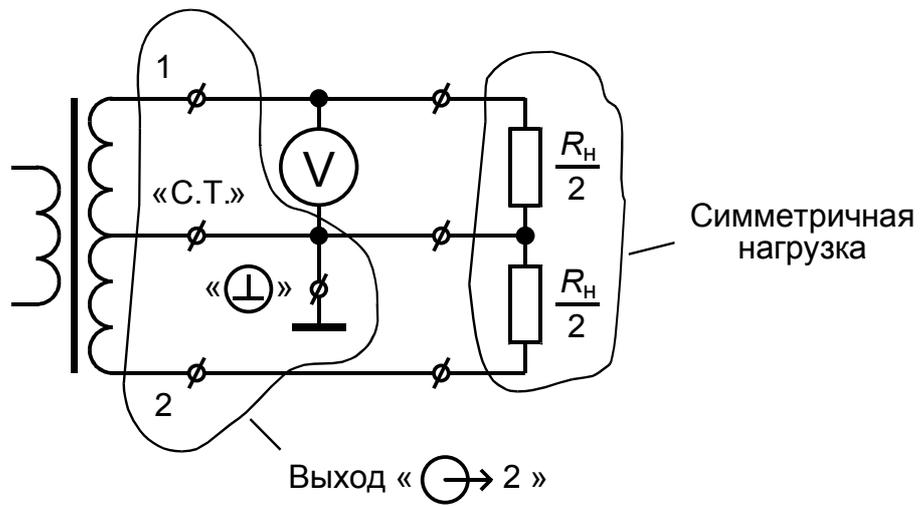
– вращая ручку потенциометра «  » и отслеживая по **внешнему** измерительному прибору уровень выходного сигнала, установить требуемое значение выходного напряжения генератора. Следует учесть, что в случае симметричной нагрузки внешний вольтметр показывает половинное выходное напряжение, выделяющееся на половине нагрузки.

**ВНИМАНИЕ!** Необходимо соблюдать особую осторожность при снятии сигнала с выхода «  $\ominus \rightarrow 2$  » (об этом предупреждает символ , установленный на лицевой панели рядом с выходными клеммами), так как на нагрузке 5000 Ом номинальная величина выходного напряжения составляет 142 В, а на нагрузке 600 Ом – 50 В!

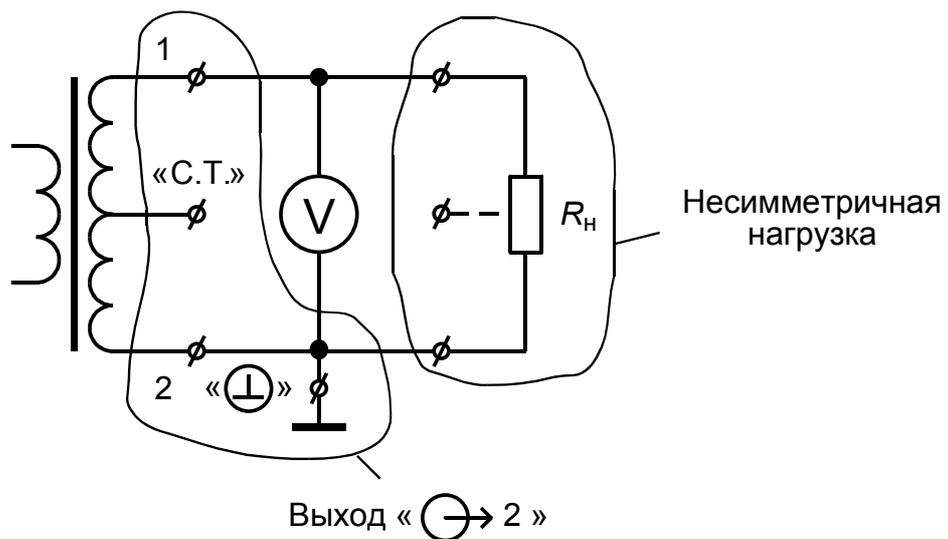
**ПОДКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗОК К КЛЕММАМ СЛЕДУЕТ ПРОИЗВОДИТЬ ПРИ ВЫВЕДЕННОМ ПОТЕНЦИОМЕТРЕ «  »!**

## 7. Контрольные вопросы и задания

- 7.1. Укажите назначение и функциональные возможности генератора ГЗ - 109.
- 7.2. Расскажите принцип действия генератора по структурной схеме.
- 7.3. Опишите органы управления, присоединения и контроля, расположенные на передней панели генератора.
- 7.4. Укажите запрещенные действия пользователя и режимы работы генератора ГЗ – 109.



а)



б)

Рис. 26. Схемы подключения внешней нагрузки и измерительного прибора к клеммам выхода « $\ominus \rightarrow 2$ ».

7.5. Подготовьте генератор к включению, установив органы управления, присоединения и контроля в исходное состояние.

7.6. Определите основную и дополнительную погрешность установки частоты генератора, если ручка шкалы частот « Hz » установлена в положение « 170 », а « **МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ** » находится в положении «  $\times 10^2$  ».

7.7. Каково минимально допустимое сопротивление нагрузки, на которое может работать генератор при использовании первого (второго) выхода?

7.8. В каком диапазоне регулируется плавно величина выходного напряжения? Каково ее максимально возможное значение?

7.9. Каково значение коэффициента гармоник выходного напряжения на первом (втором) выходе генератора в худшем случае?

7.10. Каким образом на первом выходе генератора получить сигнал величиной 1 мВ?

7.11. Поясните назначение переключателя « **НАГРУЗКА,  $\Omega$**  ».

7.12. В каких случаях целесообразно использовать первый (второй) выход генератора?

7.13. Изобразите схему коммутации клемм второго выхода при работе генератора на симметричную (несимметричную) нагрузку.

7.14. Каким образом на практике увеличивается «жесткость» внешней характеристики генератора?

7.15. Укажите порядок работы с прибором в случае:

а) использования первого выхода генератора;

б) использования второго выхода генератора при симметричной (несимметричной) нагрузке.

## ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Все необходимые коммутации между приборами и компонентами (модулями) **производить на монтажной панели с помощью проводников при выключенных питающих напряжениях**. При необходимости следует «размножить» точки подключения, используя соединительные проводники.

2. Измерения с помощью цифрового вольтметра проводить, начиная с самого «грубого» предела, последовательно повышая точность показаний.

3. Предел допускаемой основной погрешности измерений, проведенных с помощью ЦВ, рассчитывать с использованием данных таблицы 1 из технического описания цифрового вольтметра.

4. После измерения сопротивления или тока входной кабель ЦВ рекомендуется переставлять **в гнездо 1-го входа**.

5. При снятии сфазированных осциллограмм в двухканальном режиме работы осциллографа «земляные» концы сигнальных кабелей обоих каналов необходимо **подключать к одной точке цепи**, поскольку они эквипотенциальны (можно использовать лишь один «земляной» конец!).

6. Прежде чем установить требуемые параметры выходного сигнала генератора Г5-54, подумайте, какой из них (длительность импульса или частота) должен устанавливаться первым, чтобы избежать попадания прибора в запрещенный режим.

7. При осциллографировании синусоидальных сигналов определению подлежат параметры:

- a) период  $T$ , частота  $f$ ;
- b) амплитуда  $U_m$  ( $U_m^+$ ,  $U_m^-$ );
- c) начальная фаза относительно входного сигнала (начальную фазу  $u_{вх}$  целесообразно принять равной нулю).

8. При исследовании несинусоидальных сигналов определению подлежат следующие параметры:

- для квазипрямоугольного сигнала
  - a) период  $T$ , частота  $f$ ;
  - b) амплитуда  $U_m$  ( $U_m^+$ ,  $U_m^-$ );
  - c) начальный уровень  $U_0$ ;
  - d) длительность сигнала по основанию либо по уровню  $0,1U_m$ ;
  - e) активная длительность  $t_{иа}$  (по уровню  $0,5U_m$ );
  - f) длительность фронта  $t_{фр}$  (между уровнями  $0,1U_m$  и  $0,9U_m$ );
  - g) длительность спада  $t_{сп}$  (между уровнями  $0,1U'_m$  и  $0,9U'_m$  на спаде сигнала);
  - h) спад плоской вершины  $\Delta U$  и коэффициент спада

$$K_{сп} = \Delta U / U_m,$$

где  $\Delta U = U_m - U'_m$ ;

- для пилообразного сигнала
  - a) период  $T$ , частота  $f$ ;
  - b) амплитуда  $U_m$  ( $U_m^+$ ,  $U_m^-$ );
  - c) начальный уровень  $U_0$ ;
  - d) длительность прямого хода  $t_{\text{пх}}$ ;
  - e) длительность обратного хода  $t_{\text{ох}}$ ;
  - f) коэффициент нелинейности

$$K_{\text{н}} = \frac{\left. \frac{du}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{du}{dt} \right|_{t=t_{\text{пх}}}}{\left. \frac{du}{dt} \right|_{t=0}} = 1 - \frac{\text{tg}\alpha_{\text{к}}}{\text{tg}\alpha_0},$$

где  $\left. \frac{du}{dt} \right|_{t=0} = \text{tg}\alpha_0$  – скорость нарастания напряжения в начале

прямого хода пилы, равная тангенсу угла наклона касательной в соответствующей точке;

$\left. \frac{du}{dt} \right|_{t=t_{\text{пх}}} = \text{tg}\alpha_{\text{к}}$  – скорость нарастания напряжения в конце пря-

мого хода, равная тангенсу угла наклона касательной в точке  $t=t_{\text{пх}}$

(углы  $\alpha_0$  и  $\alpha_{\text{к}}$  определяются графически по осциллограмме);

g) скорость нарастания (спада) напряжения  $K = U_m / t_{\text{пх}}$ ;

h) коэффициент использования напряжения источника питания  $K_u = U_m / E$ .

9. Абсолютную и относительную погрешность результатов эксперимента рассчитывать по формулам:

$$\Delta X = |X_{\text{расч}} - X_{\text{эксп}}|; \quad \delta = (\Delta X / X_{\text{расч}}) \times 100\%,$$

где  $X_{\text{расч}}$  – расчетное (или принятое за истинное) значение параметра;  $X_{\text{эксп}}$  – значение параметра, полученное в эксперименте;  $\Delta X$  – абсолютная погрешность;  $\delta$  – относительная погрешность.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЁМУ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

1. Все лабораторные работы (ЛР) выполняются индивидуально.

2. Результаты выполнения **каждого пункта** программы предъявляются для проверки преподавателю, который дает разрешение на продолжение работы по программе.

3. Программа каждой лабораторной работы состоит из двух частей. Первая часть (обязательный минимум) является обязательной и должна быть **непрерывно** выполнена студентом. На обязательную часть выделяется обычно 70% от максимального количества баллов, приходящихся на всю лабораторную работу согласно рейтинг-плану. Вторая часть программы является дополнительной и может студентом не выполняться (однако, материал этой части входит в контрольные вопросы на защите ЛР!). Выполнение каждого пункта второй части программы повышает итоговый процент на некоторую величину вплоть до максимального количества баллов, выделяемых на данную работу.

4. Работа считается выполненной лишь после успешной защиты отчета.

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

Отчет к лабораторной работе выполняется индивидуально, аккуратно, грамотно и должен содержать следующие 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;
  - сфазированные осциллограммы с указанием параметров 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 (приводятся либо в конце работы, либо в конце каждого пункта по ходу выполнения).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### *ОСВОЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** ознакомиться с принципом действия, основными параметрами и характеристиками лабораторного оборудования, используемого в учебном процессе; приобрести устойчивые навыки практической работы с контрольно-измерительной аппаратурой.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. В рамках часов, отводимых на самостоятельную работу, изучить технические описания:

- a) лабораторного источника питания;
- b) осциллографа С1-83;
- c) генератора синусоидального сигнала ГЗ-109;
- d) генератора прямоугольных импульсов Г5-54;
- e) универсального цифрового вольтметра В7-22А.

2. Ознакомиться с программой лабораторной работы. Подготовить эскизы функциональных схем, с помощью которых можно реализовать контрольные задания и выполнить пункты 4 ÷ 11 программы работы.

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, провести их калибровку.

4. Используя соответствующие режимы работы цифрового вольтметра, измерить:

- a) напряжение в сети ~ 36 В, 50 Гц;
- b) напряжение в сети ~ 220 В, 50 Гц;
- c) сопротивления трёх резисторов, выданных преподавателем.

Результаты измерений, **включая промежуточные**, занести в таблицу. Пользуясь данными таблицы 1 из технического описания цифро-

вого вольтметра, 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 истинные 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. Рассчитать частоту входного сигнала, при которой обеспечивается требуемое значение  $\varphi_{ku}$ . 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  $\varphi_{ku}$ . 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, начинающейся с резистора:

$$f_p = -\operatorname{tg}\varphi_{ku}/(2\pi\tau); \quad K_U = 1/\sqrt{1 + (2\pi f_p \tau)^2}; \quad Z_{\text{вх}} = R \sqrt{1 + 1/(2\pi f_p \tau)^2};$$

для RC-цепи, начинающейся с конденсатора:

$$f_p = (2\pi\tau \operatorname{tg}\varphi_{ku})^{-1}; \quad K_U = 2\pi f_p \tau / \sqrt{1 + (2\pi f_p \tau)^2}; \quad Z_{\text{вх}} = R \sqrt{1 + 1/(2\pi f_p \tau)^2},$$

где  $f_p$  – рабочая частота генератора ГЗ-109;  $\tau = RC$  – постоянная времени цепи.

7. Пользуясь ручкой «**регулировка усиления плавно**» I канала, **уменьшить изображение входного сигнала** до размера  $U_{\text{вых}}$ . Переключо-

чить осциллограф в режим работы «X-Y». Переместить полученное изображение эллипса в центр экрана, зарисовать его и измерить параметры А и Б, необходимые для определения  $\varphi_{Ки}$  с помощью фигур Лиссажу. Рассчитать фазовый сдвиг между  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$  по формуле:

$$\varphi_{Ки} = \arcsin(A/B).$$

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 состоянии. 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** (полярность, длительность, частота, задержка). Переведя осциллограф в ждущий режим и используя для его внешнего запуска синхронимпульсы генератора, 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  $t_n = 100$  мкс; задержка  $t_z = 5$  мкс.

Сделав необходимые коммутации на монтажной панели:

- а) подключить канал I осциллографа к выходу Г3-109;
- б) подключить канал II осциллографа к основному выходу Г5-54;
- в) 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 ГЗ-109 до уровня, при котором нормальная работа генератора Г5-54 нарушается (наблюдается «перезапуск»). Определить максимальный диапазон напряжений  $U_{г}$ , в котором оба генератора работают нормально.

11. Предложить структурную схему и план эксперимента для снятия внешней характеристики генератора ГЗ-109 на рабочей частоте 1 кГц. Рассчитать значения сопротивлений и мощность резисторов, необходимых для снятия пяти точек характеристики. Получив нужные компоненты у преподавателя, провести эксперимент для двух случаев:

- а) при наличии на выходе генератора балластной нагрузки 50 Ом;
- б) без балластной нагрузки.

По результатам эксперимента построить нагрузочные характеристики и определить внутреннее сопротивление генератора. Сделать выводы.

12. Учитывая относительно малые длительности переднего и заднего фронтов основного выходного импульса генератора Г5-54, предложите структурную схему и план эксперимента для относительно точного определения этих параметров с помощью имеющейся в Вашем распоряжении аппаратуры.

Результаты эксперимента сравните с данными, указанными в техническом описании генератора Г5-54, сделайте выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Подготовьте к включению приборы, входящие в состав рабочего места лаборатории (осциллограф С1-83 (GOS-620), генераторы ГЗ-109 и Г5-54, цифровой вольтметр В7-22А), установив органы управления, присоединения и контроля каждого прибора в исходное состояние.

2. Укажите назначение и функциональные возможности оборудования, указанного в пункте 1 (по указанию преподавателя).

3. Опишите органы управления, присоединения и контроля каждого из приборов, указанных в пункте 1 (по указанию преподавателя).

4. Укажите запрещенные действия пользователя и режимы работы осциллографа С1-83 (GOS-620), генераторов ГЗ-109 и Г5-54, цифрового вольтметра В7-22А (по указанию преподавателя).

5. Проверьте калибровку осциллографа по укороченной программе.

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. Каким органом 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, сопротивления.

12. Какой параметр переменного сигнала (мгновенное, среднее, действующее или амплитудное значение) измеряет и индицирует универсальный цифровой вольтметр?

13. Какова максимально допустимая величина коэффициента гармоник измеряемого синусоидального напряжения, при которой еще обеспечивается паспортная точность измерения?

14. Каким образом ЦВ реагирует на перегрузку?

15. Можно ли измерить амплитуду основных импульсов, вырабатываемых генератором Г5-54, с помощью ЦВ?

16. Поясните, каким образом с помощью ЦВ провести измерение заданного параметра с максимально возможной точностью.

17. Каким образом производится установка нуля индикаторного устройства ЦВ? Какое показание табло считается при этом допустимым?

18. Приведите схему подключения ЦВ для измерения входного переменного тока какой-либо пассивной электрической цепи (по указанию преподавателя). В каких положениях должны находиться при этом органы управления, присоединения и контроля ЦВ?

19. В каких режимах может работать генератор Г5-54 и каким образом эти режимы обеспечиваются?

20. Укажите значения параметров основных и синхронизирующих сигналов, вырабатываемых генератором Г5-54 в исходном состоянии.

21. В каком диапазоне регулируется плавно амплитуда основных импульсов генератора Г5-54? Каково ее максимально возможное значение?

22. Каково значение внутреннего сопротивления генератора Г5-54 по выходу « $\Theta \rightarrow$  1:1 »?

23. В каких случаях целесообразно использовать первый (второй) выход генератора Г3-109?

24. В каком диапазоне регулируется плавно величина выходного напряжения на первом выходе генератора Г3-109? Каково ее максимально возможное значение?

25. Расскажите, каким образом на первом выходе генератора получить сигнал величиной 1 мВ?

26. Поясните назначение переключателя « НАГРУЗКА,  $\Omega$  ».

27. Каким образом на практике увеличивается «жесткость» внешней характеристики генератора Г3-109?

28. Подготовьте осциллограф к проведению измерений, установив органы управления прибором в исходное состояние. Проведите с помощью осциллографа измерение постоянного напряжения неизвестной величины и полярности (по заданию преподавателя).

29. Используя ЦВ, измерьте сопротивление резисторов, предложенных преподавателем. Определите основную погрешность измерения в каждом конкретном случае.

30. Выполнить задание (по указанию преподавателя):

а) повторить выполнение пунктов 6, 7 программы лабораторной работы №1. Результаты измерений продемонстрировать преподавателю. Описать последовательность действий при проведении измерений.

б) повторить выполнение пунктов 8, 9 из программы лабораторной работы №1. 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 ОБЪЁМУ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ**

1. Обязательными для выполнения являются пункты 1÷9 программы, что составляет 70% от максимального количества баллов, выделяемых на данную работу.

2. Выполнение каждого из пунктов 10, 11 увеличивает итоговый процент выполнения работы на 15%.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

#### **«ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ»**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** углубленное освоение студентами теоретических положений темы «Частотный анализ пассивных электрических цепей» путем экспериментального исследования широко распространенных на практике  $RC$ -цепей различного назначения; дальнейшее развитие практических навыков работы с электроизмерительной аппаратурой, используемой при снятии амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик; усвоение приемов, методов и способов обработки, представления и интерпретации результатов проведенных исследований.

**ЗАДАЧА:** усвоить принцип построения, особенности функционирования, освоить методы расчета, настройки и экспериментального исследования базовых  $RC$ -цепей различного назначения.

#### **ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ**

1. При подготовке к выполнению лабораторной работы изучить разделы курса, посвященные частотному анализу широко используемых в электронике пассивных  $RC$ - и  $RL$ -цепей различного назначения: фильтров верхних (ФВЧ) и нижних частот (ФНЧ); полосового фильтра (ПФ); режекторного фильтра (2Т-мост); фазирующих цепей ( $C$ - параллель,  $R$ -параллель). В результате изучения:

– **уметь:**

- a) проводить логический и математический анализы  $RC$ -цепей, исследуемых в лабораторной работе;
- b) строить векторные диаграммы рассматриваемых цепей;
- c) рассчитывать  $RC$ -цепи различного назначения, обеспечивающих реализацию заданных параметров;

– **знать:**

а) определение и физическую сущность параметров и характеристик, используемых при проведении частотного анализа электрической цепи;

б) выражения для расчета основных параметров исследуемых схем: граничных и квазирезонансных частот, полосы пропускания и подавления, эквивалентной добротности;

в) значения  $Z_{вх}$ ,  $\varphi_Z$ ,  $K_u$  и  $\varphi_{Ku}$  базовых схем на характерных частотах.

2. Ознакомиться с программой лабораторной работы и методическими указаниями по ее выполнению.

3. Выяснить у преподавателя номер своего варианта, определяющего параметры компонентов исследуемых схем (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1

№ варианта	$R$ , Ом	$C$ , нФ
1	$15 \times 10^3$	6,2
2	$12 \times 10^3$	10
3	$10 \times 10^3$	18
4	$7,5 \times 10^3$	33
5	$4,7 \times 10^3$	47
6	$3,0 \times 10^3$	47
7	$2,2 \times 10^3$	47
8	$1,5 \times 10^3$	47
9	$1,2 \times 10^3$	47
10	$1,0 \times 10^3$	100

4. Рассчитать характерные параметры исследуемых цепей для номиналов компонентов из варианта, заданного преподавателем.

Определить:

а) граничные частоты ФНЧ, ФВЧ, ПФ, 2Т-моста, фазирующих цепей  $R$  – и  $C$  – параллель, Гц;

б) абсолютную и относительную полосы пропускания и подавления  $\Delta f$  ПФ и 2Т-моста;

в) эквивалентную добротность  $Q_{эkv}$  полосового и режекторного фильтров.

5. Подготовить таблицы для внесения результатов измерений для всех исследуемых схем по образцу:

Таблица 2

$f, \text{Гц}$											$f_0$									
$K_u$																				
$\Phi_{ku}$																				

## ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовка к работе электроизмерительного оборудования:

- подготовить к включению осциллограф С1-83, генератор ГЗ-109 и вольтметр В7-22А, установив органы управления приборов в исходное состояние.

- включить аппаратуру для предварительного прогрева.

- проверить калибровку осциллографа и цифрового вольтметра и при необходимости откалибровать их. Подготовить вольтметр для измерения переменного напряжения величиной до 2 В.

2. Исследование фильтра нижних частот:

- получить у преподавателя панель с модулями ( $R$  и  $C$ ), номиналы которых соответствуют выполняемому варианту. Уточнить значение сопротивления резистора, измерив его с помощью ЦВ. Записать значения параметров используемых компонентов.

- используя модули, собрать на монтажной панели фильтр нижних частот ( $RC$ -цепь, начинающуюся с резистора);

- с помощью органов управления установить на первом выходе генератора ГЗ-109 напряжение  $U_r=1$  В (по встроенному вольтметру) с частотой, соответствующей расчетному граничному значению;

- подключить ко входу исследуемой цепи сигнальные кабели:

- a) I канала осциллографа;

- b) цифрового вольтметра;

- c) генератора ГЗ-109;

- наблюдая за показаниями цифрового вольтметра, откорректировать величину выходного напряжения генератора ( $U_r=1$  В);

- переключить ЦВ на выход исследуемой схемы; кроме того, подключить к выходу цепи сигнальный кабель II канала осциллографа;

– используя оба канала осциллографа и показания ЦВ, определить коэффициент передачи цепи и фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами на граничной частоте.

**Примечание:** на граничной частоте ФНЧ, очевидно,  $K_{u\text{ гр}} \approx 0,707$ , а  $\varphi_{K_{u\text{ гр}}} = -45^\circ$ .

**ВНИМАНИЕ:** при  $U_{\text{г}}=1\text{ В}$  показания вольтметра соответствуют значениям  $K_u$ !. Если значения параметров совпадают с требуемыми с погрешностью не более  $\pm 10\%$ , внести результаты измерений в подготовленную таблицу и продолжить выполнение программы. В противном случае необходимо выяснить причину несоответствия, устранить неполадки и только после этого продолжать работу;

– используя ЦВ, измерить падение напряжения на резисторе ФНЧ. Рассчитать значения входного тока и модуля входного сопротивления на граничной частоте:  $I_{\text{вх}} = U_{\text{R}}/R$ ;  $Z_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}$ . Зафиксировать результат измерения, сравнить с требуемым значением  $Z_{\text{вх гр}} = \sqrt{2} R$ . Сделать вывод.

– используя оба канала осциллографа и резистор  $R$  в качестве шунта, измерить фазовый сдвиг между входным током и входным напряжением на граничной частоте  $\varphi_{Z\text{ гр}}$ . Зафиксировать результат измерения, сравнить с требуемым значением  $\varphi_{Z\text{ гр}} = -45^\circ$ , сделать вывод.

– снять сфазированные диаграммы сигналов  $u_{\text{вх}}$ ,  $i_{\text{вх}}$ ,  $u_{\text{вых}}$  на граничной частоте, фиксируя все основные параметры.

– меняя частоту входного сигнала вначале в сторону меньших значений от  $f_{\text{гр}}$ , а затем в сторону бóльших ( $f > f_{\text{гр}}$ ) и занося в таблицу зафиксированные одновременно значения  $K_u$  и  $\varphi_{K_u}$ , снять амплитудно- и фазо-частотные характеристики ФНЧ.

**Примечание:** в общем случае при снятии АЧХ и ФЧХ необходимо использовать максимально возможный диапазон изменения частоты генератора: 20 Гц – 200 кГц. Общее количество точек должно составлять  $15 \div 20$ . Шаг изменения частоты выбирается таким образом, чтобы в результате шага изменение параметра составило  $\approx 5\%$  от *максимально возможного диапазона его значений*. Например, теоретически возможный диапазон изменения параметра  $X$ :  $(-) 90^\circ \leq X \leq +90^\circ$ , т.е.  $|\Delta X| = 180^\circ$ . 5% от этой величины составляет  $9^\circ$ . Таким образом, менять частоту входного сигнала нужно так, чтобы в результате изменения  $f$  параметр  $X$  изменился примерно на  $9^\circ$  (не нужно воспринимать это как догму, это – руководство к разумному действию!). Очевидно, что, если на рассматриваемом частотном интервале параметр меняется сильно, то шаг изменения частоты будет небольшим, в противном случае – относительно большим.

### 3. Исследование фильтра верхних частот:

– используя модули с соответствующими компонентами, собрать на монтажной панели фильтр верхних частот ( $RC$ -цепь, начинающуюся с конденсатора);

– провести экспериментальные исследования ФВЧ в последовательности, изложенной в п.2.

#### 4. Исследование полосового $RC$ -фильтра:

– собрать на монтажной панели схему полосового фильтра;

– снять амплитудно-частотную  $K_u = \Psi(f)$  и фазо-частотную  $\varphi = \Psi(f)$  характеристики ПФ, действуя по алгоритму, изложенному в п. 2.

#### 5. Исследование заградительного $RC$ -фильтра (2Т-мост):

– собрать на монтажной панели схему 2Т-моста, используя модули с нужными компонентами.

**Примечание:** в качестве резистора  $R_3$  и конденсатора  $C_3$  использовать параллельное соединение компонентов с параметрами  $R$  и  $C$ ;

– снять передаточные частотные характеристики [ $K_u = \Psi(f)$  и  $\varphi = \Psi(f)$ ] цепи, действуя в последовательности, изложенной в п. 2.

**Примечание:** учитывая специфический вид частотных характеристик 2Т-моста, при снятии АЧХ и ФЧХ особое внимание следует уделить выбору шага изменения частоты вблизи квазирезонанса.

#### 6. Исследование трехзвенных фазирующих $RC$ -цепей:

– собрать на монтажной панели трехзвенную фазирующую цепь  $C$ -параллель;

– увеличить входное напряжение до 10 В, откорректировав это значение с помощью ЦВ (соблюдая правила работы с прибором);

**Примечание:** увеличение входного сигнала обусловлено стремлением повысить точность предстоящих измерений, поскольку для фазирующих цепей характерно значительное ослабление сигнала на квазирезонансной частоте. **При  $U_r=10$  В для определения  $K_u$  показания вольтметра необходимо уменьшить в 10 раз!**

– снять амплитудно-частотную  $K_u = \Psi(f)$  и фазо-частотную  $\varphi = \Psi(f)$  характеристики цепи;

– собрать на монтажной панели трехзвенную фазирующую цепь  $R$ -параллель;

– снять передаточные частотные характеристики цепи, действуя по известному алгоритму;

#### 7. Обработка результатов экспериментальных исследований:

– построить передаточные характеристики исследуемых цепей, используя логарифмический масштаб по оси частот;

– по построенным характеристикам для каждой схемы определить реальные значения характерных параметров: граничные и квазирезонансные частоты, полосы пропускания и подавления, фазовые сдвиги между входным и выходным напряжениями на характерных частотах, а также добротность фильтров. Сравнить полученные результаты с данными предварительного расчета, рассчитав абсолютные и относительные погрешности. Сделать выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Проведите физический анализ схем, исследуемых в лабораторной работе, по результатам которого покажите примерный вид частотных характеристик, присущих каждой схеме.

2. Какие параметры характеризуют электрическую цепь, как нагрузку? Как средство передачи? Как источник сигнала?

3. Объясните физический смысл параметров  $\varphi_Z$  и  $\varphi_{Ku}$ .

4. Приведите  $RC$ - и  $LR$ -цепи, являющиеся фильтрами верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот. Докажите свое утверждение. Какими свойствами цепи с конденсаторами отличаются от цепей с индуктивностями?

5. Покажите вид передаточных частотных характеристик, присущих идеальным фильтрам верхних и нижних частот. Сравните их с характеристиками простейших фильтров аналогичного назначения, исследуемых в данной работе.

6. Поясните, каким образом определяется граничная частота (частота среза) ФВЧ (ФНЧ)? Как это сделать аналитически? По экспериментальной передаточной характеристике?

7. Построить векторные диаграммы для ФВЧ (ФНЧ) на частотах:  
а) вдвое больше граничной; б) вдвое меньше граничной; в) граничной.

8. Какой максимальный фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями может обеспечить однозвенная фазосдвигающая  $RC$ -цепь теоретически? Можно ли получить его реально?

9. Определить модуль входного сопротивления ФВЧ на частоте, в три раза превышающей граничную, если  $R=200$  Ом,  $C=18$  нФ.

10. На вход  $LR$ -цепи, начинающейся с индуктивности, поступает синусоидальное напряжение с начальной фазой, равной  $(-)\pi/4$ . Определить  $K_u$  и  $\varphi_{Ku}$  цепи на частоте, в 2 раза меньшей граничной, и записать для этого случая выражения для мгновенных значений входного тока и выходного напряжения, если амплитуда входного сигнала  $U_m=10$  В, а параметры элементов:  $L=0,1$  Гн,  $R=510$  Ом.

11. Каким образом с помощью осциллографа измерить входное сопротивление исследуемой цепи на заданной частоте?

12. Предложите метод измерения емкости конденсатора  $RC$ -цепи с помощью осциллографа и генератора синусоидальных сигналов, если сопротивление резистора известно.

13. Объясните, за счет чего схема классического полосового фильтра (ПФ) приобретает свойства частотно-избирательной цепи?

14. Чему равна эквивалентная добротность ПФ? Как она определяется?

15. Построить векторные диаграммы для ПФ на частотах: а) в 1,1 раза меньше резонансной; б) вдвое больше резонансной; в) квазирезонанса.

16. Получить выражение для определения граничных частот ПФ.

17. Приведите формулы для расчета граничных частот и частоты квазирезонанса для каждой из схем, исследуемых в работе.

18. Опишите последовательность действий, необходимых для измерения разности фаз двух синусоидальных сигналов (по двум известным способам).

19. Определите минимальное значение модуля входного сопротивления каждой из цепей, рассматриваемых в работе, а также значение частоты, на которой наблюдается этот минимум.

20. Определить тип цепи и ее конфигурацию по известному (заданному преподавателем) виду передаточных частотных характеристик. Достаточно ли этих данных для однозначного ответа?

21. Приведите схему симметричного двойного Т-образного моста (2Т-М). Какими свойствами обладает эта цепь? Где применяется?

22. Чему равна эквивалентная добротность 2Т-М? Как определить ее теоретически и практически?

23. Перечислите достоинства и недостатки 2Т-М по сравнению с мостом Вина-Робинсона.

24. Каким образом выбираются номиналы реальных компонентов схемы 2Т-М при его практическом проектировании?

25. Как на практике наиболее просто осуществить настройку симметричного двойного Т-образного моста? Каковы признаки того, что мост настроен?

26. Дайте определение и приведите схемы наиболее распространенных фазирующих цепей. Где применяются эти схемы?

27. Обосновать минимально необходимое количество  $RC$ - ( $RL$ -) звеньев, требуемое для получения  $\varphi_{Ки}$ , равного  $\pm \pi$ .

28. Каким образом можно повысить коэффициент передачи фазирующей цепи на частоте квазирезонанса? До каких значений?

29. Построить векторную диаграмму для фазирующей цепи  $R$ -параллель на частоте квазирезонанса.

30. Как распределяется суммарный фазовый сдвиг  $\varphi_{Ки} = \pm \pi$  по звеньям классической трехзвенной фазирующей цепи? Какое звено обеспечивает максимальный фазовый сдвиг на квазирезонансе, а какое – минимальный? Почему?

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЁМУ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ**

1. Обязательными для выполнения являются пункты 1, 2, 4, 6 (исследование **одной** из фазирующих цепей) и 7 программы, что составляет 70% от максимального количества баллов, выделяемых на данную работу.

2. Выполнение каждого из пунктов 3, 5 и 6 (оставшаяся часть) увеличивает итоговый процент выполнения работы на 10%.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### **ПРОХОЖДЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ЧЕРЕЗ RC- И RL-ЦЕПИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** экспериментальное исследование переходных процессов, возникающих при прохождении последовательности прямоугольных импульсов через укорачивающую (квазидифференцирующую), разделительную, и квазиинтегрирующую  $RC$ - и  $RL$ -цепи.

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. При подготовке к выполнению лабораторной работы изучить разделы курса, в которых рассмотрены укорачивающие, разделительные и интегрирующие  $RC$ - и  $RL$ -цепи. В результате изучения:

– **уметь:**

а) проводить расчет переходных процессов в цепях постоянного тока первого порядка;

б) строить сфазированные диаграммы токов и напряжений для укорачивающей, разделительной и интегрирующей цепи  $RC$ - и  $RL$ - типа;

– **знать:**

а) определение, назначение и области применения укорачивающих, разделительных и интегрирующих цепей;

б) условия, при которых цепь является укорачивающей, разделительной или интегрирующей;

в) выражения для расчета основных параметров рассматриваемых цепей.

2. Ознакомиться с программой лабораторной работы и методическими указаниями по ее выполнению.

3. Выяснить у преподавателя номер своего варианта, определяющего параметры компонентов исследуемых схем (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1

№ варианта	$R$ , Ом	$C$ , нФ	$L$ , Гн
1	$22 \times 10^3$	4,7	0,1
2	$15 \times 10^3$	6,8	0,1

3	$13 \times 10^3$	6,2	0,1
4	$12 \times 10^3$	10	0,1
5	$10 \times 10^3$	18	0,1
6	$4,3 \times 10^3$	33	0,1
7	$3,6 \times 10^3$	47	0,1
8	$3,0 \times 10^3$	47	0,1
9	$2,2 \times 10^3$	47	0,1
10	$1,5 \times 10^3$	100	0,1

4. Рассчитать (номиналы компонентов исследуемой цепи берутся из варианта, согласованного с преподавателем):

а) постоянную времени исследуемой цепи  $\tau$ ;

б) длительность и частоту входных прямоугольных импульсов:

$t_{и} \approx 5\tau$ , мкС;  $f \approx 1/(5t_{и})$ , Гц – для укорачивающей цепи;

$t_{и} \approx \tau/5$ , мкС;  $f \approx 1/(5t_{и})$ , Гц – для разделительной и квазиинтегрирующей цепей;

в) параметры выходных сигналов для цепей различного назначения – амплитуду, активную длительность,  $U_{C\ min}$ ,  $U_{C\ max}$ ,  $\Delta U_C$ ,  $K_{сп}$ , и т.п. (амплитуду входных сигналов принять равной  $U_m = 10$  В).

3. Подготовить оси для изображения сфазированных диаграмм в соответствии с программой работы.

**Примечание:** При расчете коэффициента спада плоской вершины выходного напряжения разделительной цепи использовать точную формулу

$$K_{сп} = \frac{(1 - e^{-t_{и}/\tau}) \times (1 - e^{-(T-t_{и})/\tau})}{(1 - e^{-T/\tau})},$$

и приближенную:

$$K_{сп} \cong t_{и} \times (1 - t_{и} / T) / \tau.$$

## ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовка к работе электроизмерительного оборудования:

– подготовить к включению осциллограф С1-83, генератор Г5-54, установив органы управления приборов в исходное состояние;

- включить аппаратуру для предварительного прогрева;
- проверить калибровку осциллографа и готовность к работе генератора; при необходимости провести калибровку осциллографа.

## 2. Исследование укорачивающей RC-цепи:

- используя модули с соответствующими компонентами, собрать на монтажной панели укорачивающую RC-цепь;
- с помощью органов управления установить на передней панели генератора следующие параметры основных импульсов:
  - а) полярность – положительная;
  - б) амплитуда –  $U_m=10$  В;
  - в) время задержки –  $t_3 = 0$ ;
  - д) длительность и частота – в соответствии с результатами расчета по предварительному заданию;

**Примечание:** 1) проверьте правильность расчетов: не попадает ли генератор с расчетными значениями  $f$  и  $t_n$  в запрещенный режим (для **нормальной работы прибора должно выполняться условие:  $f \times t_n < 0,5!$** ).

- используя оба канала осциллографа, снять сфазированные осциллограммы напряжений  $U_{вх}(t)$ ;  $U_C(t)$ ;  $U_{вых}(t)=U_R(t)$ , фиксируя в соответствии с формой импульсов все характеризующие сигнал параметры;
- выяснить экспериментально, как отражаются на выходном напряжении укорачивающей цепи параметры входного сигнала, изменив:
  - а) в два раза (в любую сторону относительно исходной величины) амплитуду  $U_m$ ;
  - б) в два раза относительно первоначального значения рабочую частоту генератора (в бóльшую и меньшую стороны) **при неизменной длительности входного сигнала**. Зарисовать сфазированные диаграммы  $U_{вх}(t)$  и  $U_{вых}(t)$  для этих случаев, сделать выводы.

## 3. Исследование разделительной RC-цепи:

- с помощью органов управления установить на лицевой панели генератора Г5-54 длительность и частоту основных импульсов в соответствии с результатами расчетов по предварительному заданию;
- используя двухканальный режим работы осциллографа, снять, фиксируя все параметры импульсов, сфазированные осциллограммы напряжений  $U_{вх}(t)$ ;  $U_C(t)$ ;  $U_{вых}(t)=U_R(t)$ ;

– определить экспериментальным путем, как влияют на выходное напряжение разделительной цепи параметры входного сигнала, изменив в два раза относительно первоначального значения (в большую и меньшую сторону) длительность  $t_{и}$  **при неизменной рабочей частоте генератора**. Зарисовать сфазированные диаграммы  $U_{вх}(t)$  и  $U_{вых}(t)$  для рассмотренных режимов, сделать выводы.

4. Исследование квазиинтегрирующей  $RC$ -цепи:

– собрать на монтажной панели квазиинтегрирующую  $RC$ -цепь;  
– повторить действия по пункту 3 с учетом того, что  $U_{вых}(t) = U_C(t)$ .

5. Исследование укорачивающей  $LR$ -цепи:

– используя модули с соответствующими компонентами, собрать на монтажной панели укорачивающую  $LR$ -цепь;  
– повторить эксперименты по пункту 2, фиксируя напряжения  $U_{вх}(t)$ ;  $U_R(t)$ ;  $U_{вых}(t) = U_L(t)$ .  
– используя экспериментально определенное значение активной длительности выходных импульсов, рассчитать реальное значение индуктивности дросселя.

**Примечание:** для расчета индуктивности дросселя воспользоваться соотношениями:

$$t_{на} \approx 0,7\tau; \quad L \approx t_{на} R / 0,7.$$

6. Обработка результатов экспериментальных исследований:

– провести сравнение результатов экспериментальных исследований с данными предварительного расчета по всем исследованным схемам. Рассчитать абсолютные и относительные погрешности определения основных параметров выходного сигнала (в зависимости от его формы). Сделать выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Укорачивающая  $RC$ -цепь. Определение, назначение, области применения, сфазированные диаграммы работы.

2. Приведите и прокомментируйте условия, при которых цепь является укорачивающей. Какие предельные соотношения должны иметь место, чтобы цепь выполняла функции укорачивающей?

3. Принцип действия укорачивающей  $RC$ -цепи.
4. Расчет переходных процессов, протекающих в укорачивающей  $RC$ -цепи.
5. Укорачивающая  $RL$ -цепь. Отличия от укорачивающей  $RC$ -цепи, принцип действия, сфазированные диаграммы работы.
6. Расчет переходных процессов, протекающих в укорачивающей  $RL$ -цепи.
7. Получите выражение для расчета активной длительности выходных сигналов укорачивающей цепи.
8. Как изменятся диаграммы и параметры сигналов, снимаемых с элементов укорачивающей цепи, если (при прочих равных условиях):
  - постоянную времени цепи уменьшить в 2 раза?
  - амплитуду входных импульсов увеличить (уменьшить) в 1,5 раза?
  - сопротивление резистора цепи увеличить в 2 раза?
  - частоту входных сигналов уменьшить в 1,5 раза?
9. Почему укорачивающую цепь называют еще квазидифференцирующей? Укажите и прокомментируйте общие свойства и отличия укорачивающей цепи от дифференцирующей.
10. Разделительная  $RC$ -цепь. Определение, назначение, области применения, сфазированные диаграммы работы для идеального и реального случаев.
11. Объясните с физической точки зрения, почему  $RC$ -цепь, начинающаяся с конденсатора, может выполнять функции разделительной?
12. Может ли  $RL$ -цепь являться разделительной? Поясните свое утверждение.
13. Приведите, комментируя, условия, при которых цепь является разделительной. Какие предельные соотношения должны иметь место, чтобы цепь выполняла функции разделительной?
14. Докажите математически, что среднее значение напряжения на конденсаторе разделительной цепи равно среднему значению (постоянной составляющей) входного сигнала.
15. Получить выражение для определения среднего значения напряжения входного сигнала в виде последовательности идеальных прямоугольных импульсов.

16. Расчет переходных процессов, протекающих в разделительной  $RC$ -цепи.

17. Получить выражение, описывающее закон изменения какого-либо параметра (по указанию преподавателя) на заданном временном интервале.

18. Показать, комментируя, как изменятся диаграммы переходных процессов в разделительной цепи относительно исходных, если (при прочих равных условиях):

- постоянная времени цепи увеличится (уменьшится) вдвое;
- увеличить в 2 раза длительность входных сигналов;
- изменить амплитуду входного сигнала в 1,5 раза;
- снизить частоту входных сигналов в 1,5 раза.

19. Какие искажения выходного сигнала имеют место при передаче через реальную разделительную  $RC$ -цепь последовательности идеальных прямоугольных импульсов? Чем они обусловлены? Какой параметр определяет эти искажения количественно?

20. Получить точное и приближенное выражения для определения коэффициента спада плоской вершины  $K_{сп}$  прямоугольных сигналов на выходе разделительной  $RC$ -цепи.

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЁМУ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ**

1. Обязательными для выполнения являются пункты 1 ÷ 3, 6 программы, что составляет 70% от максимального количества баллов, выделяемых на данную работу.

2. Выполнение каждого из пунктов 4 ÷ 5 увеличивает процент выполнения работы на 15%.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

#### ***ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ***

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** углубленное освоение студентами теоретических положений темы «Частотно-избирательные цепи на основе колебательных контуров» путем экспериментального исследования частотных характеристик и параметров одиночных последовательного и параллельного колебательных контуров; дальнейшее совершенствование практи-

ческих навыков работы с электроизмерительной аппаратурой, используемой при снятии амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик; усвоение приемов, методов и способов обработки, представления и интерпретации результатов проведенных исследований.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. При подготовке к выполнению лабораторной работы изучить разделы курса, посвященные рассмотрению колебательных контуров. В результате изучения:

– **уметь:**

- а) проводить физический и логический анализы схем одноконтурных колебательных контуров различного типа;
- б) строить векторные и изображать волновые диаграммы для контуров на различных частотах входного гармонического сигнала;

– **знать:**

- а) определение и физическую сущность резонанса;
- б) выражения для расчета всех вторичных параметров колебательных контуров.

2. Рассчитать вторичные параметры последовательного колебательного контура, составленного из элементов:  $R=50$  Ом;  $C=47$  нФ;  $L=0,1$  Гн. Определить:

- а) резонансную частоту  $f_0$ , Гц;
- б) характеристическое сопротивление  $\rho$ , Ом;
- с) граничные частоты  $f_n$  и  $f_v$  и полосу пропускания  $\Delta f_k$ ;
- д) относительную полосу пропускания  $\delta = \Delta f_k / f_0$ ;
- е) добротность  $Q$  и затухание контура  $d$ .

3. Рассчитать параметры параллельного колебательного контура, возбуждаемого от источника напряжения с внутренним сопротивлением  $R_{вн}=470$  кОм, если  $C=47$  нФ,  $L=0,1$  Гн,  $R_L=0,5$  Ом. Определить:

- а) резонансную частоту  $f_0$ , Гц;
- б) характеристическое сопротивление  $\rho$ , Ом;
- с) добротность  $Q$  и затухание контура  $d$ ;
- д) эквивалентные добротность  $Q_э$  и затухание контура  $d_э$ ;
- е) граничные частоты  $f_n$  и  $f_v$  и полосу пропускания  $\Delta f_k$ ;
- ф) относительную полосу пропускания  $\delta = \Delta f_k / f_0$ .

### ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовка к работе электроизмерительного оборудования:

- подготовить к включению осциллограф С1-83, генератор ГЗ-109 и вольтметр В7-22А, установив органы управления приборов в исходное состояние;
- включить аппаратуру для предварительного прогрева.
- проверить и при необходимости провести калибровку осциллографа и цифрового вольтметра;
- подготовить вольтметр для измерения переменного напряжения величиной до 20 В;
- установить на первом выходе генератора ГЗ-109 напряжение  $U_{Г}=1$  В частотой 1 кГц.

## 2. Исследование последовательного колебательного контура

### 2.1. Экспериментальное определение индуктивности дросселя:

- используя модули с реактивными элементами ( $L$ ,  $C_1$  и  $C_2$ ) и с резистором 51 Ом (47 Ом), собрать на монтажной панели последовательный колебательный контур, выходным сигналом которого является напряжение резистора. В качестве контурного использовать конденсатор емкостью  $C = 4,7$  нФ ( $C_1$ );
- подключить ко входу цепи сигнальные кабели:
  - а) I канала осциллографа,
  - б) цифрового вольтметра,
  - в) генератора ГЗ-109;
- наблюдая за показаниями цифрового вольтметра, откорректировать величину выходного напряжения генератора ( $U_{Г}=1$  В);
- подключить к выходу исследуемой цепи сигнальные кабели II канала осциллографа и цифрового вольтметра;
- плавно изменяя частоту генератора и наблюдая за показаниями приборов, определить резонансную частоту колебательного контура;

**Примечание:** в качестве исходной целесообразно использовать частоту  $f = 1$  кГц. Наблюдая на экране осциллографа  $u_{вх}(t)$  и  $u_{вых}(t) = u_R(t)$ , по фазовому сдвигу между ними определяют реакцию цепи на исходной частоте. Если реакция емкостная, т.е.  $u_{вых}(t)$  опережает  $u_{вх}(t)$ , то исходная частота меньше резонансной  $f_0$ , и её необходимо увеличивать. При индуктивной реакции ( $u_{вых}(t)$  отстает от  $u_{вх}(t)$ ) – уменьшать. Меняя частоту генератора и отслеживая показания вольтметра и осциллографа, находят режим резонанса. Очевидно, что при этом  $u_{вх}(t)$  и  $i_{вх} \equiv u_{вых}(t)$  должны быть синфазны, а вольтметр должен показывать максимально возможное значение  $u_{вых}(t)$ ;

- используя найденное значение  $f_0$  и известную величину  $C_1$ , рассчитать величину индуктивности контурного дросселя.

**Примечание:** для расчета индуктивности дросселя воспользоваться формулой:

$$L = 1 / 4\pi^2 f_0^2 C_1 .$$

2.2. Экспериментальное определение емкости конденсатора  $C_2$ :

– изменить исследуемую цепь таким образом, чтобы контурным конденсатором стал второй ( $C_2$ ), имеющийся на модуле, а выходным по-прежнему было напряжение резистора;

– меняя частоту генератора ГЗ-109, определить новое значение резонансной частоты контура  $f_{02}$ ;

– используя найденное значение индуктивности и новое значение резонансной частоты, рассчитать емкость второго конденсатора. Полученный результат сравнить с известным значением ( $C_2=47$  нФ). Сделать выводы.

**Примечание:** для расчета емкости конденсатора использовать формулу:

$$C_2 = 1 / 4\pi^2 f_0^2 L .$$

Расчетное значение  $C_2$  должно отличаться от истинного не более, чем на  $\pm 10\%$ .

2.3. Снятие сфазированных осциллограмм:

– используя оба канала осциллографа, снять, фиксируя все основные параметры сигналов, сфазированные осциллограммы напряжений  $u_{\text{вх}}(t)$ ,  $u_C(t)$ ,  $u_L(t)$ ,  $u_R(t) = u_{\text{вых}}(t)$  на частотах:

а) резонансной  $f_0$ ;

б) в 2 раза превышающей резонансную:  $2f_0$ ;

с) в 2 раза меньше резонансной:  $f_0/2$ .

Сделать выводы.

2.4. Экспериментальное исследование передаточных свойств последовательного колебательного контура в частотной области

2.4.1. Передаточные частотные характеристики для выходного сигнала, снимаемого с резистора:

– меняя частоту генератора в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц (примерно  $15 \div 20$  точек), снять зависимости  $K_{UR}=F(f)$ ,  $\varphi_{KR}=F(f)$ . По построенным характеристикам определить:

а) резонансную и граничные частоты;

б) полосы пропускания и подавления;

с) добротность контура;

д) суммарное сопротивление потерь  $R_{\Sigma}$ .

### Примечание:

1. АЧХ и ФЧХ снимаются по той же методике, что и при исследовании пассивных  $RC$ -цепей;

2. для повышения достоверности результатов на частотах, сильно отличающихся от резонансной, входное напряжение контура целесообразно увеличить до 10 В. **В этом случае для определения  $K_u$  показания вольтметра необходимо уменьшать в 10 раз!**

3. при расчете  $R_\Sigma$  учесть, что его составляющими являются:

- а) сопротивления потерь в реальных компонентах цепи;
- б) внутреннее сопротивление генератора сигнала;
- в) активные сопротивления соединительных проводников и контактов;
- г) сопротивление внешнего резистора  $R_{вн}$ , включаемого в цепь.

Зная  $R_{вн}$  и рассчитав экспериментальное значение  $R_\Sigma$ , можно определить вклад всех остальных составляющих суммарных потерь контура.

– используя найденное значение  $L$  и известные значения  $C$  и  $R$ , рассчитать теоретические значения вторичных параметров исследуемого контура. Сравнить их с экспериментальными, рассчитать погрешности, сделать выводы.

2.4.2. Передаточные частотные характеристики для выходного сигнала, снимаемого с катушки индуктивности:

– преобразовать колебательный контур таким образом, чтобы выходным элементом стала катушка индуктивности. Использовать элементы:  $L$ ;  $C = C_2 = 47$  нФ;  $R = 51$  (47) Ом. Повторить пункт 2.4.1, фиксируя  $K_{UL} = F(f)$ ;  $\varphi_{KL} = F(f)$ . По построенным характеристикам определить:

- а) резонансную и граничные частоты;
- б) полосы пропускания и подавления;
- в) добротность контура;
- г) суммарное сопротивление потерь  $R_\Sigma$ .

2.4.3. Передаточные частотные характеристики для выходного сигнала, снимаемого с конденсатора:

– собрать на монтажной панели последовательный колебательный контур для случая, когда выходным сигналом является напряжение конденсатора. Использовать элементы:  $L$ ;  $C = C_2 = 47$  нФ;  $R = 51$  (47) Ом. Повторить пункт 2.4.2, фиксируя в качестве измеряемых параметров  $K_{UC} = F(f)$ ;  $\varphi_{KC} = F(f)$ .

2.4.4. Исследование влияния сопротивления внешнего резистора на частотно-избирательные свойства последовательного колебательного контура:

– повторить пункт 2.4.3., сменив сопротивление внешнего резистора: использовать  $R=200$  Ом. Сравнить результаты эксперимента с результатами, полученными в предыдущем пункте. Сделать выводы.

### 3. Исследование параллельного колебательного контура

3.1. Экспериментальное исследование передаточных свойств параллельного колебательного контура, возбуждаемого от источника тока, в частотной области:

– собрать на монтажной панели параллельный колебательный контур, используя элементы:  $R = 0,51$  МОм (470 кОм);  $C = C_2 = 47$  нФ;  $L$ .

– установить на первом выходе генератора напряжение  $U_{\Gamma}=10$  В;  
– меняя частоту генератора в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц, снять АЧХ и ФЧХ исследуемой цепи, рассматривая в качестве выходного сигнала напряжение на контуре:  $K_U(f) = U_{\kappa}(f)/U_{\Gamma}$ ;  $\varphi_{KU} = \psi_{U_{\kappa}} - \psi_{U_{\Gamma}}$ , где  $U_{\Gamma}$ ,  $\psi_{U_{\Gamma}}$  – параметры напряжения генератора,  $U_{\kappa}(f)$ ,  $\psi_{U_{\kappa}}$  – параметры контурного напряжения. По построенным характеристикам определить:

- e) резонансную и граничные частоты;
- f) полосы пропускания и подавления;
- g) добротность контура;
- h) суммарное сопротивление потерь  $R_L + R_C$ .

3.2. Исследование влияния сопротивления внешнего резистора (внутреннего сопротивления источника сигнала) на частотно-избирательные свойства параллельного колебательного контура:

– повторить пункт 3.1., изменив сопротивление внешнего резистора: использовать  $R=100$  кОм (51 кОм). Сравнить результаты, полученные в экспериментах по п. 3.1.-3.2. Сделать выводы.

### 4. Обработка результатов экспериментальных исследований:

– провести сравнение результатов экспериментальных исследований с данными расчета по всем исследованным схемам. Рассчитать абсолютные и относительные погрешности определения вторичных параметров колебательных контуров. Сделать выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Что такое «резонанс»? В каких электрических цепях может возникать это явление? Где и как оно используется на практике?

2. Последовательный колебательный контур: определение, характеристика компонентов, первичные и вторичные параметры (физический смысл, расчетные формулы), области применения.

3. Почему резонанс в последовательном колебательном контуре называют «резонанс напряжений»?

4. Физический анализ последовательного колебательного контура для случая, когда выходной сигнал снимается (по указанию преподавателя):

- с внешнего резистора;
- с конденсатора;
- с катушки индуктивности.

5. Поясните, как изменятся частотные характеристики последовательного колебательного контура, если при прочих равных условиях

- добротность цепи уменьшится в два раза;
- добротность контура увеличится в 3 раза.

6. Объясните, почему полученные экспериментально передаточные характеристики последовательного колебательного контура, построенного из реальных компонентов с известными параметрами, существенно отличаются от расчетных?

7. Изобразите сфазированные волновые диаграммы входного напряжения, тока и напряжений на элементах последовательного колебательного контура, если частота входного воздействия (по указанию преподавателя):

- соответствует резонансной;
- вдвое больше резонансного значения;
- в 5 раз меньше резонансной.

8. Приведите выражения, описывающие законы изменения тока и напряжений на элементах последовательного колебательного контура

- в общем случае;
- на частоте резонанса.

9. Дайте, с комментариями, три определения параметра «добротность колебательного контура».

10. Постройте векторные диаграммы для последовательного колебательного контура, если (по указанию преподавателя) добротность цепи равна  $Q=3$  (2; 1,5), выходное напряжение снимается с катушки индуктивности (конденсатора), а рабочая частота входного воздействия:

- равна резонансной;
- вдвое меньше резонансного значения;

- в 1,5 раза больше резонансной.

11.Получите выражения для определения параметров последовательного колебательного контура (по указанию преподавателя):

- резонансной частоты;
- граничных частот;
- характеристического сопротивления;
- добротности с энергетической точки зрения.

12.Виды расстроек, используемые при анализе колебательных контуров.

13.Входные частотные характеристики последовательного колебательного контура. Математический анализ.

14.Амплитудно-частотная характеристика тока последовательного колебательного контура. «Норма» контурного тока.

15.Передачные частотные характеристики последовательного колебательного контура. Математический анализ для случая, когда выходной сигнал снимается (по указанию преподавателя)

- с резистора;
- с конденсатора;
- с катушки индуктивности.

16.Рассчитайте вторичные параметры последовательного колебательного контура, если известно:  $R=47$  Ом;  $L=0,1$  Гн;  $C=47$  нФ.

17.Определите максимальную энергию, циркулирующую в последовательном колебательном контуре на резонансе, если входное напряжение цепи  $U_{вх}=1$  В, а параметры элементов соответствуют указанным в п.16.

18.Как изменятся частотно-избирательные свойства последовательного колебательного контура, если внешний резистор с номиналом  $R_1=47$  Ом заменить на резистор  $R_2=100$  Ом?

19.Рассчитайте максимальное значение коэффициента передачи последовательного колебательного контура, составленного из элементов с параметрами, соответствующими указанным в п.16, если выходной сигнал снимается с конденсатора (индуктивности).

20.Параллельный колебательный контур. Определение, принципиальная схема, параметры, области применения.

21.Получите выражение для резонансной частоты параллельного колебательного контура.

22.Отличие резонанса в параллельном колебательном контуре от резонанса в последовательном КК.

23.Входные частотные характеристики параллельного колебательного контура.

24.Сравнение последовательного и параллельного колебательных контуров по входным частотным характеристикам.

25.Амплитудно-частотная характеристика нормированного контурного напряжения параллельного колебательного контура, возбуждаемого от идеального источника тока.

26.Эквивалентная добротность параллельного колебательного контура, возбуждаемого от реального источника напряжения с конечным внутренним сопротивлением.

27.Частотно-избирательные свойства параллельного колебательного контура. Сравнение последовательного и параллельного колебательных контуров как частотно-избирательных цепей.

28.Рассчитайте вторичные параметры параллельного колебательного контура, если известно:  $L = 0,1$  Гн;  $R_L = 0,5$  Ом;  $C = 47$  нФ,  $R_C = 0,1$  Ом. Контур возбуждается от генератора с внутренним сопротивлением 25 Ом через внешний резистор  $R_{\text{внеш}} = 470$  кОм.

29.Физический анализ идеального параллельного колебательного контура, возбуждаемого от генератора синусоидального сигнала через резистор.

30.Определить максимальный коэффициент передачи по напряжению цепи, описанной в п.28.

### **ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБЪЁМУ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РАБОТЫ**

1. Обязательными для выполнения являются пункты 1, 2.1. ÷ 2.2, 2.3.а), 2.4.1., 3.1. и 4 программы, что составляет 70% от максимального количества баллов, выделяемых на данную работу.

2. Выполнение каждого из подпунктов 2.3.б), 2.3.в), 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4., 3.2 увеличивает итоговый процент выполнения работы на 5%.

Учебное издание

ЯРОСЛАВЦЕВ Евгений Витальевич

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИБОРОВ,  
используемых при выполнении лабораторных работ  
на кафедре промышленной и медицинской электроники**

**ПРОГРАММЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
по дисциплинам «Теория электрических цепей»,  
«Электроника» для студентов направлений 210100 «Электроника  
и нанoeлектроника», 201000 «Биотехнические системы  
и технологии»**

Учебное пособие

Научный редактор *доктор технических наук,  
профессор Г.С. Евтушенко*

Редактор *Н.Я. Горбунова*  
Компьютерная верстка *Е.В. Ярославцев*  
Дизайн обложки *Д.Н. Огородников*

Подписано к печати 17.12.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 7,56. Уч.-изд.л. 6,83  
Заказ . Тираж 100 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



