

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

**В. В. Курганов, Д. И. Зализный**

# **ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-43 01 07 «Техническая  
эксплуатация энергооборудования организаций»**

Гомель 2009

УДК 621.396.6(075.8)  
ББК 32.859+32.965я73  
К93

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 10.12.2007 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
*О. Г. Широков*

**Курганов, В. В.**  
К93

Промышленная электроника и информационно-измерительная техника : лаборатор. практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» / В. В. Курганов, Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 72 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит девять лабораторных работ. Каждая работа включает краткие технические сведения, описание лабораторной установки, требования по технике безопасности.

Для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций».

УДК 621.396.6(075.8)  
ББК 32.859+32.965я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2009

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 (2 часа)

### Тема: Исследование полупроводниковых диодов, тиристоров и транзисторов

**Цель работы:** Изучить принципы работы диодов, стабилитронов тиристоров и транзисторов на основе их вольтамперных характеристик.

#### Краткие теоретические сведения

**Электронно-дырочный переход ( $p$ - $n$  переход)** – это область на границе двух полупроводников с противоположным типом электропроводности. Основными электрическими зарядами в полупроводнике типа  $n$  являются электроны, а в полупроводнике типа  $p$  – дырки.

**Диод** – это полупроводниковый элемент электронной техники, выполненный на основе одного  $p$ - $n$  перехода и обладающий вентиляционными свойствами, то есть способностью проводить электрический ток только в одном направлении. Диод имеет два электрода – анод и катод.

**Стабилитрон** – это полупроводниковый диод, функционирующий в условиях электрического пробоя обратносмещенного  $p$ - $n$  перехода и обладающий способностью стабилизировать постоянное напряжение. Условные обозначения и вольтамперные характеристики диода и стабилитрона показаны на рис. 1.1 ( $a$  – диод;  $b$  – стабилитрон).

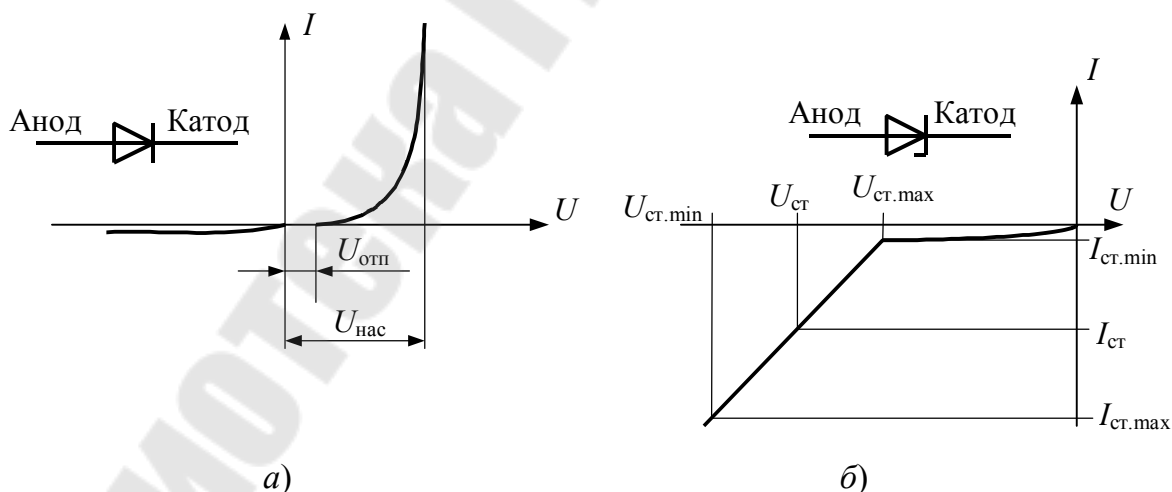


Рис. 1.1

**Тиристор** – это элемент, состоящий из трех  $p$ - $n$  переходов и выполняющий функцию управляемого диода или электронного (бесконтактного) ключа. Тиристор имеет три электрода: анод, катод и управ-

ляющий электрод. Условное обозначение и семейство вольтамперных характеристик тиристора показаны на рис. 1.2.

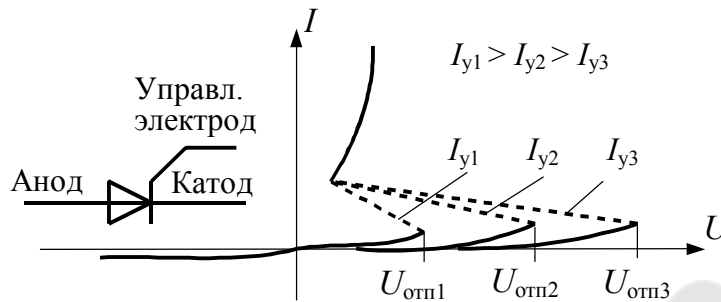


Рис. 1.2

**Биполярный транзистор** – это элемент, выполненный на основе двух  $p-n$  переходов и способный усиливать электрический ток или выполнять функцию электронного (бесконтактного) ключа. Биполярный транзистор имеет три электрода: базу, коллектор и эмиттер. Условное обозначение и семейство вольтамперных (ВАХ) характеристик биполярного транзистора показаны на рис. 1.3 ( $\delta$  – выходные ВАХ;  $\epsilon$  – входная ВАХ).

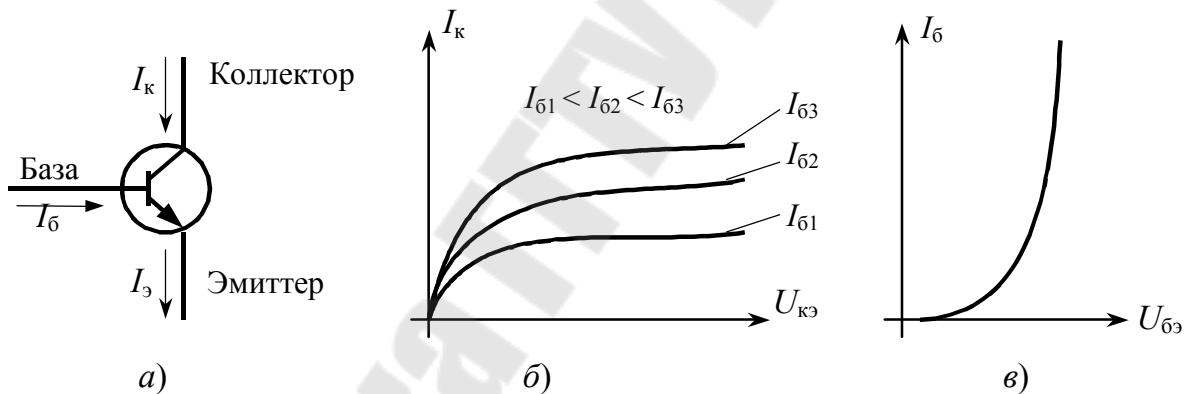


Рис. 1.3

### Описание лабораторной установки

На плате лабораторного стенда размещены исследуемые полупроводниковые элементы: точечный кремниевый диод  $VD_1$ , точечный германиевый диод  $VD_2$ , кремниевый выпрямительный диод  $VD_3$ , стабилитрон  $VD_4$ , тиристор  $VS$  и биполярный транзистор  $VT_1$ . На вертикальной панели стенда установлены микроамперметры  $PA_1$  и  $PA_2$ . С помощью переключателей  $SB_1$  и  $SB_2$  изменяются полярности подключения источников питания  $U_{\text{п}}$  к потенциометрам  $R_1$  и  $R_2$ , регуляторы которых выведены на плату под шлиц отвертки. Питание стенда

осуществляется от сети 220 В и включается тумблером «Сеть» с сигнальным светодиодом.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя полупроводниковых элементов перед включением тумблера «Сеть» необходимо регуляторы потенциометров  $R_1$  и  $R_4$  установить в крайнее левое положение

Для выполнения работы помимо лабораторного стенда необходим также цифровой вольтметр.

### Порядок выполнения работы:

1. Исследование вольтамперных характеристик (ВАХ) диодов.

1.1. Установите регуляторы потенциометров  $R_1$  и  $R_4$  в крайнее левое положение. Переключатели  $SB_1$  и  $SB_2$  установите в положение «+».

1.2. С помощью гибкой перемычки соберите схему для исследования начального участка ВАХ диода  $VD_1$ , показанную на рис. 1.4. Для этого соедините на стенде точки 3 и 6. Цифровой вольтметр подключите между точками 3 и 0.

1.3. Включите питание стенда и цифрового вольтметра.

1.4. Увеличивая напряжение потенциометром  $R_1$ , снимите показания микроамперметра и вольтметра. Результаты измерений занесите в табл. 1.1.

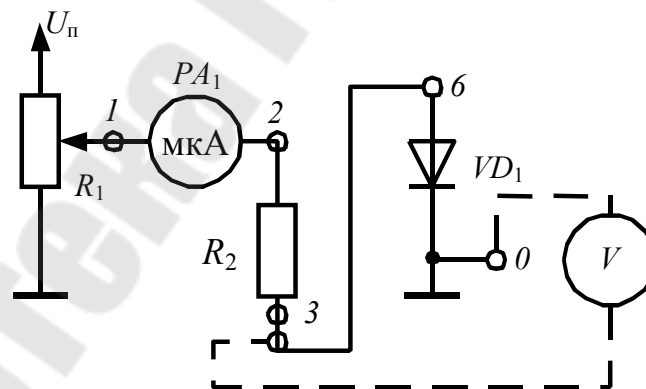


Рис.1.4

Таблица 1.1

$I_{пр}, \text{мА}$							
$U_{пр}, \text{В}$							

1.5. Установите потенциометр  $R_1$  в крайнее левое положение и отключите стенд. Разберите схему.

1.6. С помощью гибкой перемычки соберите схему для исследования насыщенного участка ВАХ диода  $VD_1$ , показанную на рис. 1.5. Для этого соедините на стенде точки 11-6. Цифровой вольтметр подключите между точками 11 и 0.

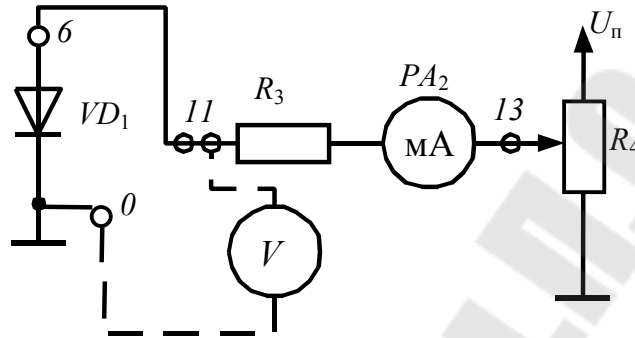


Рис. 1.5

1.7. Включите питание стенда. Увеличивая напряжение потенциометром  $R_4$ , снимите показания миллиамперметра и вольтметра. Результаты измерений занесите в таблицу, аналогичную табл. 1.1.

1.8. Установите переключатель  $SB_2$  в положение «-». Убедитесь, что диод не проводит ток в обратном направлении. Установите переключатель  $SB_2$  в положение «+».

1.9. Установите потенциометр  $R_4$  в крайнее левое положение и отключите стенд. Разберите схему.

1.10. Используя две таблицы, полученные в результате измерений, постройте характеристику  $I_{пр}(U_{пр})$ . Определите графически напряжение отпираания диода  $U_{отп}$  и напряжение насыщения диода  $U_{нас}$  (см. рис. 1.1).

1.11. Повторите пункты 1.2-1.10 для диода  $VD_2$ , подключенного между точками 7 и 0.

1.12. Повторите пункты 1.2-1.10 для диода  $VD_3$ , подключенного между точками 8 и 0.

## 2. Исследование ВАХ стабилитрона

2.1. С помощью гибкой перемычки соберите схему для исследования обратной ветви ВАХ стабилитрона  $VD_4$ , показанную на рис. 1.6. Для этого соедините на стенде точки 11 и 9. Переключатель

$SB_2$  должен быть в положении «+». Цифровой вольтметр подключите между точками 11 и 0.

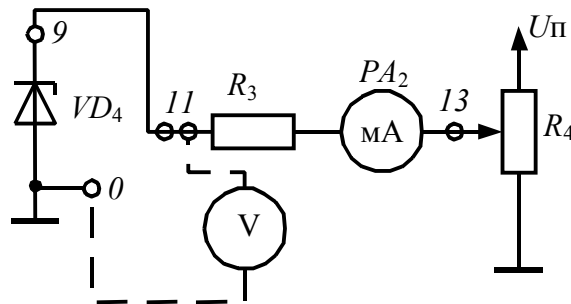


Рис. 1.6

2.2. Включите стенд. Увеличивая напряжение, снимите показания миллиамперметра и вольтметра, начиная с момента отпирания (пробоя) стабилитрона (когда начнет возрастать ток). Результаты измерений занесите в таблицу, аналогичную табл. 1.1, записывая значения обратного тока  $I_{обр}$  и обратного напряжения  $U_{обр}$  со знаком «-».

2.3. Установите потенциометр  $R_4$  в крайнее левое положение.

2.4. Установите переключатель  $SB_2$  в положение «-» и снимите прямую ветвь ВАХ стабилитрона.

2.5. Отключите стенд. Разберите схему.

2.6. Постройте на одном графике прямую и обратную ветви ВАХ стабилитрона. На обратной ветви определите графически значение напряжения стабилизации  $U_{ст}$ , а также дифференциальное сопротивление стабилитрона:

$$r_{ст} = \frac{U_{ст.max} - U_{ст.min}}{I_{ст.max} - I_{ст.min}} \text{ (см. рис. 1.1).}$$

### 3. Исследование работы тиристора

3.1. С помощью гибких перемычек соберите схему для исследования тиристора  $VS$ , показанную на рис. 1.7. Для этого соедините на стенде точки 3 и 4 и 5 и 11. Переключатели  $SB_1$  и  $SB_2$  должны быть в положении «+». Цифровой вольтметр подключите между точками 11 и 0.

3.2. Установите потенциометр  $R_1$  в крайнее левое положение, а потенциометр  $R_2$  – в крайнее правое. Включите стенд и плавно увеличивайте ток управления тиристора с помощью  $R_1$  до момента отпирания тиристора (когда ток анода возрастет скачком). В момент отпи-

рания тиристора зафиксируйте значения тока управления  $I_{упр}$ , тока анода  $I_a$  и напряжения анод-катод  $U_{пр}$ .

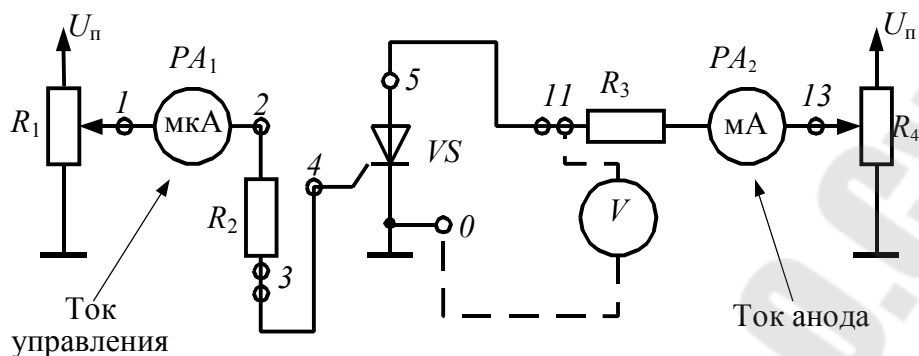


Рис. 1.7

3.3. Уменьшите ток управления до нуля и убедитесь, что тиристор остается в открытом состоянии. Медленно уменьшая ток анода  $I_a$  с помощью потенциометра  $R_4$ , определите минимальный анодный ток удержания  $I_{уд}$  тиристора в тот момент, когда ток анода  $I_a$  упадет скачком до нулевого значения.

3.4. Отключите стенд. Разберите схему.

4. Исследование работы биполярного транзистора.

4.1. С помощью гибких перемычек соберите схему для исследования семейства выходных ВАХ биполярного транзистора  $VT_1$ , показанную на рис. 1.8. Для этого соедините на стенде точки 3 и 14, 15 и 11. Переключатели  $SB_1$  и  $SB_2$  должны быть в положении «+». Цифровой вольтметр подключите между точками 11 и 0.

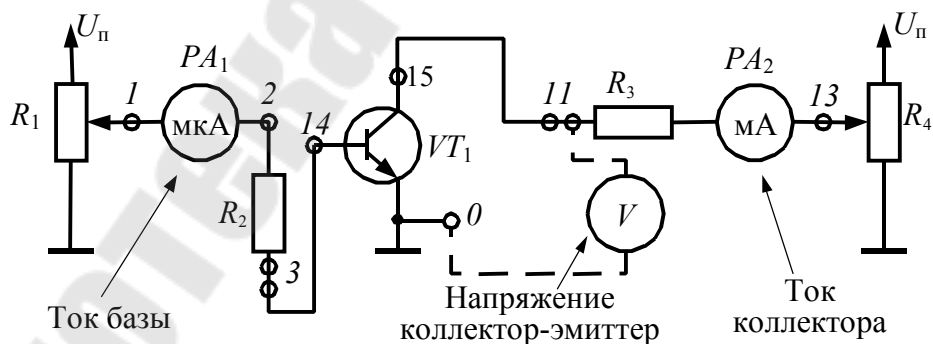


Рис. 1.8

4.2. Включите стенд и с помощью потенциометра  $R_1$  установите фиксированный ток базы  $I_{б1}$  транзистора. Затем, изменяя напряжение коллектор-эмиттер  $U_{кэ}$  транзистора с помощью потенциометра  $R_4$ ,



запишите значения тока коллектора  $I_k$  транзистора. Результаты измерений занесите в табл. 1.2.

4.3. Установите новый ток базы  $I_{б2}$  транзистора и повторите измерения, записывая результаты в табл. 1.2. Повторите измерения еще при трех значениях тока базы транзистора.

4.4. Установите потенциометры в крайнее левое положение и отключите стенд.

Таблица 1.2

$U_{кэ}, В$								
$I_k,$ мА при	$I_{б1} =$							
	$I_{б2} =$							
	$I_{б3} =$							
	$I_{б4} =$							
	$I_{б5} =$							

4.5. Постройте семейство выходных ВАХ транзистора  $I_k(U_{кэ})$  на одном графике. Для среднего значения напряжения  $U_{кэ}$  рассчитайте для каждой кривой семейства ВАХ коэффициент передачи тока коллектора (коэффициент усиления) транзистора по формуле:  $\beta = \frac{I_k}{I_b}$ . Рассчитайте среднее значение этого коэффициента.

4.6. Соберите схему для исследования входной ВАХ транзистора. Для этого оставьте на стенде только переключку между точками 3 и 14. Подключите вольтметр между точками 3 и 0, то есть для измерения напряжения база-эмиттер  $U_{бэ}$  транзистора.

4.7. Включите стенд и снимите входную ВАХ транзистора. Результаты измерений занесите в табл. 1.3.

Таблица 1.3

$U_{бэ}, В$							
$I_b, мкА$							

4.8. Установите потенциометр  $R_1$  в крайнее левое положение и отключите стенд.

4.9. Постройте входную ВАХ транзистора  $U_{бэ}(I_b)$ .

4.10. Отключите стенд и питание цифрового вольтметра.

## Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, принципиальные схемы измерений, таблицы измерений, графики ВАХ, результаты расчетов, краткие выводы по каждому опыту.

## Контрольные вопросы

1. Полупроводниковые материалы: классификация, типы электропроводности, физические свойства, области применения в электронике.

2. Физика процессов в  $p-n$  переходе при отсутствии и наличии внешнего электрического поля. Области применения  $p-n$  перехода в электронике.

3. Физические основы функционирования, ВАХ, основные параметры, схемы включения, назначение и области применения следующих полупроводниковых элементов: диодов, стабилитронов, тиристоров и биполярных транзисторов.

Литература: [1], [2], [3], [4], [5].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 (4 часа)

### Тема: Исследование неуправляемых выпрямителей, сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения

**Цель работы:** Изучить принципы работы однофазных и трехфазных неуправляемых выпрямителей, сглаживающих фильтров, параметрических и компенсационных стабилизаторов напряжения.

#### Краткие теоретические сведения

**Однофазный выпрямитель** – схема на основе одного и более диодов, предназначенная для преобразования двухполярного (переменного) напряжения в однополярное (выпрямленное) напряжение. Однофазные выпрямители бывают однополупериодные и двухполупериодные.

**Трехфазный выпрямитель** – схема на основе трех и более диодов, предназначенная для преобразования трехфазного (переменного) напряжения в однополярное (выпрямленное) напряжение. Трехфазные выпрямители бывают с нулевым проводом и мостовые (без нулевого провода).

Основными параметрами выпрямителей являются: среднее значение выпрямленного напряжения  $U_d$ ; максимальное обратное напряжение на закрытом диоде  $U_{обр.макс}$  и коэффициент пульсаций  $p = 2/(m^2 - 1)$ , где  $m$  – число пульсаций за один период переменного тока частотой 50 Гц.

Схемы, диаграммы работы, а также основные параметры однофазных выпрямителей приведены на рис. 2.1 (*a* – однополупериодный выпрямитель; *b* – двухполупериодный выпрямитель) и трехфазных выпрямителей на рис. 2.2 (*a* – с нулевым выводом; *b* – мостовой).

**Сглаживающий фильтр** – схема на основе емкости, индуктивности или их сочетания, предназначенная для преобразования пульсирующего выпрямленного напряжения в постоянное напряжение. Качество фильтра оценивается коэффициентом сглаживания, который показывает, во сколько раз размах пульсации напряжения на выходе

фильтра меньше, чем на его входе:  $q = \frac{P_{вх}}{P_{вых}}$ , где  $p_{вых} = \frac{\Delta U_{\phi}}{U_{\phi}}$ ;  $\Delta U_{\phi}$  – размах пульсаций на выходе фильтра;  $U_{\phi}$  – среднее значение напряжения на выходе фильтра.

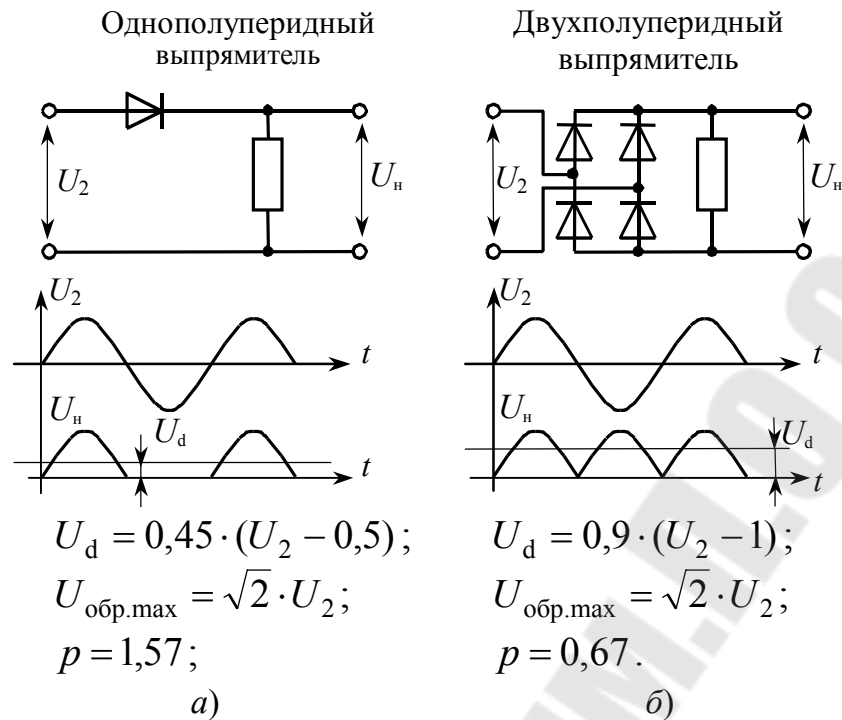


Рис. 2.1

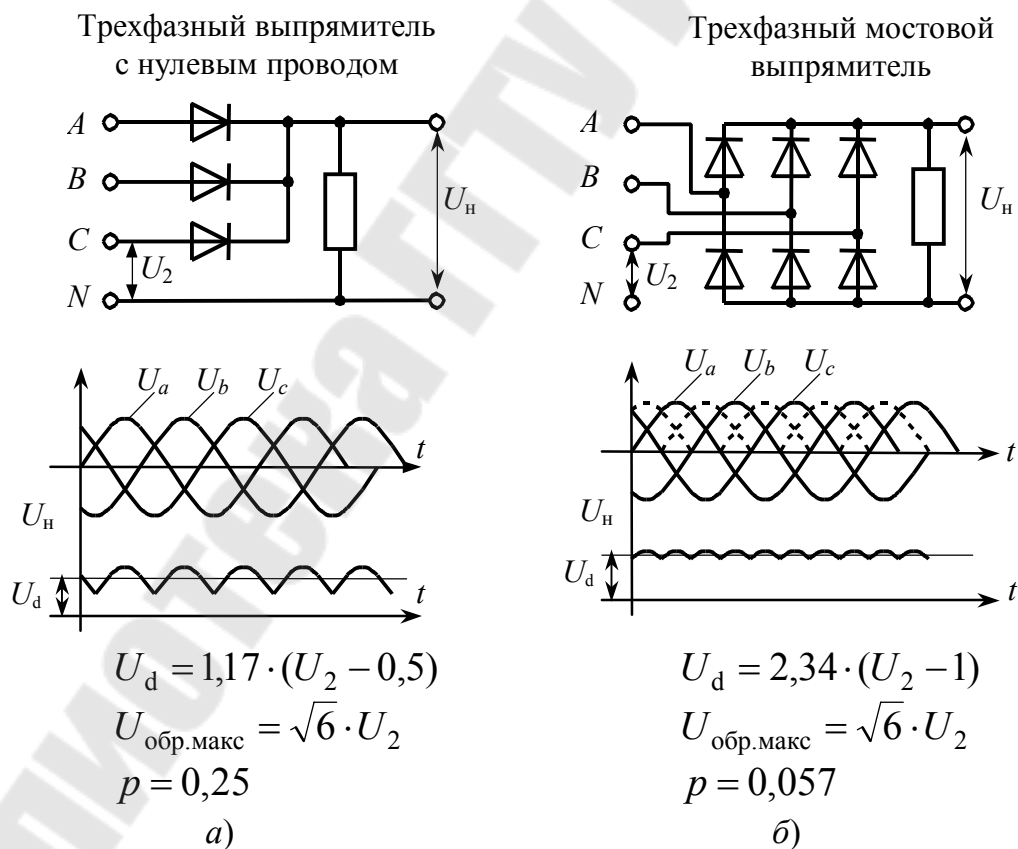


Рис. 2.2

Схемы, диаграммы работы и параметры основных типов фильтров приведены на рис. 2.3.

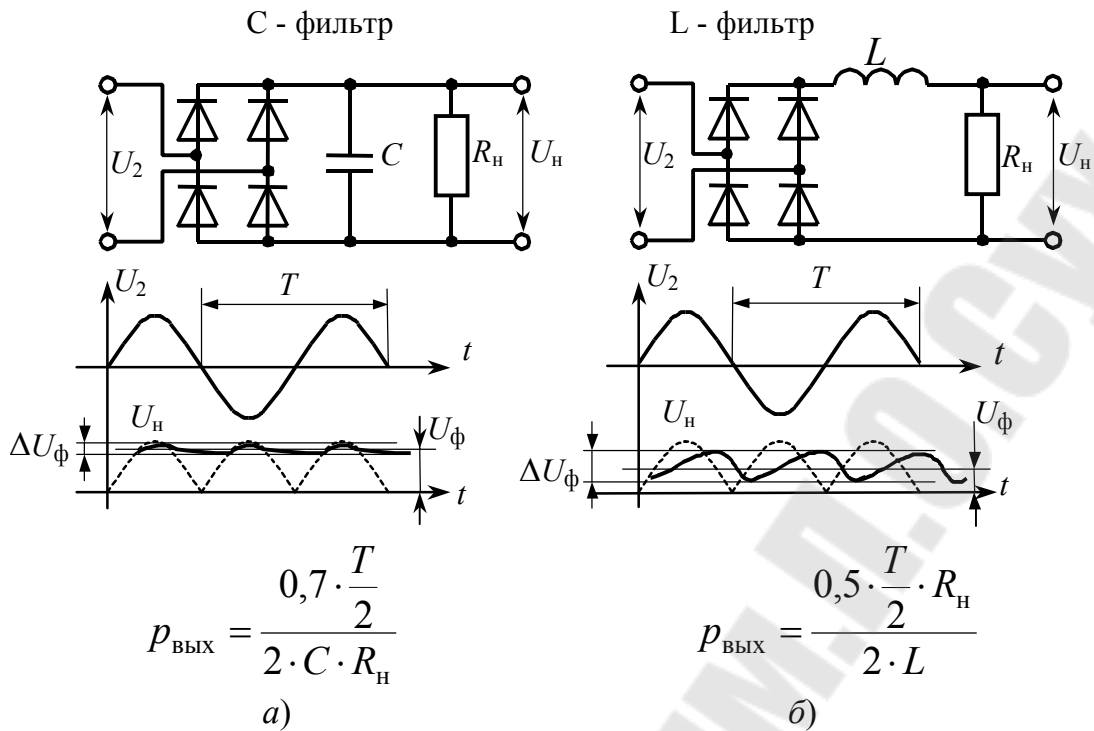


Рис. 2.3

**Электронный стабилизатор напряжения** – схема на основе стабилитрона и других электронных компонентов, предназначенная для преобразования пульсирующего постоянного напряжения в стабилизированное напряжение. Одним из основных параметров стабилизатора является коэффициент нестability по току – отношение изменения выходного напряжения  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  к вызвавшему его относительному изменению току нагрузки:

$$K_{\text{НС}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{H}} \cdot 100 / (U_{\text{ВЫХ}} \cdot \Delta I_{\text{ВЫХ}}), \%$$

Стабилизаторы напряжения бывают параметрическим и компенсационным. Схемы простейших из них приведены на рис. 2.4 (а – параметрический стабилизатор; б – компенсационный стабилизатор).

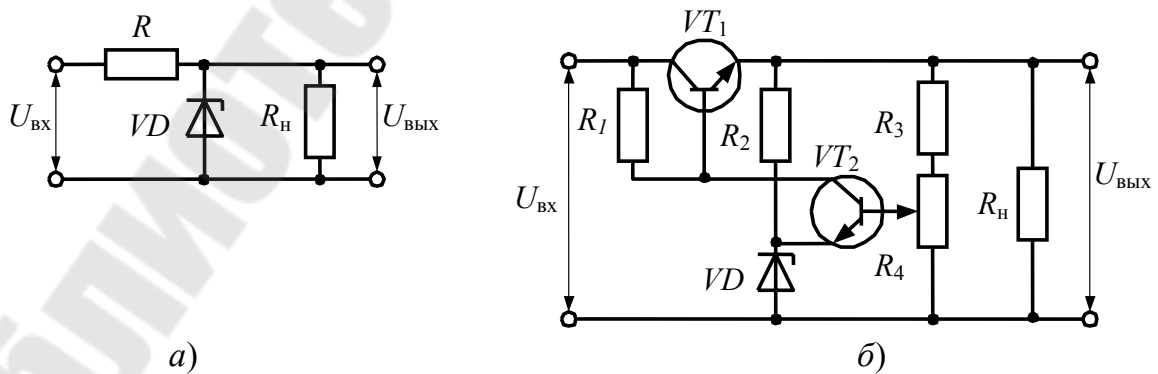


Рис. 2.4

Последовательное соединение выпрямителя, сглаживающего фильтра и стабилизатора напряжения, называется **выпрямительным** устройством.

### Описание лабораторной установки

На плате лабораторного стенда размещены необходимые электронные компоненты для исследования требуемых схем. Питание стенда осуществляется от специального разъема. При подключении разъема питание сразу подается на стенд.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы, напряжение питания стенда необходимо обязательно отключать, то есть отсоединять питающий разъем (удерживая его за пластмассовый корпус).

На лицевую панель платы вынесены контрольные точки (штырьки), которые можно соединить с помощью гибких перемычек. В зависимости от комбинации контрольных точек получают различные функциональные устройства, приведенные в табл. 2.1.

Для проведения работы необходимы двухканальный осциллограф, универсальный цифровой вольтметр и миллиамперметр.

### Порядок выполнения работы

Номера соединения контрольных точек, а также точки подключения измерительных приборов в соответствии с заданным вариантом сведены в табл. 2.1.

В таблице 2.1 использованы следующие обозначения: ЭО – электронный осциллограф;  $\sim PV$  – вольтметр для измерения действующего значения переменного напряжения;  $=PV$  – вольтметр для измерения постоянной составляющей напряжения (среднее значение);  $=PI$  – миллиамперметр для измерения постоянного тока. Для каждого выпрямителя, сглаживающего фильтра или стабилизатора напряжения проводятся однотипные опыты.

Таблица 2.1

№ п.	Наименование схемы	№ вар.	Номера соединения контрольных точек	Подкл. измерит. приборов	Рис.
1.	Однофазный однополупериодный выпрямитель	1	2 и 5; 8 и 28; 1 и 29	ЭО: 28 и 29; ~PV: 1 и 2; =PV: 28 и 29	2.1, а
		2	3 и 5; 8 и 28; 2 и 29	ЭО: 28 и 29; ~PV: 2 и 3; =PV: 28 и 29	
2.	Однофазный двухполупериодный выпрямитель	1	2 и 12; 1 и 13; 10 и 28; 14 и 29	- // -	2.1, б
		2	2 и 12; 3 и 13; 10 и 28; 14 и 29	- // -	
3.	Трехфазный выпрямитель с нулевым проводом	нет	2 и 5; 3 и 6; 4 и 7; 8 и 28; 1 и 29	ЭО: 28 и 29; ~PV: 1 и 2; =PV: 28 и 29	2.2, а
4.	Трехфазный мостовой выпрямитель	нет	9 и 10; 2 и 11; 3 и 12; 4 и 13; 10 и 28; 14 и 29	- // -	2.2, б
5.	С - фильтр	1	2 и 12; 1 и 13; 10 и 16; 19 и 16; 14 и 21; 21 и 29	ЭО: 28 и 29; =PV: 28 и 29; =PI: 16 и 28	2.3, а
		2	2 и 12; 3 и 13; 10 и 16; 18 и 16; 14 и 21; 21 и 29	- // -	
6.	L - фильтр	1	2 и 12; 1 и 13; 10 и 30; 14 и 29	ЭО: 28 и 29; =PV: 28 и 29; =PI: 31 и 28.	2.3, б
		2	2 и 12; 3 и 13; 10 и 30; 14 и 29	- // -	
7.	Параметрический стабилизатор напряжения	нет	2 и 12; 1 и 13; 10 и 16; 18 и 16; 14 и 21; 16 и 25; 21 и 27; 27 и 29	ЭО: 28 и 29; =PV: 28 и 29; =PI: 26 и 28	2.4, а
8.	Компенсационный стабилизатор напряжения	нет	2 и 12; 1 и 13; 10 и 16; 18 и 16; 14 и 21; 16 и 32; 21 и 34; 34 и 29	ЭО: 28 и 29; =PV: 28 и 29; =PI: 33 и 28	2.4, б

### 1. Исследование неуправляемых выпрямителей (табл. 2.1, п. 1, 2, 3, 4)

1.1. В соответствии с заданным вариантом измерить вольтметром переменного тока (~PV) напряжение  $U_2$  и вольтметром постоянного тока (=PV) среднее выпрямленное напряжение  $U_d$ . При этом на-

грузочное сопротивление  $R_5$  необходимо установить в среднее положение.

1.2. Зарисовать с экрана электронного осциллографа (ЭО) осциллограмму напряжения на нагрузке  $U_H$ . Определить по осциллограмме выпрямленного напряжения число пульсаций  $m$  за период входного сигнала и рассчитать коэффициент пульсаций  $p$ .

1.3. Зарисовать осциллограмму напряжения между анодом и катодом одного из задействованных в выпрямителе диодов, подключив сигнальный щуп осциллографа к аноду, а земляной – к катоду этого диода. Определить по осциллограмме максимальное обратное напряжение на диоде  $U_{\text{обр.макс}}$ .

1.4. Сравнить полученные значения величин  $U_d$ ,  $U_{\text{обр.макс}}$  и  $p$  с их расчетными значениями (см. рис. 2.1 – 2.2).

## 2. Исследование сглаживающих фильтров

(табл. 2.1, п. 5, 6)

2.1. При сборке схемы обратить внимание на наличие миллиамперметра (PI), который замыкает цепь нагрузки. Миллиамперметр должен быть постоянно подключен к схеме.

2.2. Для среднего положения нагрузочного сопротивления  $R_5$  с помощью осциллографа определить размах пульсаций на выходе фильтра  $\Delta U_\phi$ , а с помощью вольтметра постоянного тока – среднее значение напряжения на выходе фильтра  $U_\phi$ . Рассчитать коэффициент сглаживания  $q$  и сравнить его с расчетным (см. рис. 2.1, б и рис. 2.3). При этом  $R_H = \frac{U_H}{I_H}$ .

2.3. Изменяя в широких пределах сопротивление  $R_5$ , снять зависимости  $\Delta U_\phi(I_H)$  и  $U_\phi(I_H)$  (не менее восьми точек). Результаты занести в таблицу и построить соответствующие графики.

2.4. Используя два канала осциллографа, зарисовать осциллограмму напряжений на входе и выходе фильтра (для С – фильтра на вход включить диод VD<sub>1</sub>: т. 10 перенести в т. 5, а т. 8 дополнительным проводом подключить к т. 16).

## 3. Исследование стабилизаторов напряжения

(табл. 2.1, п. 7, 8)

3.1. Для крайних положений нагрузочного сопротивления  $R_5$  (повернуть регулировочный винт влево до упора, затем вправо до



упора), измеряя значения тока нагрузки с помощью осциллографа определить максимальное отклонение выходного напряжения  $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  стабилизатора, а с помощью вольтметра постоянного тока измерить среднее значение выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ . Рассчитать коэффициент неустойчивости  $K_{\text{НС}}$ .

3.2. Изменяя в широких пределах сопротивление  $R_5$ , снять зависимость  $U_{\text{ВЫХ}}(I_{\text{Н}})$  (не менее восьми точек). Результаты занести в таблицу и построить соответствующую выходную характеристику.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, принципиальные схемы измерений, таблицы измерений, осциллограммы, результаты расчетов, краткие выводы по каждому опыту с объяснением полученных осциллограмм.

### **Контрольные вопросы**

1. Однофазные выпрямители: схемы, принципы работы, основные параметры.
2. Трехфазные выпрямители: схемы, принципы работы, основные параметры.
3. С – фильтр и L – фильтр: схемы, принципы работы, основные параметры.
4. Параметрический и компенсационный стабилизаторы напряжения: схемы, принципы работы, основные параметры.

Литература: [1], [3], [4], [5].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 (4 часа)

### Тема: Исследование функциональных элементов на операционном усилителе

**Цель работы:** Изучить принципы работы функциональных элементов (простейших схем) на основе операционного усилителя.

#### Краткие теоретические сведения

**Операционный усилитель** – универсальная аналоговая интегральная микросхема с дифференциальными, т.е. реагирующими на разность потенциалов входами и собственным коэффициентом усиления, превышающим значение 100000. Условное обозначение операционного усилителя показано на рис. 3.1.

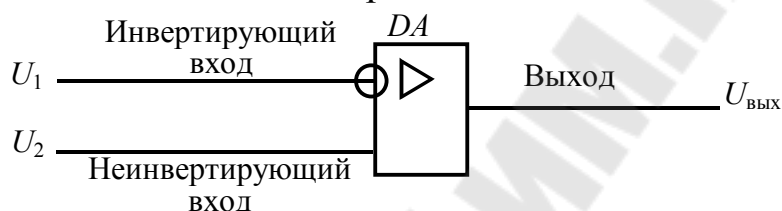


Рис. 3.1

Для операционного усилителя справедливо соотношение:

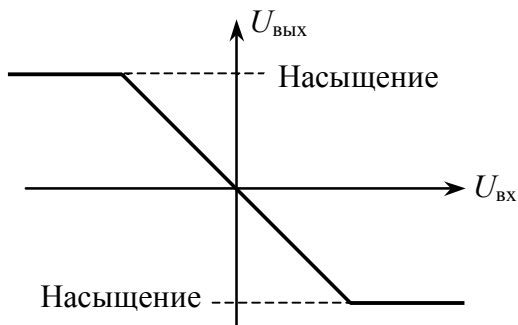
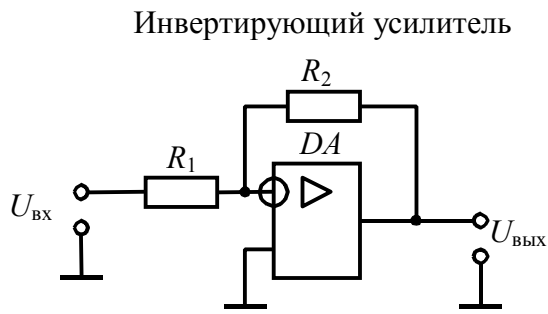
$$U_{\text{вых}} = K_{\text{оу}} \cdot (U_2 - U_1), \quad K_{\text{оу}} = 10^5 \dots 10^6.$$

В данной работе исследуются следующие функциональные элементы на операционном усилителе: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, интегратор, дифференциатор, избирательный усилитель, компаратор, триггер Шмитта.

Принципиальные схемы, передаточные характеристики и расчетные соотношения для коэффициентов усиления  $K_{\text{ус}}$  инвертирующего и неинвертирующего усилителей показаны на рис. 3.2.

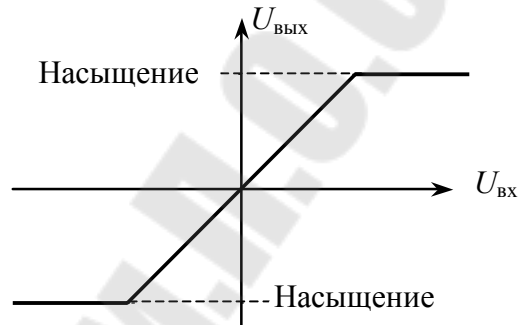
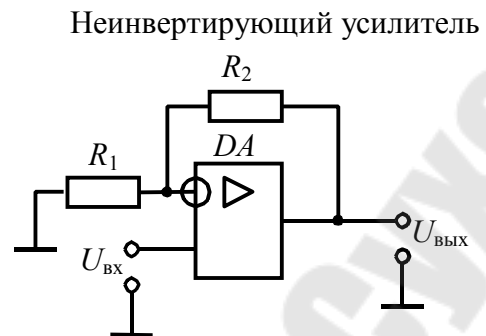
Принципиальные схемы, временные диаграммы работы и расчетные соотношения для масштабных коэффициентов  $K$  инвертирующего интегратора и инвертирующего дифференциатора показаны на рис. 3.3.

Принципиальная схема, амплитудно-частотная характеристика и расчетные соотношения для частоты квазирезонанса  $f_0$  и добротности  $Q$  избирательного усилителя показаны на рис. 3.4.



$$K_{\text{ус}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = -\frac{R_2}{R_1};$$

а)

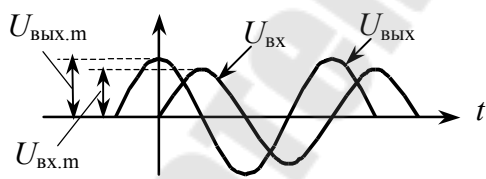
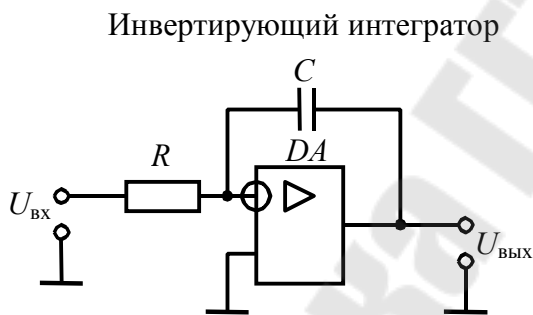


$$K_{\text{ус}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

б)

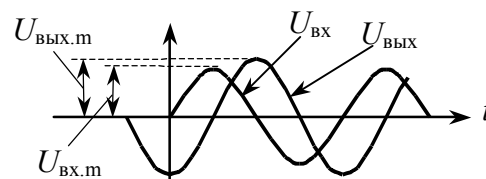
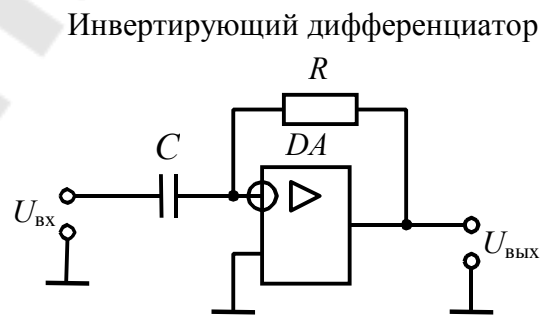
Ошибка!

Рис. 3.2



$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ.м}}}{U_{\text{ВХ.м}}} = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C}$$

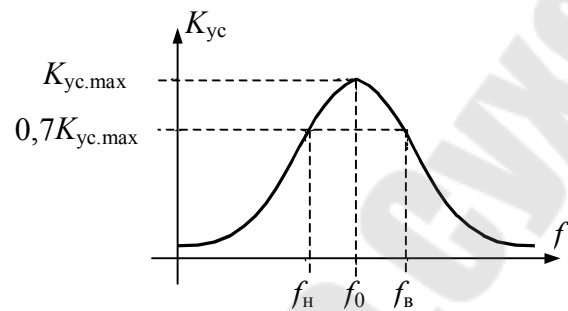
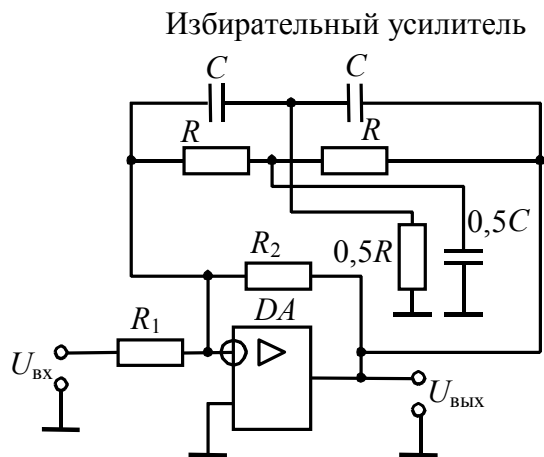
а)



$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ.м}}}{U_{\text{ВХ.м}}} = \omega \cdot R \cdot C$$

б)

Рис 3.3



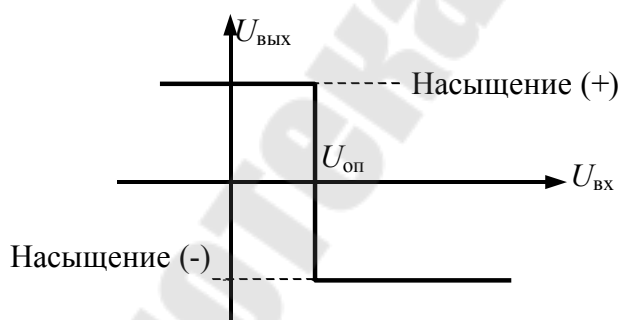
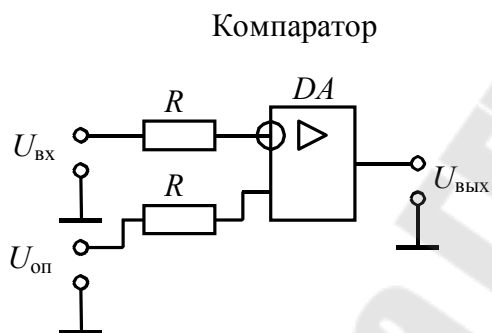
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{f_0}{f_B - f_H}$$

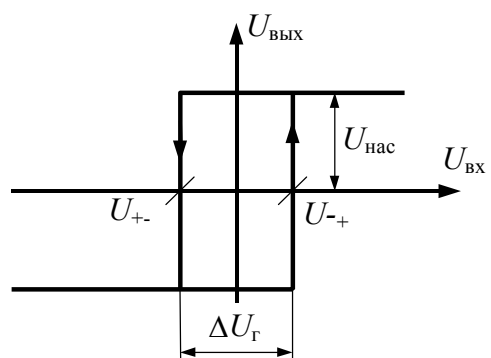
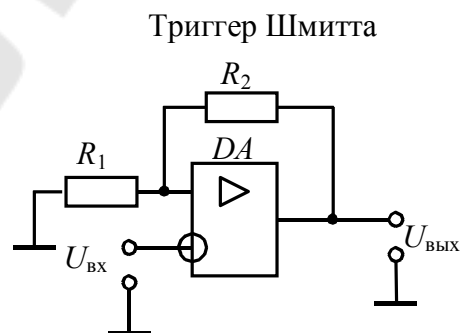
а)

б)

Рис. 3.4



а)



$$\Delta U_{\Gamma} = \frac{R_1 \cdot 2 \cdot U_{\text{нас}}}{R_1 + R_2}$$

б)

Рис. 3.5

Принципиальные схемы и передаточные характеристики для компаратора и триггера Шмитта показаны на рис. 3.5.

### Описание лабораторной установки

На плате лабораторного стенда размещены необходимые электронные компоненты для исследования требуемых схем. Питание стенда осуществляется от специального разъема. При подключении разъема питание (разнополярное напряжение +15 В и –15 В) сразу подается на стенд.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы питание стенда необходимо обязательно отключать, то есть отсоединить питающий разъем (удерживая его за пластмассовый корпус). Вращение регуляторов переменных сопротивлений осуществлять только с помощью отвертки, не прикладывая больших усилий.

На лицевую панель платы вынесены контрольные точки (штырьки), которые можно соединить с помощью гибких перемычек. В зависимости от комбинации контрольных точек получают различные функциональные устройства, приведенные в табл. 3.1.

Для проведения работы необходимы двухканальный осциллограф, универсальный цифровой вольтметр и омметр.

### Порядок выполнения работы

Номера соединения контрольных точек, а также точки подключения измерительных приборов в соответствии с заданным вариантом сведены в табл. 3.1. При этом использованы следующие обозначения: ЭО – электронный двухканальный осциллограф; =PV – цифровой вольтметр постоянного тока; ГПС – генератор периодических сигналов. Значения сопротивлений и емкостей необходимо определять по надписям на корпусах соответствующих резисторов и конденсаторов, за исключением переменного сопротивления  $R_{10}$ , которое необходимо измерить с помощью омметра при отключенном от платы питающем разъеме и разобранной схеме.

#### 1. Исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителей (табл. 3.1, п. 1, 2)

Вначале собрать и исследовать инвертирующий усилитель, а затем неинвертирующий усилитель.

1.1. После сборки схемы установить в произвольное (но не крайнее) положение переменное сопротивление  $R_{10}$ .

1.2. Вращая во всем диапазоне потенциометр  $R_2$ , снять передаточную характеристику усилителя, то есть зависимость выходного напряжения (т. 18) от входного напряжения (т. 4). Полученные значения (не менее 12 точек), а также значения экспериментального коэффициента усиления  $K_{ус.э}$  записать в табл. 3.2. Рассчитать среднее значение  $K_{ус.э}$ . Построить передаточную характеристику усилителя.

Таблица 3.1

№ п.	Наименование схемы	Номера соединения контрольных точек	Источник входного сигнала	Подключение измерительных приборов	Рис.
1.	Инвертирующий усилитель	10 и 11; 7 и 9; 6 и 4	от резистора $R_2$ на плате	=PV: 4 и 9; 18 и 9	3.2, а
2.	Неинвертирующий усилитель	10 и 11; 6 и 9; 7 и 4	- // -	=PV: 4 и 9; 18 и 9	3.2, б
3.	Интегратор	11 и 16; 7 и 4	ГПС: 6 и 9	ЭО: 6 и 9; 18 и 9	3.3, а
4.	Дифференциатор	10 и 11; 7 и 9	ГПС: 5 и 9	ЭО: 5 и 9; 18 и 9	3.3, б
5.	Избирательный усилитель	11 и 3; 11 и 13; 17 и 18	ГПС: 7 и 9	ЭО: 18 и 9	3.4
6.	Компаратор	7 и 2; 6 и 4	от резистора $R_2$ на плате	ЭО: 18 и 9 =PV: 2 и 9; 4 и 9	3.5, а
7.	Триггер Шмитта	12 и 13; 6 и 4	- // -	ЭО: 18 и 9 =PV: 4 и 9	3.5, б

Таблица 3.2

$U_{вх}, В$																			
$U_{вых}, В$																			
$K_{ус.э} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$																			

1.3. При разобранный схеме и отключенном от платы питании измерить с помощью омметра сопротивление  $R_6$  и  $R_{10}$ .

1.4. Рассчитать теоретический коэффициент усиления, который для инвертирующего усилителя равен  $K_{ус.т} = \frac{-R_{10}}{R_6}$  (знак «-» означает, что входное напряжение и выходное противоположны по знаку), а

для неинвертирующего  $K_{\text{ус.т}} = 1 + \frac{R_{10}}{R_6}$ . Сравнить этот коэффициент со средним значением экспериментального коэффициента усиления.

## 2. Исследование интегратора и дифференциатора

(табл. 3.1, п. 3,4)

В начале собрать и исследовать интегратор, а затем дифференциатор.

2.1. Генератор периодических сигналов и осциллограф включить и с помощью преподавателя настроить, установив на генераторе синусоидальную форму выходного напряжения.

2.2. Срисовать с экрана осциллографа осциллограммы входного (т. 6 для интегратора и т. 5 для дифференциатора) и выходного (т. 18) напряжений.

2.3. Определить амплитуды входного  $U_{\text{вх.м}}$  и выходного  $U_{\text{вых.м}}$  напряжений. Рассчитать экспериментальный масштабный коэффициент  $K_э = \frac{U_{\text{вых.м}}}{U_{\text{вх.м}}}$ , и сравнить его с теоретическим масштабным коэффициентом,

равным для интегратора  $K_{\text{т}} = \frac{1}{\omega \cdot R_6 \cdot C_6}$  и для дифференциатора  $K_{\text{т}} = \omega \cdot R_{10} \cdot C_2$ .

2.4. Установить на генераторе периодических сигналов напряжения прямоугольной формы для интегратора и треугольной формы для дифференциатора. Срисовать и объяснить в отчете полученные осциллограммы.

## 3. Исследование избирательного усилителя или, так называемого, полосопропускающего фильтра (табл. 3.1, п. 5)

3.1. Генератор периодических сигналов и осциллограф настроить с помощью преподавателя и установить на генераторе синусоидальную форму сигнала.

3.2. Изменяя частоту входного сигнала (т. 7) на генераторе в заданных преподавателем пределах, снять амплитудно-частотную характеристику усилителя, то есть зависимость амплитуды выходного сигнала  $U_{\text{вых.м}}$  (т. 18) от частоты  $f$  (не менее 12 точек).

3.3. Построить график зависимости  $U_{\text{вых.м}}(f)$ . Определить графически основные параметры избирательного усилителя: частоту ква-

зирезонанса  $f_0$ , верхнюю  $f_B$  и нижнюю  $f_H$  частоты полосы пропускания, добротность  $Q$ , как это показано на рис. 3.4, б.

#### 4. Исследование компаратора

Собрать схему компаратора (см. табл. 3.1, п. 6) и изменяя входное напряжение (т. 4) с помощью переменного сопротивления  $R_2$ , добиться переключения компаратора (контролировать выходной сигнал в т. 18 с помощью осциллографа). На границе переключения измерить входное напряжение  $U_{вх}$  (т. 4) и опорное напряжение  $U_{оп}$  (т. 18). Определить чувствительность компаратора  $\Delta U = U_{вх} - U_{оп}$ . Построить передаточную характеристику компаратора, как это показано на рис. 3.5, а.

#### 5. Исследование триггера Шмитта (табл. 3.1, п. 7)

5.1. Изменяя входное напряжение (т. 4) с помощью переменного сопротивления  $R_2$ , добиться переключения триггера Шмитта (контролировать выходной сигнал в т. 18 с помощью осциллографа). На границе переключения триггера Шмитта из положительного выходного напряжения в отрицательное измерить входное напряжение переключения  $U_{+-}$ . Аналогично на границе переключения из отрицательного выходного напряжения в положительное измерить входное напряжение переключения  $U_{-+}$ .

5.2. Построить передаточную характеристику триггера Шмитта, как это показано на рис. 3.5, б.

5.3. Определить экспериментальное значение ширины петли гистерезиса  $\Delta U_{г.э} = U_{-+} - U_{+-}$  и сравнить его с теоретическим значением  $\Delta U_{г.т} = \frac{R_{13} \cdot 2 \cdot U_{нас}}{R_{13} + R_{12}}$ , где  $U_{нас}$  – напряжение насыщения операционного усилителя (определить по осциллографу).

5.4. Добавить к собранной схеме переключку 13 и 19 и повторить пункты 5.1 – 5.3, учитывая при этом, что параллельно к сопротивлению  $R_{13}$  подключено сопротивление  $R_{14}$ .

#### Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, принципиальные схемы измерений, таблицы измерений, осциллограммы, результаты расчетов, краткие выводы по каждому опыту с объяснением полученных осциллограмм.



### **Контрольные вопросы**

1. Операционный усилитель: условные обозначения, принципы работы, основные параметры, области применения.
2. Инвертирующий и неинвертирующий усилители: схемы, принципы работы, основные параметры, области применения.
3. Интегратор и дифференциатор: схемы, принципы работы, основные параметры, области применения.
4. Избирательный усилитель на основе двойного Т-образного моста: схема, принципы работы, основные параметры, области применения.
5. Компаратор и триггер Шмитта: схемы, принципы работы, основные параметры, области применения.

Литература: [1], [3], [4], [5].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 (4 часа)

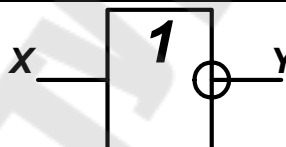
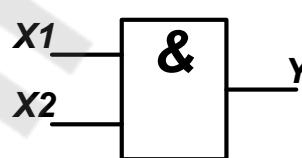
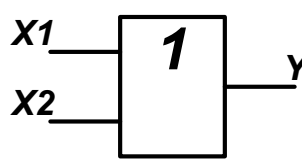
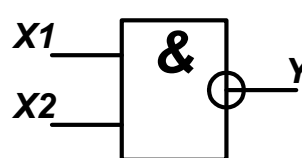
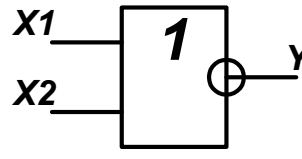
### Тема: Исследование логических и функциональных элементов на цифровых интегральных микросхемах

**Цель работы:** Изучить принципы работы основных логических и функциональных элементов (простейших схем) на основе цифровых интегральных микросхем.

#### Краткие теоретические сведения

**Цифровая интегральная микросхема** – сложное электронное устройство, выполненное в пределах одного корпуса одного полупроводникового кристалла и предназначенное для работы с цифровыми (двоичными) сигналами.

Таблица 4.1

№ п.	Логическая операция	Название логического элемента	Условное обозначение логического элемента	Таблица истинности															
1	Отрицание	<b>НЕ</b>		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	0	1	1	0									
X	Y																		
0	1																		
1	0																		
2	Конъюнкция	<b>И</b>		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
X1	X2	Y																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
3	Дизъюнкция	<b>ИЛИ</b>		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
X1	X2	Y																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
4	Конъюнкция с отрицанием	<b>И-НЕ</b>		Исследуется в работе															
5	Дизъюнкция с отрицанием	<b>ИЛИ-НЕ</b>		Исследуется в работе															

Цифровыми называют сигналы, имеющие два устойчивых состояния, одно из которых соответствует логическому «0», а другое – логической «1».

**Логический элемент** – часть цифровой интегральной микросхемы, выполняющая одну или несколько логических операций: конъюнкцию (логическое умножение), дизъюнкцию (логическое сложение) и отрицание (логическую инверсию).

Основные логические элементы, их названия, условные обозначения и таблицы истинности приведены в табл. 4.1.

Основными функциональными элементами на цифровых интегральных микросхемах являются:  $RS$  – триггер,  $D$  – триггер,  $T$  – триггер, двоичный счетчик, формирователь коротких импульсов, одновибратор, мультивибратор. Схемы (или условные обозначения) этих элементов приведены на рис. 4.1. и рис. 4.2.

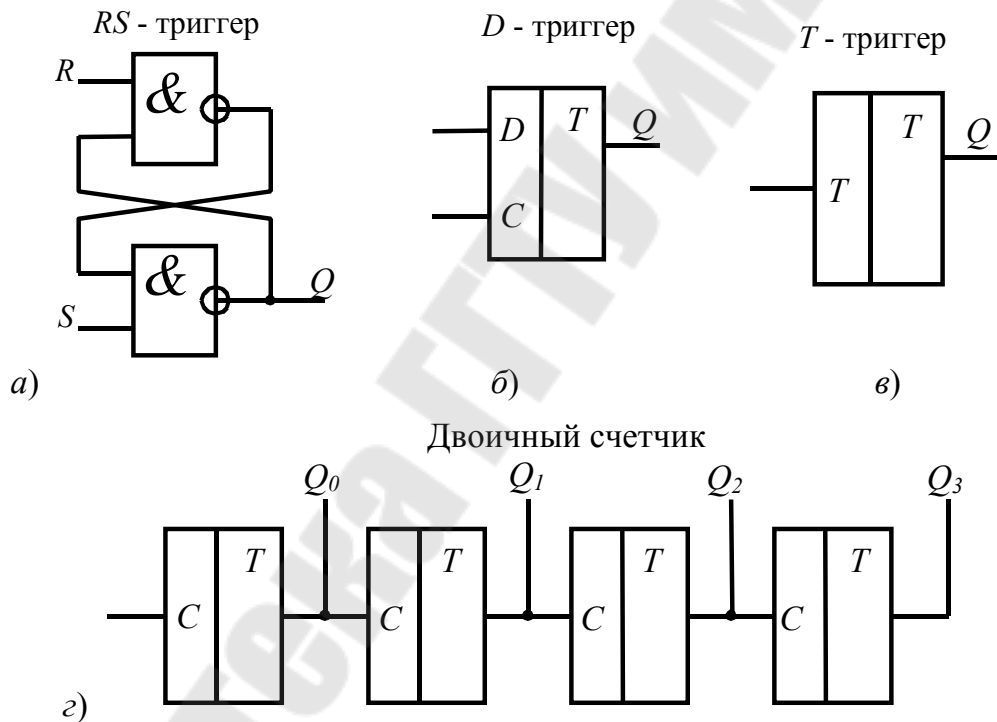


Рис. 4.1

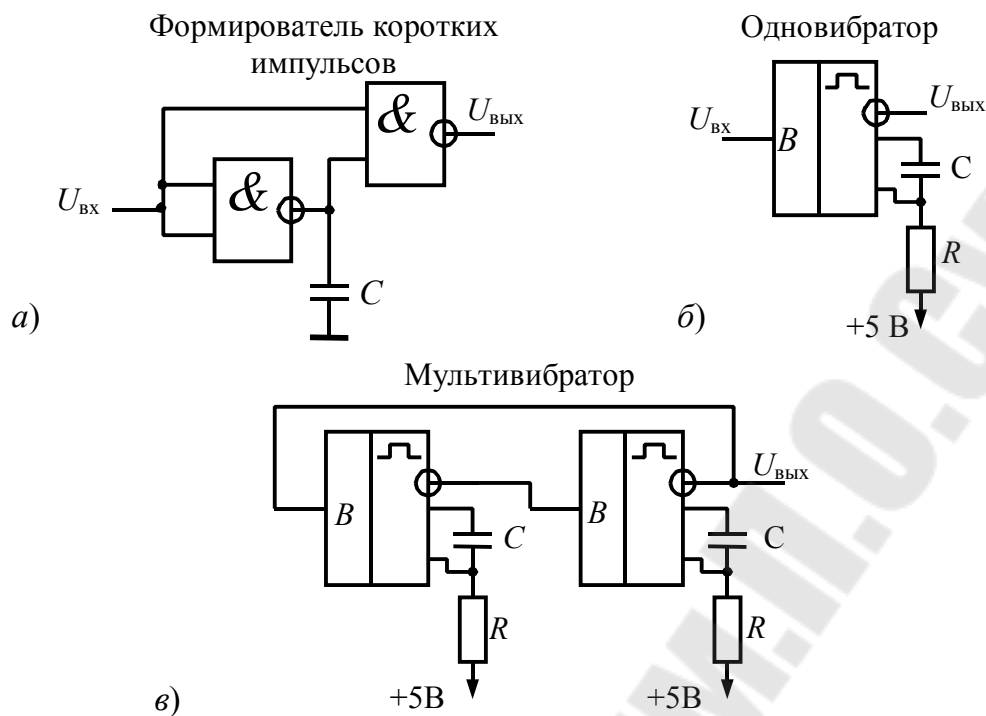


Рис. 4.2

### Описание лабораторной установки

На плате лабораторного стенда размещены необходимые электронные компоненты для исследования требуемых схем. Питание стенда осуществляется от специального разъема. При подключении разъема питание напряжением +5 В сразу подается на стенд.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы, питание стенда необходимо обязательно отключить, то есть отсоединить питающий разъем (удерживая его за пластмассовый корпус). При работе с входами цифровых микросхем питание можно не отключать.

На лицевую панель платы вынесены контрольные точки (штырьки), которые можно соединить с помощью гибких перемычек.

В качестве средства отображения информации на плате стенда используются светодиоды. Если светодиод светится, то он отображает логическую «1», если не светится – логический «0».

На плате логическая «1» снимается с точки 12, а логический «0» – с точки 9.

### Порядок выполнения работы

#### 1. Исследование простейших логических элементов

##### 1.1. Логический элемент И-НЕ (табл. 4.1, п. 4).

Соедините точки 6 и 24. Зарисуйте в черновик заготовку таблицы истинности логического элемента по аналогии с табл. 4.1, п. 2, оставив третий столбец пустым. При включенном питании платы подавайте на входы логического элемента цифровые сигналы с помощью соединительных проводов в соответствии с таблицей истинности. При этом  $X1$  – это точка 1;  $X2$  – это точка 2. Результат контролируйте по светодиоду. Если светодиод светится, то  $Y = 1$ , если не светится, то  $Y = 0$ . Подайте все возможные комбинации логических уровней на входы логического элемента и заполните третий столбец таблицы истинности. Разберите схему.

1.2. Логический элемент ИЛИ-НЕ (табл. 4.1, п. 5).

Соедините точки 7 и 24 и повторите пункт 1.1. При этом  $X1$  – это т. 3;  $X2$  – это т. 4. Разберите схему.

## 2. Исследование цифровых триггеров

2.1.  $RS$  – триггер (рис. 4.1, а)

Соедините точки 20 и 24. Возьмите соединительный провод и подключите его одним контактом к точке 9, а другой контакт просто положите на стол. Больше соединительных проводов в данном опыте не требуется. Зарисуйте заготовку таблицы состояний  $RS$  – триггера.

Таблица 4.2

$R$	$S$	$Q_n$	$Q_{n-1}$
1	1		
1	0		
1	1		
0	1		
1	1		

$R$  – это т. 10;  $S$  – т. 11;  $Q_n$  – текущее состояние триггера (контролируется по светодиоду);  $Q_{n-1}$  – предыдущее состояние триггера.

Подайте питание на стенд.

**Внимание! Не дотрагивайтесь пальцами до входных штырьков триггера!**

Обратите внимание, что вначале на входы триггера  $R$  и  $S$  ничего не подано, и они находятся «в воздухе». В таком состоянии на входах автоматически наводится логическая «1». Занесите это начальное состояние в первую строку таблицы состояний. Для реализации второй строки таблицы подайте с помощью провода логический «0» на вход  $S$  (точки 9 и 11). На вход  $R$  не подавайте ничего (т. е. логическая «1»).

Для реализации третьей строки таблицы отсоедините провод от точки 11. Подобным образом заполните всю таблицу.

Отметьте в таблице три основных состояния  $RS$  – триггера:

- 1) режим хранения информации (когда  $Q_n = Q_{n-1}$ );
- 2) режим установки в «1»;
- 3) режим сброса в «0».

Разберите схему.

## 2.2. $D$ – триггер (рис. 4.1, б)

Соедините точки 22 и 24; 8 и 19; 18 и 12. Продумайте назначение кнопки  $SB$ , рассмотрев ее чертеж на стенде. Обратите внимание, что контакт нормально замкнут. Задача опыта – составить времяимпульсную диаграмму работы триггера. Нарисуйте заготовку диаграммы произвольной формы, но подобной диаграмме, показанной на рис. 4.3.

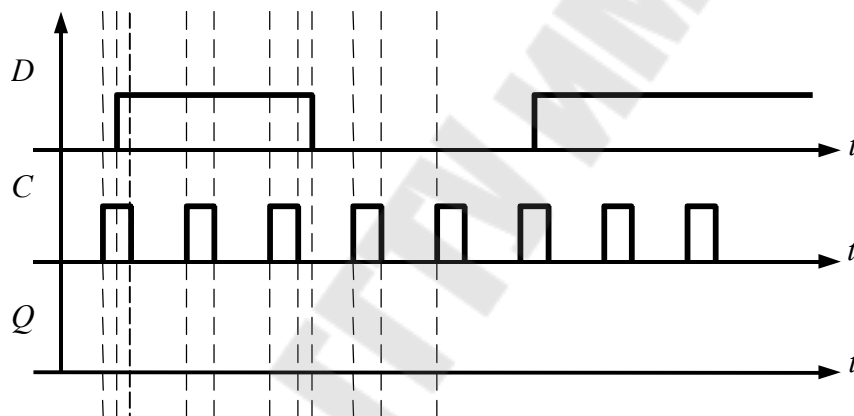


Рис. 4.3

Сделайте отсечки временных интервалов с помощью штрихпунктирных линий, как показано на рисунке. Подайте питание на стенд, а затем проделайте следующие действия:

а) с помощью провода установите необходимый логический уровень на входе  $D$  триггера (для данного временного интервала);

б) с помощью кнопки  $SB$  установите необходимый логический уровень на входе  $C$  триггера (нажмите или отпустите кнопку в зависимости от значения сигнала на входе  $C$  для данного временного интервала);

в) в соответствии с показаниями светодиода для каждого временного интервала зарисуйте форму сигнала на выходе  $Q$  триггера.

Разберите схему.

### 2.3. $T$ – триггер (рис. 4.1, в)

Соедините точки 8 и 19; 18 и 23; 22 и 24. Зарисуйте заготовку времяимпульсной диаграммы, как показано на рис. 4.4.

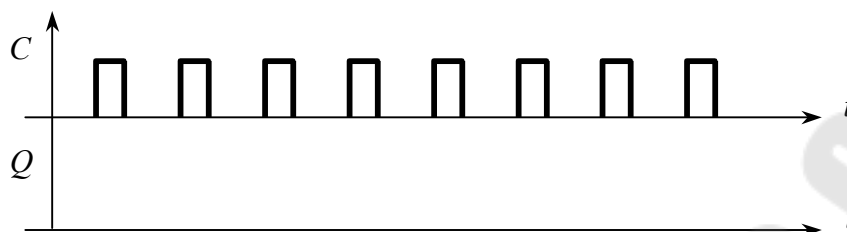


Рис. 4.4

Для формирования последовательности импульсов на входе  $C$  триггера понажимайте на кнопку  $SB$ . Проследите за состояниями светодиода и зарисуйте сигнал, получаемый на выходе  $Q$  триггера. Разберите схему.

## 3. Исследование цифровых счетчиков (рис. 4.1, г)

### 3.1. Двоичный реверсивный счетчик в режиме прямого счета

Соберите схему: 8 и 13; 14 и 12; 9 и 15. Зарисуйте заготовку таблицы состояний (табл. 4.3).

Таблица 4.3

№ импульса	$HL_4$	$HL_3$	$HL_2$	$HL_1$
0	0	0	0	0

Нажимая на кнопку  $SB$ , добейтесь показания логических «0» на светодиодах  $HL_1$ - $HL_4$ . Подавая счетные импульсы с помощью кнопки  $SB$ , заполните таблицу состояний.

### 3.2. Двоичный реверсивный счетчик в режиме обратного счета

Не разбирая предыдущую схему, поменяйте местами провода в точках 13 и 14. Подавая счетные импульсы с помощью кнопки  $SB$ , заполните таблицу состояний, аналогичную табл. 4.3, начиная со всех «1». Разберите схему.

### 3.3. Двоично-десятичный счетчик

Соберите схему: 8 и 13; 12 и 14; 15 и 25. Подавая счетные импульсы с помощью кнопки  $SB$ , заполните таблицу состояний, аналогичную табл. 4.3. Разберите схему.

#### 4. Исследование функциональных элементов для формирования импульсов

##### 4.1. Формирователь коротких импульсов (рис. 4.2, а)

Соберите схему: 8 и 5; 16 и 24. Зарисуйте заготовку времяимпульсной диаграммы, как показано на рис. 4.5.

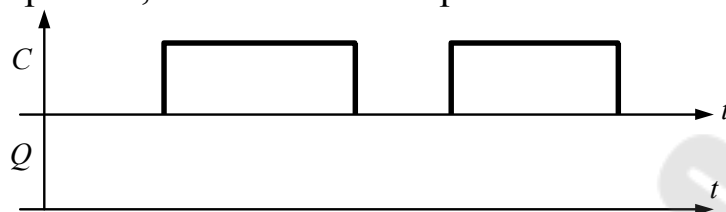


Рис. 4.5

С помощью кнопки *SB* подайте единичный импульс на вход схемы. Проследите, что происходит со светодиодом. Зарисуйте форму сигнала на выходе *Q* схемы. Разберите схему.

##### 4.2. Одновибратор (формирователь синхронизирующих импульсов) (рис. 4.2, б)

Соберите схему: 8 и 17; 21 и 24. Зарисуйте заготовку времяимпульсной диаграммы, как показано на рис. 4.6.

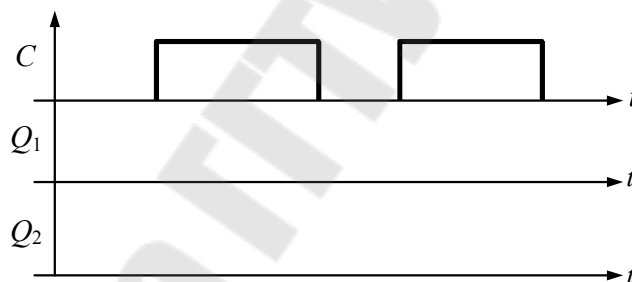


Рис. 4.6

При поданном питании с помощью кнопки *SB* подайте единичный импульс на вход схемы. Проследите, что происходит со светодиодом. Зарисуйте форму сигнала на выходе *Q<sub>1</sub>* схемы (т. 21). Проведите то же самое для выхода *Q<sub>2</sub>* схемы, переключив провод из т. 21 в т. 26. Разберите схему.

##### 4.3. Мультивибратор (генератор импульсов) (рис. 4.2, в)

Соберите схему: 17 и 26; 21 и 24. При поданном питании проследите, что происходит со светодиодом. Зарисуйте форму сигнала на выходе *Q* схемы. Подсчитайте количество колебаний мультивибратора за 100 секунд. Рассчитайте частоту *f* и период *T* колебаний мультивибратора. Повторите опыт еще два раза и вычислите среднее значение периода *T*. Разберите схему.



### 5. Элемент задержки (реле времени)

Соберите схему: 25 и 24; 3 и 24; 17 и 26; 21 и 4; 7 и 13; 6 и 15; 2 и 8. С помощью преподавателя зарисуйте функциональную схему элемента задержки. При поданном питании и нажатой кнопке  $SB$  дождитесь срабатывания схемы (по светодиоду  $HL_5$ ). Используя ручной секундомер (например, в сотовом телефоне), определите время срабатывания схемы  $t_3$ . Повторите опыт еще пять раз и вычислите среднее значение времени  $t_3$ . Сравните полученное значение  $t_3$  с теоретическим значением, составляющим  $10T$ , где  $T$  значение периода, полученное из предыдущего опыта. Вычислите относительную погрешность и разберите схему.

#### Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, условные обозначения элементов или исследуемые схемы, таблицы истинности, диаграммы, результаты расчетов, краткие выводы по каждому опыту с объяснением полученных диаграмм.

#### Контрольные вопросы

1. Логические элементы: классификация, условные обозначения, таблицы истинности, области применения.
2. Цифровые триггеры  $RS$ ,  $D$  и  $T$ : условные обозначения, схемы, принципы работы, области применения.
3. Двоичный счетчик: схема, принципы работы, области применения.
4. Формирователи коротких и синхронизирующих импульсов: схемы, принципы работы, области применения.
5. Принцип работы элемента задержки (реле времени), исследованного в лабораторной работе.

Литература: [1], [3], [4], [5], [6].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 (4 часа)

### Тема: Исследование цифро-аналоговых и аналогово-цифровых преобразователей

**Цель работы:** Изучить принципы работы цифро-аналоговых (ЦАП) и аналогово-цифровых преобразователей (АЦП).

#### Краткие теоретические сведения

**ЦАП** – это функциональный элемент электронной техники, преобразующий входной двоичный код (набор логических «0» и «1») в пропорциональное аналоговое постоянное напряжение.

**АЦП** – это функциональный элемент электронной техники, преобразующий входное аналоговое напряжение в пропорциональный двоичный код (выполняет обратное преобразование ЦАП).

Условные обозначения  $n$  – разрядных ЦАП и АЦП, а также основные расчетные соотношения приведены на рис. 5.1.

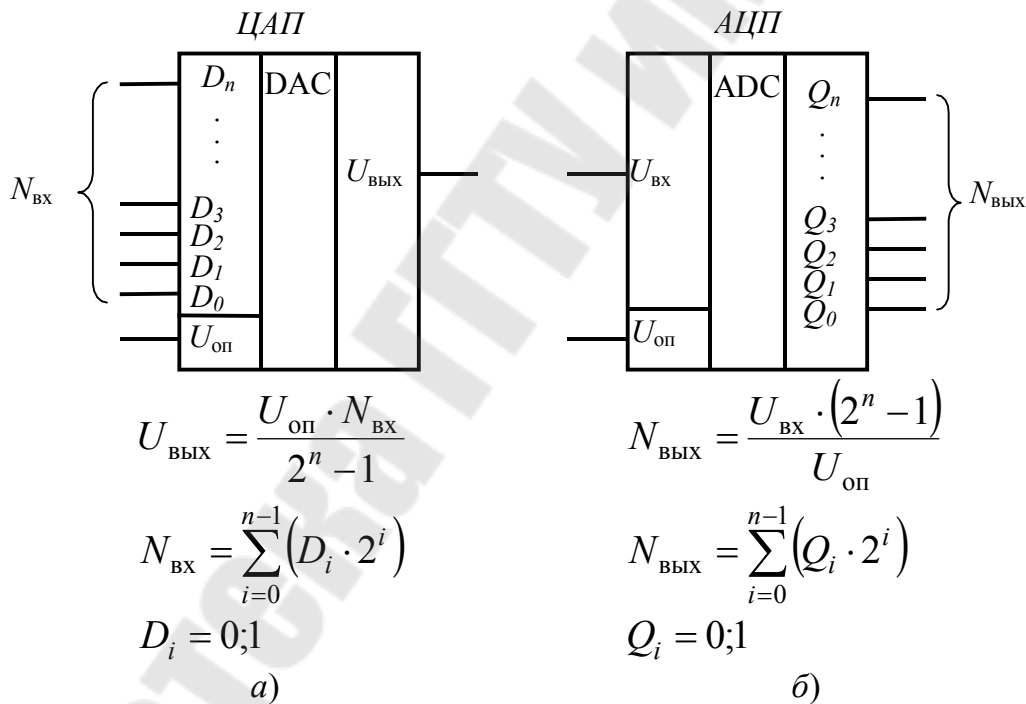


Рис. 5.1

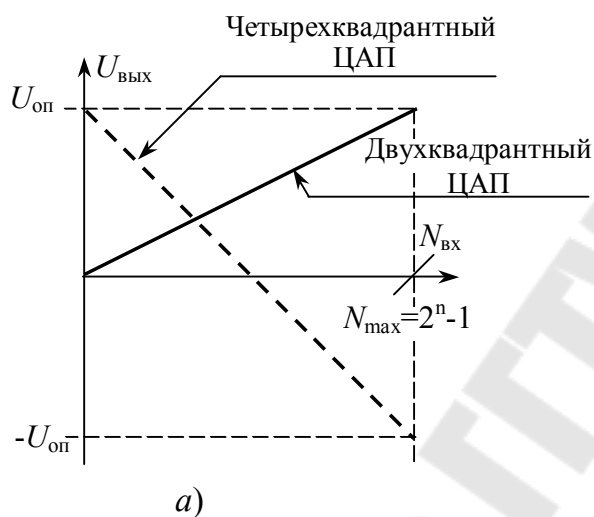
На рис. 5.1 обозначено:  $N_{\text{ВХ}}$  и  $N_{\text{ВЫХ}}$  – соответственно входной и выходной двоичные коды;  $U_{\text{ВХ}}$  и  $U_{\text{ВЫХ}}$  – соответственно значения входного и выходного напряжений;  $D_i$  и  $Q_i$  – логические уровни цифровых входов и выходов соответственно;  $U_{\text{оп}}$  – опорное напряжение.

**Двухквadrантными** называют ЦАП и АЦП, у которых опорное напряжение  $U_{\text{оп}}$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения, а двоичный код  $N$  – только положительные значения.

**Четырехквadrантными** называют ЦАП и АЦП, у которых и опорное напряжение  $U_{\text{оп}}$  и двоичный код  $N$  могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. При этом старший разряд двоичного кода считается знаковым, т.е. когда он равен единице, двоичное число является отрицательным.

Передаточные характеристики ЦАП и АЦП приведены на рис. 5.2.

Передаточная характеристика ЦАП



Передаточная характеристика АЦП

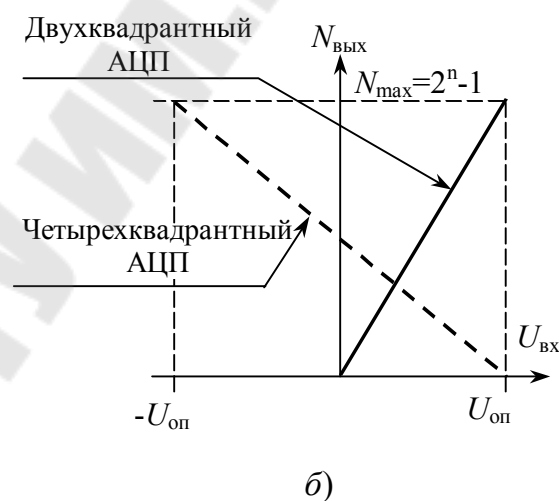


Рис. 5.2

Одним из самых распространенных типов АЦП является АЦП последовательных приближений, который реализуется на основе ЦАП. Структурная схема такого АЦП приведена на рис. 5.3.

Генератор импульсов ГИ вырабатывает последовательность цифровых импульсов, которая с помощью двоичного счетчика СЧ преобразуется в двоичный код. Этот код поступает на цифровые входы ЦАП, где преобразуется в пропорциональное постоянное напряжение  $U_{\text{ЦАП}}$ , подаваемое на один из входов компаратора  $K$ . На второй вход компаратора подается входное напряжение  $U_{\text{вх}}$ . Компаратор сравнивает напряжения на своих входах, и при достижении равенства  $U_{\text{вх}} = U_{\text{ЦАП}}$  выдает сигнал, останавливающий работу генератора импульсов. При этом на выходе счетчика фиксируется двоичный код, пропорциональный напряжению  $U_{\text{вх}}$ .

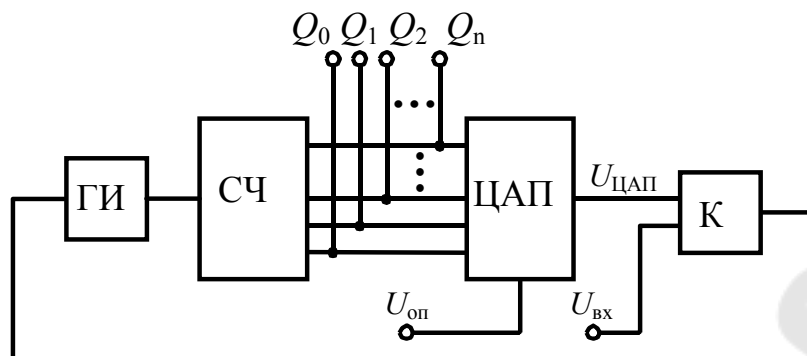


Рис. 5.3

### Описание лабораторной установки

На плате лабораторного стенда размещены необходимые электронные компоненты для исследования требуемых схем. Питание стенда осуществляется от специального разъема. При подключении разъема питание сразу подается на стенд.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы питание стенда необходимо обязательно отключить, то есть отсоединить питающий разъем, удерживая его за пластмассовый корпус.

На лицевую панель платы вынесены контрольные точки (штырьки), которые можно соединить с помощью гибких перемычек.

В качестве средства отображения информации на плате стенда используются светодиоды. Если светодиод светится, то он отображает логическую «1», если не светится – логический «0».

На плате расположены следующие элементы: ГИ – генератор импульсов; ГОИ – генератор одиночных импульсов, формирующий цифровой импульс при нажатии кнопки «Пуск»; двоичный счетчик, который можно установить в исходное (нулевое) состояние нажатием кнопки «Сброс»; ЦАП с двумя выходами:  $U_{\text{вых1}}$  – выход двухквadrантного ЦАП,  $U_{\text{вых2}}$  – выход четырехквadrантного ЦАП; К – компаратор;  $R_{\text{вх}}$  и  $R_{\text{оп}}$  – соответственно, переменные резисторы для регулировки входного и опорного напряжений.

### Порядок выполнения работы

#### 1. Исследование ЦАП (рис. 5.1, а; рис. 5.2, а)

1.1. Подключите генератор одиночных импульсов к двоичному счетчику, соединив т. 4 и 5 (следите, чтобы провод надежно держался на штырьках).

1.2. При подаче на плату питания установите заданное преобразователем опорное напряжение  $U_{\text{оп}}$ , подключив вольтметр между т. 9 и 13.

1.3. Обнулите двоичный счетчик однократным нажатием кнопки «Сброс».

1.4. Снимите зависимости  $U_{\text{вых1}}(N_{\text{вх}})$  и  $U_{\text{вых2}}(N_{\text{вх}})$ , периодически подавая импульсы на счетчик с помощью кнопки «Пуск». При этом для измерения напряжений  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$  поочередно подключайте вольтметр между т. 6 и 13, 7 и 13. Измерения проводите каждые 32 импульса, т.е. в результате необходимо иметь 32 значения для каждого из напряжений. Результаты измерений занесите в таблицу, аналогичную табл. 5.1.

1.5. Разберите схему.

1.6. Рассчитайте требуемые значения  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$  по форму-

лам:  $U_{\text{вых1}} = \frac{-U_{\text{оп}} \cdot N_{\text{вх}}}{N_{\text{max}}}$ ;  $U_{\text{вых2}} = \frac{2 \cdot U_{\text{оп}} \cdot \left( N_{\text{вх}} - \frac{N_{\text{max}}}{2} \right)}{N_{\text{max}}}$  и занесите ре-

зультаты расчета в таблицу.

Таблица 5.1

$N_{\text{вх}}$	Двоичный код	Измерения		Расчет	
		$U_{\text{вых1}}, \text{В}$	$U_{\text{вых2}}, \text{В}$	$U_{\text{вых1}}, \text{В}$	$U_{\text{вых2}}, \text{В}$
0	0000000000				
32	0000010000				
64	0000100000				
...	...				
1023	1111111111				

1.7. Постройте измеренные и расчетные зависимости  $U_{\text{вых1}}(N_{\text{вх}})$  и  $U_{\text{вых2}}(N_{\text{вх}})$ .

1.8. Определите погрешности нелинейности ЦАП  $\Delta U_{\text{вых1}}$  и  $\Delta U_{\text{вых2}}$  как максимальные отклонения экспериментальных значений от расчетных.

## 2. Исследование АЦП (рис. 5.1, б; рис. 5.2, б; рис. 5.3)

2.1. Соберите схему двухквadrантного АЦП последовательных приближений, соединив т. 1 и 2; 3 и 5; 6 и 8; 11 и 12.

2.2. При поданном на плату питания установите заданное преобразователем опорное напряжение  $U_{\text{оп}}$ , подключив вольтметр между т. 9 и 13.

2.3. Подключите вольтметр между т. 10 и 13 и установите входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  обратного знака по отношению к опорному напряжению  $U_{\text{оп}}$  так, чтобы выполнялось условие  $|U_{\text{вх.макс}}| \leq |U_{\text{оп}}|$ .

2.4. Для запуска АЦП нажмите кнопку «Сброс». Если на светодиодах установился некоторый код, то АЦП функционирует нормально, в противном случае наблюдается свечение всех светодиодов.

2.5. Снимите зависимость  $N_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$ . Для этого установите не менее семи значений  $U_{\text{вх}}$  в требуемом диапазоне, запустите АЦП и запишите полученный код. Результаты измерений занесите в таблицу, аналогичную табл. 5.2.

2.6. Рассчитайте требуемые значения  $N_{\text{вых}}$  по формуле  $N_{\text{вых}} = \frac{-U_{\text{вх}} \cdot N_{\text{макс}}}{U_{\text{оп}}}$ . Результаты занесите в таблицу.

2.7. Постройте экспериментальную и расчетную зависимости  $N_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$ .

2.8. Определите максимальную погрешность преобразования АЦП  $\Delta N_{\text{вых}}$  как разность между измеренными и расчетными значениями  $N_{\text{вых}}$ .

Таблица 5.2

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	Измерения		Расчет
	Выходной двоичный код	$N_{\text{вых}}$	$N_{\text{вых}}$

2.9. Соберите схему четырехквadrантного АЦП последовательных приближений, оставив предыдущую схему, но соединив т. 7-8 вместо 6-8.

2.10. Повторите опыты по п. 2.3-2.8, устанавливая при этом входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  как положительного, так и отрицательного знака по отношению к опорному напряжению (не менее семи значений). Расчетная формула при этом запишется в виде:

$$N_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}} \cdot N_{\text{макс}}}{2 \cdot U_{\text{оп}}} + \frac{N_{\text{макс}}}{2}.$$

2.11. Разомкните переключку 11 и 12. Подключите осциллограф между т. 6 и 13. Зарисуйте и объясните письменно полученную осциллограмму. Разберите схему.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, условные обозначения ЦАП и АЦП, исследуемую схему АЦП последовательных приближений, результаты измерений и расчетов, графики, краткие выводы по каждому опыту с объяснением полученных результатов.

### **Контрольные вопросы**

1. ЦАП: условное обозначение, способы организации, принципы работы, основные параметры и характеристики, области применения.
2. АЦП: условное обозначение, способы организации, принципы работы, основные параметры и характеристики, области применения.

Литература: [1], [3], [5], [6].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 (4 часа)

### Тема: Поверка измерительных трансформаторов тока и напряжения

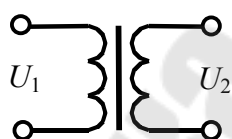
**Цель работы:** Ознакомиться с назначением, характеристикой и конструкцией измерительных трансформаторов тока и напряжения, изучить методы измерения амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов. Ознакомиться с устройством и назначением аппарата К507, освоить методику и порядок измерения погрешностей измерительных трансформаторов тока и напряжения.

#### Краткие теоретические сведения

**Измерительный трансформатор напряжения** – это специальный понижающий трансформатор напряжения, предназначенный для измерения высоких напряжений (выше 1кВ) и осуществляющий гальваническое разделение цепей высокого напряжения от низковольтных измерительных приборов и реле.

**Измерительный трансформатор тока** – это специальный понижающий трансформатор тока, предназначенный для измерения тока в цепях высокого напряжения (выше 1кВ) и осуществляющий гальваническое разделение цепей высокого напряжения от низковольтных измерительных приборов и реле.

Измерительный трансформатор напряжения



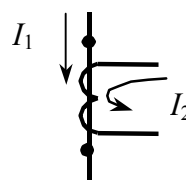
$$K_T = \frac{U_{1.н}}{U_{2.н}}$$

$$f = \frac{U_{2.д} - U_{2.р}}{U_{2.р}}$$

$$\delta = (U_{2.д} \wedge U_{2.р})$$

а)

Измерительный трансформатор тока



$$K_T = \frac{I_{1.н}}{I_{2.н}}$$

$$f = \frac{I_{2.д} - I_{2.р}}{I_{2.р}}$$

$$\delta = (I_{2.д} \wedge I_{2.р})$$

б)

Рис. 6.1

Основными параметрами измерительных трансформаторов являются коэффициент трансформации  $K_T$ , номинальное первичное на-



пряжение  $U_{1.н}$  (или ток  $I_{1.н}$ ), номинальное вторичное напряжение  $U_{2.н}$  (или ток  $I_{2.н}$ ), амплитудная  $f$  и угловая  $\delta$  погрешности. Условные обозначения, а также основные расчетные соотношения для измерительных трансформаторов приведены на рис. 6.1.

На рис. 6.1 обозначено:  $U_{2.д}$  и  $U_{2.р}$  – соответственно действительное и расчетное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора напряжения;  $I_{2.д}$  и  $I_{2.р}$  – соответственно действительное и расчетное значение тока вторичной обмотки трансформатора тока.

Сущность поверки измерительных трансформаторов заключается в определении их погрешностей.

### **Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка состоит из стенда, на котором расположены клеммы трехфазной сети 380 В, нагрузочной проводимости  $Y$ , нагрузочного сопротивления  $Z$  и ограничительного сопротивления  $R_N$ . Рядом со стендом находится аппарат К507, предназначенный для проведения поверки измерительных трансформаторов тока и напряжения.

### **Используемое оборудование**

1. Аппарат К507.
2. Измерительные трансформаторы тока типа И515М и И54.
3. Измерительные трансформаторы напряжения УТН-1 – 2 шт.
4. Амперметр с переделом измерения не менее 5 А и классом точности не более 1.

### **Мероприятия по технике безопасности**

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.
2. Перед началом работы убедиться, что все вилки вынуты из розеток.
3. В процессе работы все соединительные провода, а также клеммы, находятся под опасным для жизни напряжением 380 В. Поэтому необходимо соблюдать максимальную осторожность при выполнении лабораторной работы. А именно: не дотрагиваться до железного корпуса аппарата К507, не дотрагиваться до клемм при включенном напряжении, не производить записи в черновик на столе лабораторной установки.

4. В случае чрезвычайной ситуации (попадания под напряжение или при появлении дыма) последовательность действий такова:
  - а) Выключить автоматический выключатель и вынуть все вилки из розеток.
  - б) Позвать преподавателя.
5. При сборке схем плотно зажимать все контакты.

### **Задание на допуск к лабораторной работе**

1. Изучить лабораторную установку и убедиться, что на столе находится требуемое оборудование.
2. Выучить наизусть меры по технике безопасности.
3. Изучить назначение органов управления аппарата К507 и указания мер безопасности, используя паспорт аппарата К507.
4. Изучить назначение выводов измерительных трансформаторов тока И515М и трансформаторов напряжения УТН – 1 по схемам, изображенным на щитках трансформаторов.
5. Изучить порядок выполнения работы.

### **Порядок выполнения работы**

#### **1. Измерение амплитудной и фазовой погрешностей измерительного трансформатора тока**

1.1. Соберите схему, изображенную на рис. 6.2, подключившись к линейному или фазному напряжению сети, в соответствии с заданием преподавателя.

**Внимание!** Важно соблюдать полярность подключения вторичной цепи трансформаторов.

1.2. С помощью перекидного ключа выставьте номинальный вторичный ток измерительных трансформаторов тока в соответствии с заданием преподавателя.

1.3. Установите переключатель пределов измерения « $I_n - U_n$ » аппарата К507 в положение, соответствующее значению номинального вторичного тока измерительного трансформатора.

**Внимание!** Переключение переключателя « $I_n - U_n$ » из зоны  $U_n$  в зону  $I_n$  производится при нажатой кнопке « $K_n$ ».

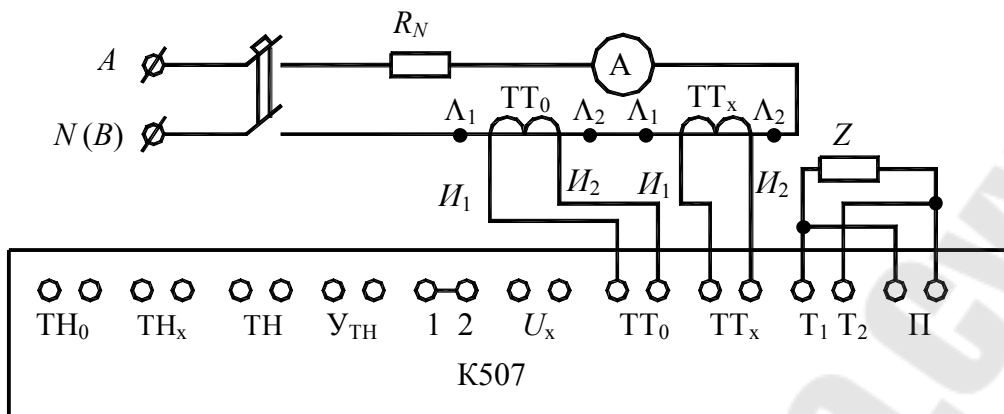


Рис. 6.2. Схема для определения амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов тока

1.4. Установите переключатель « $f-R$ » аппарата К507 в положение, соответствующее измерению максимальной погрешности, т. е. на позицию «10 %-650'».

1.5. Покажите собранную схему преподавателю.

1.6. Включите вилку шнура питания нуль-индикатора (белый) в розетку и нажмите кнопку «СЕТЬ» аппарата К507.

1.7. Включите вилку шнура питания трехфазной сети в розетку.

1.8. Включите автоматический выключатель на стенде.

**Внимание!** Если при включении загорелась сигнальная лампа на аппарате К507, то автоматический выключатель следует немедленно отключить!

1.9. Запишите значения первичного и вторичного токов.

1.10. Включите наименьшую чувствительность нуль-индикатора нажатием крайней левой кнопки «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ» аппарата К507.

1.11. Поочередным вращением рукояток реохордов аппарата К507 добейтесь нулевого показания нуль-индикатора.

1.12. Увеличьте чувствительность нуль-индикатора, нажав следующую кнопку «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ» и снова добейтесь нулевого показания нуль-индикатора.

1.13. Продолжайте уравнивание схемы до достижения максимальной чувствительности.

1.14. В случае удачного уравнивания схемы, установите переключатель « $f-R$ » в положение более низкой погрешности.

1.15. Повторите пункты 9 – 12.

1.16. Повторяйте пункты 13 – 14 до тех пор, пока уравнивание схемы станет невозможным.

1.17. Запишите отсчеты шкал аппарата на последнем переделе « $f-R$ », где уравнивание было удачным.

1.18. Отключите автоматический выключатель на стенде и нульиндикатор аппарата К507. Выньте все сетевые вилки из розеток.

1.19. Рассчитайте коэффициент трансформации трансформатора тока (см. рис. 6.1).

1.20. Вычислите значения погрешностей  $f$  (в процентах) и  $\delta$  (в угловых минутах) по формулам:

$$f = f_0 + k \cdot f_a; \quad (6.1)$$

$$\delta = \delta_0 + k \cdot \delta_a, \quad (6.2)$$

где  $f_0$  – класс точности образцового трансформатора;

$\delta_0$  – фазовая погрешность образцового трансформатора;

$f_a$  и  $\delta_a$  – отсчеты шкал аппарата К507;

$k$  – коэффициент, который необходимо найти из табл. 6.1.

Таблица 6.1

Предел	0,1%–6,5'	0,3%–20'	1%–65'	3%–200'	10%–650'
$k$	0,1	0,1	1	1	10

1.21. Сделайте выводы о классах точности исследуемых трансформаторов. Обратите особое внимание при теоретической подготовке на то, что погрешность трансформатора тока резко возрастает при увеличении нагрузки (сопротивления) во вторичной цепи, за счет большого количества подключенных приборов и реле.

## 2. Измерение амплитудной и фазовой погрешностей измерительного трансформатора напряжения

2.1. Соберите схему, изображенную на рис. 6.3, подключившись к линейному или фазному напряжению сети, в соответствии с заданием преподавателя.

**Внимание!** Важно соблюдать соответствие номинального напряжения первичной цепи трансформатора и используемого сетевого напряжения!

**Внимание!** Важно соблюдать полярность подключения вторичной цепи трансформаторов.

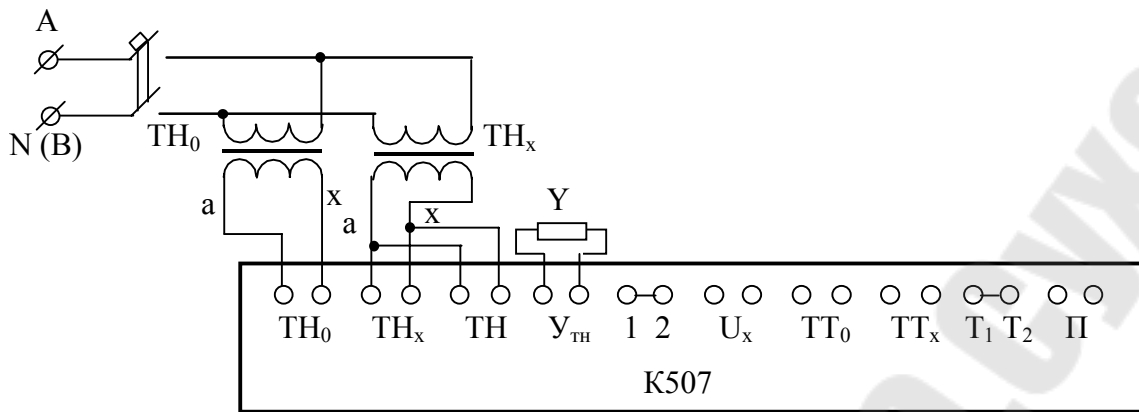


Рис. 6.3. Схема для определения амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов напряжения

2.2. Подключитесь к номинальному вторичному напряжению измерительных трансформаторов в соответствии с заданием преподавателя.

2.3. Установите переключатель пределов измерения « $I_H - U_H$ » аппарата К507 в положение, соответствующее значению номинального вторичного напряжения измерительного трансформатора.

**Внимание!** Переключение переключателя « $I_H - U_H$ » из зоны  $I_H$  в зону  $U_H$  производится при нажатой кнопке « $K_H$ ».

2.4. Установите переключатель « $f-R$ » аппарата К507 в положение, соответствующее измерению максимальной погрешности «10 %–650'».

2.5. Продемонстрируйте собранную схему преподавателю.

2.6. Включите вилку шнура питания нуль-индикатора (белый) в розетку и нажмите кнопку «СЕТЬ» аппарата К507.

2.7. Включите вилку шнура питания трехфазной сети в розетку.

2.8. Включите автоматический выключатель на стенде.

**Внимание!** Если при включении светится сигнальная лампа на аппарате К507, то автоматический выключатель следует немедленно отключить!

2.9. Включите наименьшую чувствительность нуль-индикатора нажатием крайней левой кнопки «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ» аппарата К507.

2.10. Произведите уравнивание схемы аналогично п.1.

2.11. Запишите отсчеты шкал аппарата на последнем переделе « $f-R$ », где уравнивание было удачным.

2.12. Выключите автоматический выключатель на стенде и нульиндикатор аппарата К507. Выньте все вилки из розеток.

2.13. Вычислите величины погрешностей  $f$  (в процентах) и  $\delta$  (в угловых минутах) по формулам (6.1) – (6.2).

2.14. Сделайте выводы о классах точности исследуемых трансформаторов.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, условные обозначения измерительных трансформаторов, исследуемые схемы, результаты измерений и расчетов, выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Измерительные трансформаторы напряжения. Области применения, классы точности, особенности конструктивного исполнения и основные технические характеристики. Полная векторная диаграмма измерительного трансформатора напряжения.

2. Измерительные трансформаторы тока. Области применения, классы точности, особенности конструктивного исполнения и основные технические характеристики. Полная векторная диаграмма измерительного трансформатора тока.

3. Амплитудная и фазовая погрешности измерительных трансформаторов. Физический смысл, расчетные формулы, причины возникновения погрешностей.

4. Определение амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов тока и напряжения с помощью векторных диаграмм.

5. Суть дифференциального способа поверки измерительных трансформаторов с помощью аппарата К507.

Литература: [7], [8], [9], [10].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 (4 часа)

### Тема: Проверка однофазного индукционного счетчика активной энергии

**Цель работы:** Ознакомиться с конструкцией, теорией и методикой проверки однофазных индукционных счетчиков электрической энергии.

#### Краткие теоретические сведения

*Однофазный индукционный счетчик электроэнергии* – это измерительный прибор, предназначенный для учета потребляемой электроэнергии однофазными электроприемниками.

Счетчик имеет две обмотки: обмотку напряжения и обмотку тока. Первая включается в цепь параллельно, а вторая – последовательно. Монтажная схема счетчика показана на рис. 7.1.

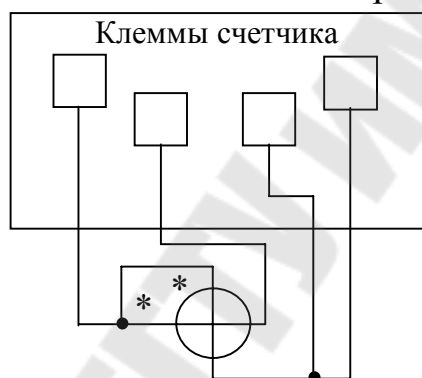


Рис. 7.1. Монтажная схема подключения однофазного индукционного счетчика

На рис. 7.1 обмотки тока и напряжения счетчика показаны в виде ваттметра, то есть обмотка тока показана горизонтальным проводом ваттметра, а обмотка напряжения – вертикальным проводом. Символ «\*» указывает на начало обмотки (полярность). Как видно из монтажной схемы, начало обмотки тока и обмотки напряжения соединены внутри счетчика и выведены на первую клемму. Вторая клемма – это конец (выход) обмотки тока. Третья и четвертая клеммы подключены к одной точке – концу обмотки напряжения. Это сделано для удобства подключения: первая и третья клеммы подключаются к распределительному щитку, а вторая и четвертая клеммы – к нагрузке.

Основным параметром счетчика является его передаточное число  $N_0$ , которое указывается на его щитке как «1 кВт·час =  $N_0$  оборотов диска». Зная  $N_0$ , можно рассчитать номинальную постоянную счетчика:

$$c_n = \frac{3600 \cdot 1000}{N_0}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{оборот}}. \quad (7.1)$$

Электроэнергия, учитываемая счетчиком, рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сч}} = c_n \cdot N_{\text{ср}}, \text{Вт} \cdot \text{с}. \quad (7.2)$$

где  $N_{\text{ср}}$  – среднее число оборотов диска счетчика за некоторый промежуток времени.

Сущность поверки индукционного счетчика заключается в сравнении его показаний с показаниями образцовых приборов – ваттметра и секундомера. Пусть  $P_d$  – показания образцового ваттметра, а  $t$  – показания секундомера. Тогда действительную электроэнергию, потребленную нагрузкой можно рассчитать по формуле:

$$W_d = P_d \cdot t, \text{Вт} \cdot \text{с}. \quad (7.3)$$

При этом поверка производится не менее чем при трех значениях мощности нагрузки с различными значениями коэффициента мощности  $\cos \varphi$  и не менее трех раз при каждом значении мощности нагрузки. Результатом поверки является относительная погрешность счетчика:

$$\delta = \frac{W_d - W_{\text{сч}}}{W_{\text{сч}}}. \quad (7.4)$$

В качестве величины  $\delta$  принимают максимальное значение погрешности среди полученных значений этой погрешности в результате всех опытов.

Счетчик пригоден к эксплуатации, если:

$$\delta \leq \delta_{\text{кл}}, \quad (7.5)$$

где  $\delta_{\text{кл}}$  – класс точности счетчика (указывается на щитке).

Важной характеристикой счетчика является **порог чувствительности**:

$$S_{\text{сч}} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{ном}}} \cdot 100, \%, \quad (7.6)$$

где:  $I_{\text{min}}$  – минимальный ток, при котором диск счетчика начинает безостановочно вращаться;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток счетчика (указывается на щитке). Значение порога чувствительности не должно превышать 0,5 % для счетчиков класса точности 1 и 2. В противном



случае, счетчик можно считать не пригодным к эксплуатации.

### Описание лабораторной установки

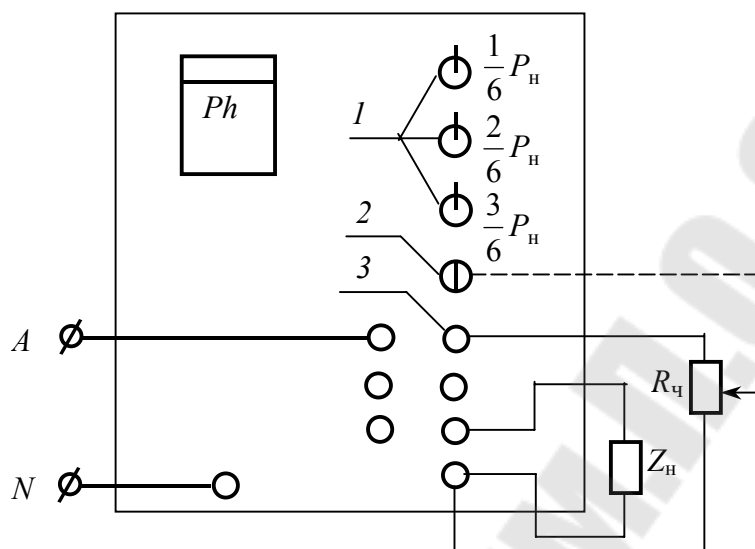


Рис. 7.2. Конструкция лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из стенда, на котором расположены клеммы напряжения 220 В, автоматический выключатель, индукционный счетчик Ph, переключатели мощности нагрузки 1, регулятор сопротивления порога чувствительности 2, клеммы для подключения схемы 3.

**Внимание!** Сопротивления  $Z_n$  и  $R_{\text{ч}}$  подключены стационарно, поэтому при сборке схемы их клеммами как промежуточными пользоваться не допускается!

### Используемое оборудование

1. Индукционный счетчик СО-И446.
2. Секундомер СТЦ-1.
3. Амперметр Э539.
4. Вольтметр Э545.
5. Образцовый ваттметр Д5004.
6. Миллиамперметр Ц4311.

### Меры по технике безопасности

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.
2. В процессе работы все соединительные провода, а также клеммы, находятся под опасным для жизни напряжением 220 В. По-

этому необходимо соблюдать максимальную осторожность при выполнении лабораторной работы. А именно: не дотрагиваться до клемм при включенном напряжении, не производить записи в черновик на столе лабораторной установки.

3. Перед началом работы убедиться, что сетевая вилка вынута из розетки.

4. В случае чрезвычайной ситуации (попадания под напряжение или при появлении дыма) последовательность действий такова:

а) отключить автоматический выключатель и вынуть все вилки из розеток;

б) позвать преподавателя.

5. При сборке схем плотно зажимать все контакты.

### Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить лабораторную установку и найти на столе требуемое оборудование.

2. Выучить наизусть меры по технике безопасности.

3. Изучить схему подключения индукционного счетчика, изображенную на его щитке, или на рис. 7.2.

4. Изучить назначение выводов и принцип определения цены деления образцового ваттметра, а также других приборов.

5. Изучить назначение органов управления секундомера.

6. Подготовить в черновике таблицу для результатов поверки счетчика, аналогичную табл. 7.1.

7. Изучить порядок выполнения работы.

Таблица 7.1

### Результаты поверки однофазного индукционного счетчика

$P_d$	$t$	$W_d$	$N$	$W_{сч}$	$W_{сч} - W_d$	$\delta$	$U$	$I$	$\cos \varphi$
Вт	с	Вт·с	Обор.	Вт·с	Вт·с	%	В	А	
$P_{д.ср} =$	$t_{ср} =$		$N_{ср} =$						
Еще 8 строк									

В таблице обозначено:

$P_d$  – показания образцового ваттметра;

$P_{д.ср}$  – среднее значение показаний ваттметра, полученных за три измерения в рамках одной и той же нагрузки;

- $t$  – время, за которое диск счетчика сделал целое число оборотов;  
 $t_{\text{ср}}$  – среднее значение промежутков времени  $t$ , полученных за три измерения при одной и той же нагрузке;  
 $W_{\text{д}}$  – действительная активная энергия, потребленная нагрузкой;  
 $N$  – количество полных оборотов диска счетчика за время  $t$ ;  
 $N_{\text{ср}}$  – среднее значение числа оборотов диска, полученное за три измерения в рамках одной и той же нагрузки;  
 $W_{\text{сч}}$  – активная энергия, учтенная счетчиком;  
 $\delta$  – погрешность учета активной энергии счетчиком;  
 $U$  – показания вольтметра;  
 $I$  – показания амперметра;  
 $\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки.

### Порядок выполнения работы

#### 1. Поверка счетчика

1.1. Соберите схему, изображенную на рис. 7.3.

**Внимание!** Токовые цепи приборов необходимо подключать на предел 5 А.

- 1.2. Нажмите кнопку предела обмотки напряжения образцового ваттметра на уровень «300 В».
- 1.3. Продемонстрируйте собранную схему преподавателю.
- 1.4. Включите секундомер.
- 1.5. Включите шнур питания трехфазной сети в розетку.
- 1.6. Выставьте с помощью тумблеров приближенное значение мощности нагрузки, в соответствии с заданием преподавателя.
- 1.7. Включите автоматический выключатель на стенде.

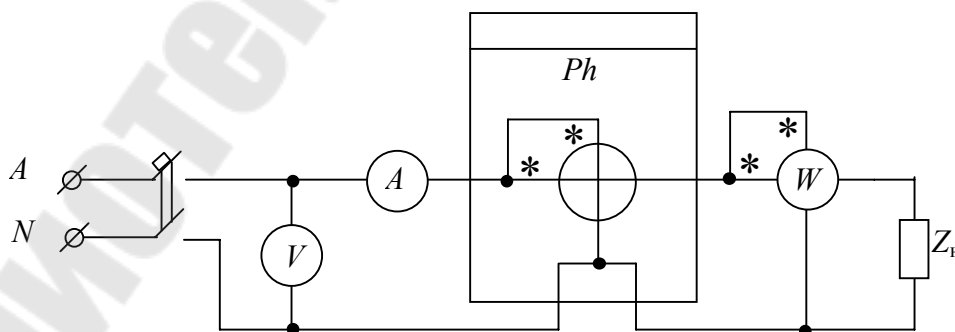


Рис. 7.3. Схема для проверки однофазного индукционного счетчика

- 1.8. Выберите целое число оборотов  $N$  диска счетчика, соответствующее времени  $t = 50 \dots 60$  секунд.

1.9. Отсчитайте точное значение времени  $t$ , соответствующее целому числу оборотов  $N$  диска счетчика, по секундомеру.

1.10. Занесите в табл. 7.1 значения величин  $t$ ,  $N$ ,  $P_d$ ,  $U$  и  $I$ .

1.11. Повторите пункты 9 – 10 еще два раза для данной нагрузки.

1.12. Отключите автоматический выключатель на стенде.

1.13. Повторите пункты 6 – 12 еще два раза, в соответствии с значениями нагрузок, заданными преподавателем.

1.14. Рассчитайте необходимые величины по формулам (7.1) ... (7.4), используя значения  $P_{д.ср}$ ,  $t_{ср}$  и  $N_{ср}$ . Результаты расчетов занесите в табл. 7.1.

1.15. Рассчитайте значения  $\cos \varphi = \frac{P_{д.ср}}{U \cdot I}$ .

1.16. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации в соответствии с соотношением (7.5).

## 2. Определение порога чувствительности счетчика

2.1. Соберите схему, изображенную на рис. 7.4.

2.2. Продемонстрируйте собранную схему преподавателю.

2.3. Поверните регулятор сопротивления  $R_{\text{ч}}$  в крайнее левое положение.

2.4. Включите автоматический выключатель на стенде.

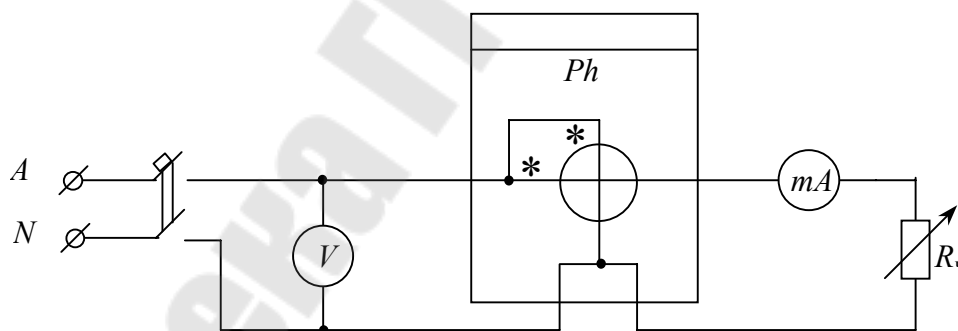


Рис. 7.4. Схема для определения порога чувствительности однофазного индукционного счетчика

2.5. Присмотритесь внимательно к диску счетчика. Если есть самоход, то дождитесь полной остановки диска (пока не произойдет взаимодействие крючка и флажка).

2.6. С помощью регулятора сопротивления  $R_{\text{ч}}$  очень медленно повышайте ток нагрузки и следите за диском счетчика. В тот момент, когда диск начнет безостановочно вращаться, зафиксируйте значение тока  $I_{\text{min}}$ .

2.7. Поверните регулятор сопротивления  $R_{\text{ч}}$  в крайнее левое положение.

2.8. Повторите пункты 5 – 7 еще два раза.

2.9. Отключите автоматический выключатель на стенде.

2.10. Вычислите среднее значение тока  $I_{\text{min}}$ .

2.11. Рассчитайте значение порога чувствительности счетчика по формуле (7.6).

2.12. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, монтажную схему счетчика, исследуемые схемы, результаты измерений и расчетов, выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Конструкция и принцип работы однофазного индукционного счетчика.

2. Векторная диаграмма и физические основы работы однофазного индукционного счетчика.

3. Тормозной и компенсационный моменты однофазного индукционного счетчика. Назначение, реализация.

4. Самоход индукционного счетчика. Причины возникновения и способы устранения.

5. Регулировки однофазного индукционного счетчика. Виды, реализация.

6. Принципы поверки и определения порога чувствительности однофазного индукционного счетчика.

Литература: [7], [9], [10].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 (4 часа)

### Тема: Проверка трехфазного индукционного счетчика активной энергии

**Цель работы:** Ознакомиться с конструкцией, теорией и методикой поверки трехфазных индукционных счетчиков электроэнергии.

#### Краткие теоретические сведения

**Трехфазный индукционный счетчик электроэнергии** – это измерительный прибор, предназначенный для учета потребляемой электрической энергии трехфазными электроприемниками. Существуют трехфазные счетчики активной и реактивной энергии.

Трехфазные счетчики бывают *двухэлементными* и *трехэлементными*. Двухэлементный счетчик имеет две пары обмоток напряжения и тока и включается в трехфазную цепь по методу двух ваттметров. Трехэлементный счетчик имеет три пары обмоток напряжения и тока и включается в трехфазную цепь по методу трех ваттметров.

Счетчик имеет обмотку напряжения и обмотку тока. Первая включается в цепь параллельно, а вторая – последовательно. Монтажная схема счетчика САЗУ – И670М показана на рис. 8.1.

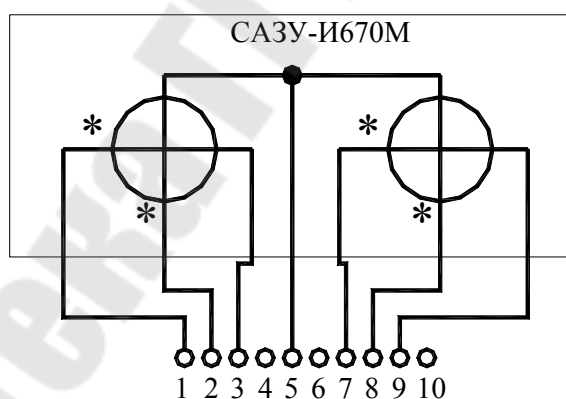


Рис. 8.1. Монтажная схема подключения счетчика САЗУ – И670М

На рис. 8.1 обмотки тока и напряжения счетчика показаны в виде ваттметра, то есть обмотка тока показана горизонтальным проводом ваттметра, а обмотка напряжения – вертикальным проводом. Символ «\*» указывает на начало обмотки.

Проверка двухэлементного трехфазного счетчика проводится аналогично проверке однофазного счетчика (см. лаб. работу № 7). Однако при этом показания образцовых ваттметров суммируются.

## Описание лабораторной установки

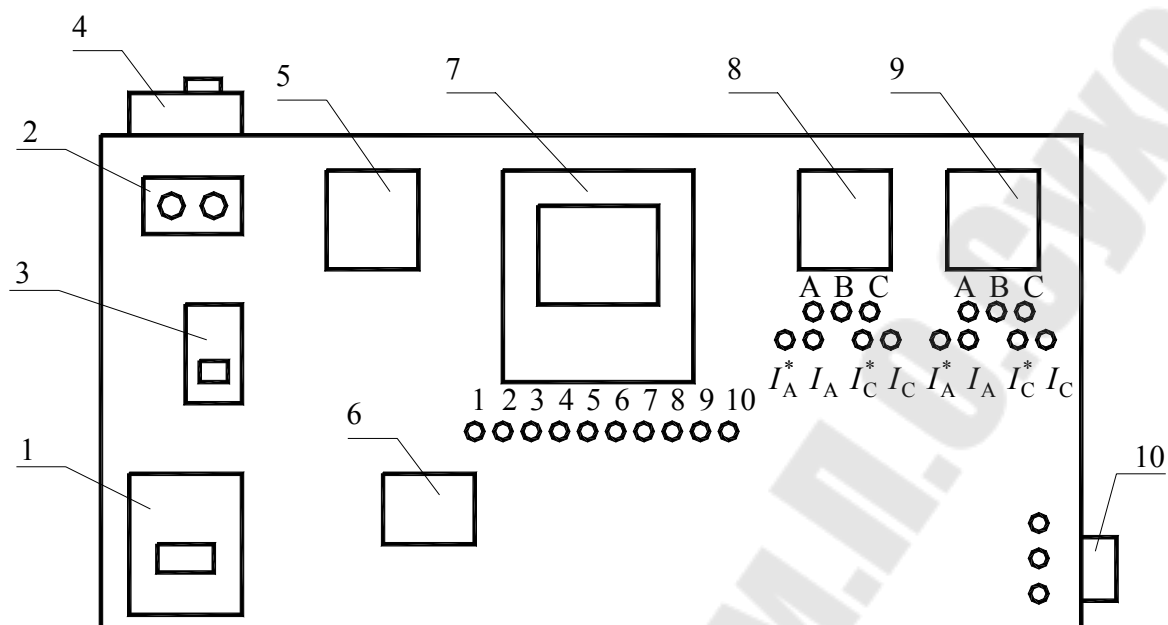


Рис. 8.2. Конструкция лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из станда, на котором расположены: клеммы трехфазного напряжения 380 В, трехфазный автоматический выключатель 1, электромагнитный пускатель 2, однофазный автоматический выключатель электромагнитного тормоза 3, регулятор тока через электромагнитный тормоз (регулируемый реостат) 4, вольтметр 5, амперметр 6, двухэлементный трехфазный счетчик активной энергии 7 и его контакты, киловаттметр 8 и его контакты, киловаттметр 9 и его контакты, розетка для подключения нагрузки 10.

Принципиальная схема лабораторной установки изображена на рис. 8.3.

Трехфазное сетевое напряжение 380 В поступает на схему лабораторной установки через автоматический выключатель  $FQ_1$ . Наличие напряжения можно контролировать с помощью вольтметра.

Непосредственно на зажимы станда напряжение подается через магнитный пускатель КМ, обмотка которого включается и становится на самоподпитку при нажатии кнопки  $SB_1$  «Пуск». При этом все контакты магнитного пускателя замыкаются.

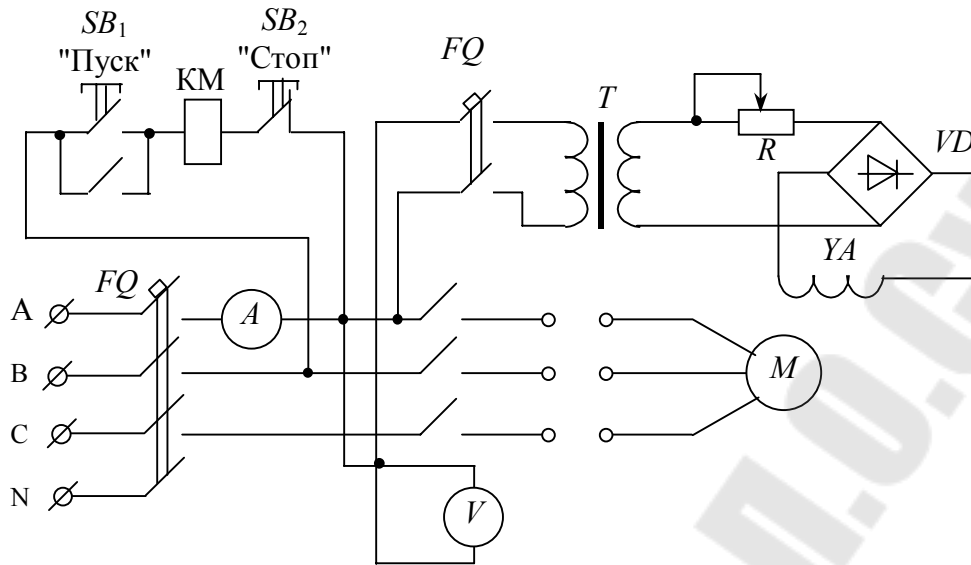


Рис. 8.3. Принципиальная схема лабораторной установки

В случае нажатия кнопки  $SB_2$  «Стоп», подача напряжения на обмотку магнитного пускателя прекращается, и его контакты размыкаются. В данном положении пускателя напряжение на зажимы стенда не поступает.

В лабораторной работе в качестве нагрузки используется асинхронный трехфазный электродвигатель  $M$ , активная составляющая тока которого может регулироваться при помощи электромагнитного тормоза (ЭМТ)  $YA$  и контролироваться с помощью амперметра. Напряжение на ЭМТ подается через автоматический выключатель  $FQ_2$ , понижающий трансформатор  $T$ , регулировочный реостат  $R$  и двухполупериодный выпрямитель  $VD$ . Таким образом, реостат  $R$  позволяет регулировать постоянный (выпрямленный) ток в обмотке ЭМТ.

Для реализации электромагнитного торможения на валу двигателя в зазоре катушек ЭМТ укреплен диск из электропроводящего материала (алюминий). Вращаясь, диск пересекает магнитное поле ЭМТ. При этом в диске наводятся вихревые токи (токи Фуко), значение которых пропорционально току ЭМТ. Вихревые токи, взаимодействуя с магнитным полем ЭМТ, создают тормозной момент, значение которого можно регулировать, изменяя ток ЭМТ.

### Используемое оборудование

1. Индукционный трехфазный счетчик САЗУ – И670М.
2. Секундомер СТЦ-1.
3. Амперметр Э8030.
4. Вольтметр Э365-1.



5. Образцовый ваттметр Д5088 – 2 шт.
6. Киловаттметр Д365.
7. Киловарметр Д365.

### **Мероприятия по технике безопасности**

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.
2. В процессе работы все соединительные провода, а также клеммы, находятся под опасным для жизни напряжением 380 В. Поэтому необходимо соблюдать максимальную осторожность при выполнении лабораторной работы. А именно: не дотрагиваться до клемм при включенном напряжении, не производить записи в черновик на столе лабораторной установки.
3. Перед началом работы убедиться, что сетевая вилка вынута из розетки.
4. В случае чрезвычайной ситуации (попадания под напряжение, при появлении дыма или звука металлического трения (звона) диска электродвигателя) последовательность действий такова:
  - а) отключить трехфазный автоматический выключатель и вынуть все вилки из розеток;
  - б) позвать преподавателя.
5. при сборке схем плотно зажимать все контакты.

### **Задание на допуск к лабораторной работе**

1. Изучить лабораторную установку, принципы ее работы, и найти на столе требуемое оборудование.
2. Выучить наизусть меры по технике безопасности.
3. Изучить схему подключения индукционного счетчика, изображенную на его щитке, или на рис. 8.1.
4. Изучить назначение выводов и принцип определения цены деления образцовых ваттметров, а также других приборов.
5. Изучить назначение органов управления секундомера.
6. Изучить ход работы.
7. Подготовить в черновике таблицу для результатов поверки счетчика, аналогичную табл. 8.1.
8. Изучить порядок выполнения работы.

Таблица 8.1

### Результаты поверки трехфазного индукционного счетчика

$P_{д1}$ , Вт	$P_{д2}$ , Вт	$t$ , с	$W_{д}$ , Вт·с	$N$ , обор.	$W_{сч}$ , Вт·с	$\delta_{сч}$ , %	$Q$ , вар	$\cos \varphi$
$P_{д1.ср} =$	$P_{д2.ср} =$	$t_{ср} =$		$N_{ср} =$				
Еще 8 строк								

В таблице обозначено:

$P_{д1}$ ,  $P_{д2}$  – соответственно показания первого и второго образцовых ваттметров (с учетом знака);

$P_{д1.ср}$ ,  $P_{д2.ср}$  – средние значения показаний ваттметров (с учетом знака), полученные за три измерения при одной и той же нагрузке;

$t$  – время, за которое диск счетчика сделал целое число оборотов;

$t_{ср}$  – среднее значение промежутков времени  $t$ , полученных за три измерения при одной и той же нагрузке;

$W_{д}$  – действительная активная электроэнергия, потребленная нагрузкой;

$N$  – количество полных оборотов диска счетчика за время  $t$ ;

$N_{ср}$  – среднее значение числа оборотов диска, полученное за три измерения при одной и той же нагрузке;

$W_{сч}$  – активная энергия, учтенная счетчиком;

$\delta_{сч}$  – погрешность учета активной электроэнергии счетчиком;

$Q$  – показания киловарметра;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки.

#### Порядок выполнения работы

1. Соберите схему, изображенную на рис. 8.4.

**Внимание!** Токовые цепи приборов необходимо подключить на предел 5 А.

2. Нажмите кнопку предела обмотки напряжения образцовых ваттметров на уровень «450 В».

3. Продемонстрируйте собранную схему преподавателю.

4. Включите питание образцовых ваттметров. В случае отсутствия светового пятна в окне ваттметра, при участии преподавателя, произведите настройку оптического блока ваттметра.

5. Установите регулировочный реостат в крайнее левое положение, соответствующее минимальной нагрузке (минимальному току ЭМТ).

6. Включите питание секундомера.

7. Включите вилку шнура питания трехфазной сети в розетку.

8. Включите трехфазный автоматический выключатель. Убедитесь по вольтметру, что напряжение подано на схему стенда.

9. Нажмите кнопку «Пуск» магнитного пускателя. При этом должен запуститься асинхронный электродвигатель. Контролируйте процесс запуска по амперметру (пусковой ток двигателя превышает 10 А). Время запуска около 2 секунд. По окончании запуска ток не должен быть более 5 А.

**Внимание!** Если после нажатия кнопки «Пуск» двигатель не запустился, а слышен низкочастотный гул, необходимо немедленно нажать кнопку «Стоп» и позвать преподавателя.

10. Включите автоматический выключатель ЭМТ.

11. Включите секундомер.

12. Установите регулировочным реостатом по киловаттметру приближенное значение мощности нагрузки в соответствии с заданием преподавателя.

13. Выберите целое число оборотов  $N$  диска счетчика, соответствующее времени  $t = 50 \dots 60$  секунд.

14. Отсчитайте по секундомеру точное значение времени  $t$ , соответствующее целому числу оборотов  $N$  диска счетчика.

15. Занесите в табл. 1 значения величин  $t$ ,  $N$ ,  $P_{д1}$ ,  $P_{д2}$  и  $Q$ . При этом значения  $P_{д1}$  и  $P_{д2}$  записывайте с учетом знака в зависимости от положения кнопки «±» ваттметров.

16. Повторите пункты 14 – 15 еще два раза для данной нагрузки.

17. Повторите пункты 12 – 15 еще два раза, в соответствии с значениями нагрузок, заданными преподавателем.

18. Установите регулировочный реостат в крайнее правое положение, соответствующее максимальной нагрузке.

19. Нажмите кнопку «Стоп» магнитного пускателя и дождитесь полной остановки двигателя.

20. Установите регулировочный реостат в крайнее левое положение и отключите автоматический выключатель ЭМТ.

21. Отключите трехфазный автоматический выключатель.

22. Отключите трехфазную сетевую вилку.

23. Спишите значение передаточного числа  $N_0$  счетчика с его щитка, обозначенное, как «1 кВт·час =  $N_0$  оборотов диска».

24. Рассчитайте необходимые величины по формулам (7.1) ... (7.4) из лабораторной работы № 7. При этом вместо  $P_{д.ср}$  используйте сумму  $P_{д1.ср} + P_{д2.ср}$ . Результаты расчетов занесите в табл. 8.1.

25. Вычислите значения  $\cos \varphi$  по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{д1.ср} + P_{д2.ср}}{\sqrt{(P_{д1.ср} + P_{д2.ср})^2 + (Q)^2}}$$

26. Занесите вычисленные значения в табл. 8.1.

27. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации в соответствии с соотношением (7.5) из лабораторной работы № 7.

### Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, монтажную схему счетчика, исследуемые схемы, результаты измерений и расчетов, выводы.

### Контрольные вопросы

1. Измерение активной энергии в трехфазных цепях. Классификация и особенности подключения трехфазных индукционных счетчиков.

2. Измерение реактивной энергии в трехфазных цепях. Классификация и особенности подключения трехфазных индукционных счетчиков.

3. Физические основы работы трехфазных индукционных счетчиков.

4. Методика поверки трехфазного индукционного счетчика.

Литература: [7], [9], [10].

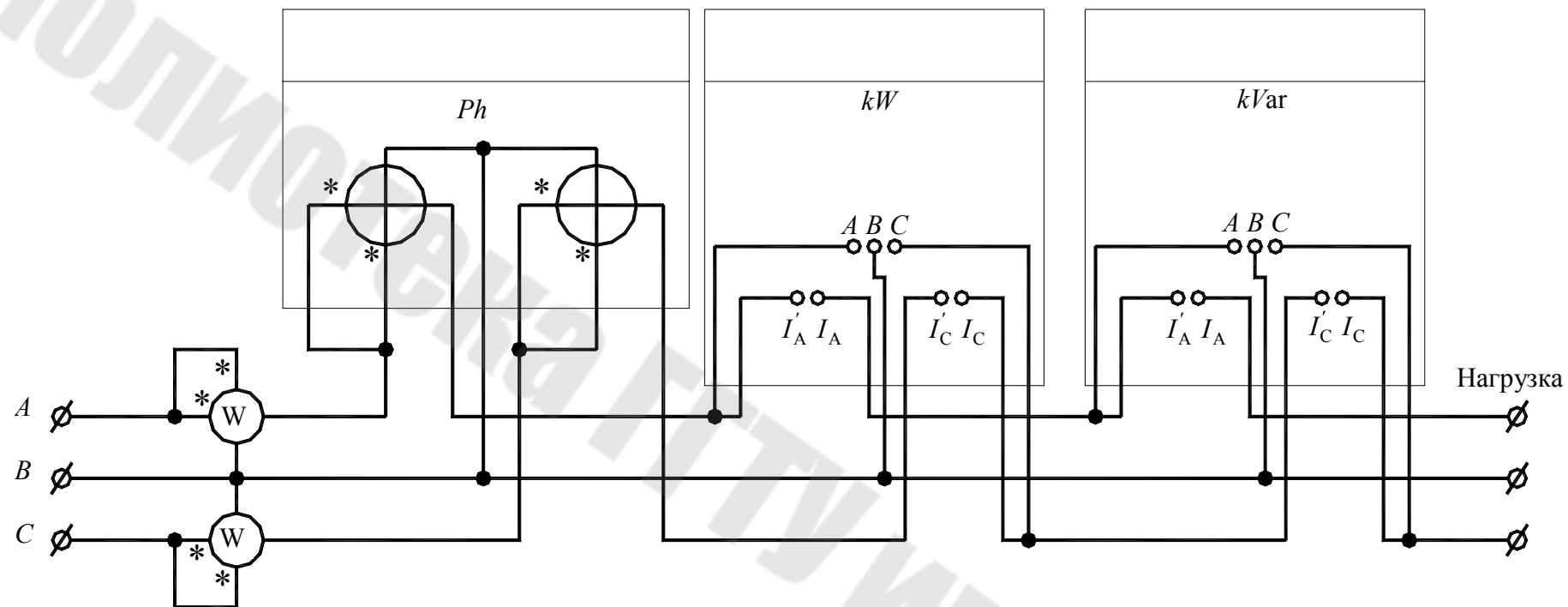


Рис. 8.4. Схема проверки трехфазного счетчика

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 (2 часа)

### Тема: Исследование цифрового сумматора и арифметическо-логического устройства (АЛУ)

**Цель работы:** Ознакомиться с принципами функционирования основного блока микропроцессора – арифметическо-логического устройства (АЛУ).

#### Краткие теоретические сведения

*АЛУ* – это основной внутренний блок (ядро) микропроцессора, выполняющий простейшие арифметические и логические операции.

Аппаратно АЛУ кроме набора логических элементов содержит многоразрядный сумматор, например, 16-ти или 32-х разрядный.

Схема простейшего одноразрядного сумматора изображена на рис. 9.1. Сумматор состоит из двух полусумматоров, каждый из которых содержит по два логических элемента: "Исключающее ИЛИ" (=1) и "И" (&).

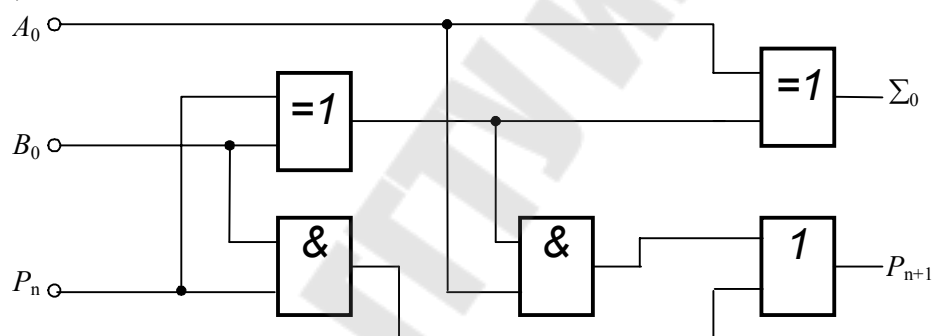


Рис. 9.1

Первый полусумматор арифметически складывает два бита: число  $B_0$  и перенос  $P_n$ . Результат суммы по модулю 2 появляется на выходе элемента «=1». В случае поступления двух логических единиц от  $B_0$  и  $P_n$  на выходе элемента «И» появляется «1». Второй полусумматор аналогично производит сложение бита суммы от первого полусумматора с битом числа  $A_0$ . В результате этого на выходе полного сумматора  $\Sigma_0$  появляется сумма 3-х бит по модулю 2 и общий перенос  $P_{n+1}$ , снимаемый с выхода логического элемента «ИЛИ» (1), который используется для передачи сигнала переполнения на следующий сумматор старшего разряда. Для сложения двух четырехразрядных чисел (операндов)  $A$  и  $B$  требуется 4 сумматора, выходы которых  $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$  отображают результат сложения, а

общий выход переноса  $P_{n+4}$  подается в следующий 5-ый разряд, в случае, если результат сложения не вписывается в 4-х разрядный формат, т.е.  $\Sigma > 15$ .

Логическая операция "ИЛИ" дизъюнкция обозначается символом  $\vee$  ( $A \vee B$ ), операция "И" конъюнкция – символом  $\wedge$  ( $A \wedge B$ ) и операция "Исключающее ИЛИ" – символом  $\oplus$  ( $A \oplus B$ ).

Таблица 9.1

**Пример выполнения арифметическо-логических операций над числами  $A = 3$  и  $B = 6$  и записью результата  $F$**

	Логические операции			Арифметические операции	
	$A \vee B$	$A \wedge B$	$A \oplus B$	$A + B$	$A - B$
$A$	0011	0011	0011	0011 (3)	0011 (3)
$B$	0110	0110	0110	0110 (6)	0110 $\rightarrow$ 1001 + 0001 = 1010 (-6)
$F$	0111	0010	0101	1001 (9)	1101 (-3) $\rightarrow$ 0010 + 0001 = 0011 (3)

Пример выполнения указанных операций над числами  $A$  и  $B$  приведен в табл. 9.1. Аналогичные операции с инверсным кодом одного из чисел обозначается черточкой, например,  $\overline{A} \wedge B$ , а если результат инверсный, то  $\overline{A \wedge B}$ .

Арифметические операции сложение (+) и вычитание (-) отображены в табл. 9.1. Для выполнения операции вычитания, например  $A - B$ , используется тот же сумматор  $A + (-B)$ , но отрицательное число  $-B$  предварительно должно быть представлено в дополнительном коде. Для этого прямой код положительного числа  $B$  инвертируют, а затем прибавляют к нему единицу (в АЛУ эта операция выполняется автоматически). Например, представить в дополнительном коде число  $B = 0110$ :

$$-B = 0110 \rightarrow \text{инв. } 1001 + 0001 = 1010.$$

Знак 1 в старшем разряде означает, что число отрицательное. Если после вычитания результат оказался отрицательным, то для представления его в положительном эквиваленте полученное число переводят из дополнительного кода в прямой код по такому же правилу, т.е. сначала число инвертируют, а затем прибавляют единицу (см. табл. 9.1).

В таблице 9.2 приведен выбор логических или арифметических операций над операндами  $A$  и  $B$ , выполняемых микросхемой К155ИПЗ (АЛУ) в зависимости от кода команды  $S$  и сигнала на входе переноса  $P_n$ .

## Выбор функций АЛУ

Код команды $S_3 S_2 S_1 S_0$		Операции над числами $A$ и $B$		
10-ый	2-ый	Логическая операция ( $M=0$ )	Арифметическая операция ( $M=1$ )	
			Функция $F$ без переноса ( $P_n=0$ )	Функция $F'$ с переносом ( $P_n=1$ )
0	0000	$\bar{A}$	$A$	$F' = F + 1$
1	0001	$\overline{A \vee B}$	$(A \vee B)$	
2	0010	$\bar{A} \wedge B$	$(A \vee \bar{B})$	
3	0011	0	-1	0
4	0100	$\overline{A \wedge B}$	$A + (A \wedge \bar{B})$	
5	0101	$\bar{B}$	$(A \vee B) + (A \wedge \bar{B})$	
6	0110	$A \oplus B$	$A - B - 1$	$A - B$
7	0111	$A \wedge \bar{B}$	$(A \wedge \bar{B}) - 1$	
8	1000	$\overline{A \vee B}$	$A + (A \wedge B)$	
9	1001	$\overline{B \oplus B}$	$A + B$	$A + B + 1$
10	1010	B	$(A \vee \bar{B}) + (A \wedge B)$	
11	1011	$A \wedge B$	$(A \wedge B) - 1$	
12	1100	-1	$A + A$	$A + A + 1$
13	1101	$A \vee \bar{B}$	$(A \vee B) + A$	
14	1110	$A \vee B$	$(A \vee \bar{B}) + A$	
15	1111	$A$	$A - 1$	$A$

Если при сложении двух чисел результат превысит 15, то на выходе переноса  $P_{n+4}$  появится единица (высвечивает светодиод). При операции вычитания, если результат оказался положительным числом, то перенос  $P_{n+4} = 1$ , что означает прямой код числа, а при отрицательном результате  $P_{n+4} = 0$  – обратный код числа. Надо иметь в виду, что в АЛУ чисто арифметических операций (сложение, вычитание) всего выполняется 3, это команды 6, 9, 12. Остальные команды совмещенные, т.е. и логические и арифметические. В табл. 9.2 в скобках обозначены логические функции.

## Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде изображены входы и выходы четырехразрядного АЛУ типа К155ИПЗ. Из двух последовательно соединенных таких АЛУ можно получить 8-ми разрядное АЛУ. На вход АЛУ подаются два операнда  $A$  и  $B$  в 4-х разрядном формате, с которыми



производятся логические или арифметические операции. Вид операции выбирается положением переключателя  $M$ . Команды на выполнение различных логических или арифметических операций задаются переключателями  $S$ . Число таких команд равно  $2^4 = 16$ . В реальных микропроцессорных системах коды команд хранятся в постоянном запоминающем устройстве ПЗУ. На вход АЛУ поступает также сигнал переноса  $P_n$  от младшего АЛУ при последовательном их соединении. С выхода АЛУ снимается код результата выполнения команды  $F$ , перенос  $P_{n+4}$ , а также результат цифрового сравнения операндов  $A > B$ ,  $A = B$ ,  $A < B$ , флаги которых обычно хранятся в регистре признаков состояния микропроцессора.

При логической операции ( $M = 0$ ) положение переключателя  $P_n$  не имеет значения, а при арифметической операции ( $M = 1$ ), если на вход переноса поступил сигнал  $P_n = 1$ , то к полученному результату при  $P_n = 0$  прибавляется единица, т. е. 0001.

### Порядок выполнения работы

#### 1. Исследование одноразрядного сумматора

Перед началом исследования по лабораторной работе № 4 необходимо изучить и практически освоить простейшие логические функции И, ИЛИ, Исключающее ИЛИ при различной комбинации входных сигналов, понимать принцип действия цифрового сумматора и назначение его входов и выходов. Включить стенд (вставить разъем питания) и последовательно нажимая на кнопки  $A_0$ ,  $B_0$ ,  $P_n$  в различной их комбинации, зарегистрировать показания выходных светодиодов  $\Sigma_0$  и  $P_{n+1}$ . Результаты регистрации заносятся в табл. 9.3, предварительно заполнив ее аналитически.

Таблица 9.3

$P_n$	Вход		Выход	
	$B_0$	$A_0$	$P_{n+1}$	$\Sigma_0$
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

## 2. Исследование АЛУ

Каждой бригаде, выполняющей данную лабораторную работу, преподаватель задает значения операндов  $A$  и  $B$  в десятичной системе счисления (диапазон чисел от 1 до 15). Студенты переводят эти числа в двоичный формат и выставляют их значения на стенде. Для этого кратковременно нажимают на кнопку "Сброс", приводя двоичные счетчики в нуль, затем последовательно нажимая на кнопочные переключатели операндов  $A$  и  $B$  по светодиодам, выставляют заданные числа. Высвечивающий светодиод означает логическую единицу.

Вначале над операндами  $A$  и  $B$  выполняют логические операции. Для этого переключатель "Вид операции" устанавливают в положение "Логич." ( $M = 0$ ), переключатель  $P_n$  может находиться в любом положении. Переключателями "Код команды"  $S_3 - S_0$  последовательно от 0 до 15 выставляют коды команд на выполнение логических операций в соответствии с табл. 9.4 и фиксируют результаты операции по показаниям светодиодов  $F_3 - F_0$ . Значения результатов записываются в табл. 9.4, где обязательно должна быть приведена теоретическая проверка результатов показаний для заданных значений  $A$  и  $B$ . В табл. 9.4 для примера приведена проверка логических операций над числами  $A = 3$  и  $B = 6$ .

Для перевода АЛУ в режим арифметических операций переключатель "Вид операции" устанавливают в положение «Арифм.»  $M = 1$  (высвечивается светодиод  $M$ ). При этом отключают переключатель «Вход переноса»  $P_n$  (светодиод  $P_n$  погашен). Не изменяя значения заданных операндов  $A$  и  $B$ , также как в первом случае последовательно выставляют коды команд переключателями  $S_3 - S_0$  и записывают показания индикатора  $F$  «Код результата». Значения полученных результатов и их проверку представляют в форме табл. 9.5, где для примера приведена проверка арифметических операций над числами  $A = 3$  и  $B = 6$ .

Для нескольких команд, например, № 3, 6, 9, 12, 15, произвести аналогичные измерения при введенном положении переключателя «Вход переноса»  $P_n = 1$ . Для этого случая убедиться, что код результата увеличивается на единицу.

В заключении для произвольных значений  $A$  и  $B$  проверить работу флагов  $A > B$ ,  $A = B$ ,  $A < B$ .

Таблица 9.4

**Логические операции ( $M = 0$ ) над числами  
 $A = 3(0011)$  и  $B = 6(0110)$**

Код команды $S$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Операция	$\overline{A}$	$\overline{A \vee B}$	$\overline{A \wedge B}$	0	$\overline{A \wedge B}$	$\overline{B}$	$A \oplus B$	$A \wedge \overline{B}$	$\overline{A \vee B}$	$\overline{A \oplus B}$	$B$	$A \wedge B$
Код результата $F$	1100	1000	0100	0000	1101	1001	0101	0001	1110	1010	0110	0010
Проверка	$\begin{array}{r} 0011 \\ 1100 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0011 \\ 0110 \\ \hline 0111 \\ 1000 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0011 \\ 1100 \\ \hline 0110 \\ 0100 \\ \hline \end{array}$	0000	$\begin{array}{r} 0011 \\ 0110 \\ \hline 0010 \\ 1101 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0110 \\ 1001 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0011 \\ 0110 \\ \hline 0101 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0110 \\ 1001 \\ \hline 0011 \\ 0001 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0011 \\ 1100 \\ \hline 0110 \\ 1110 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0011 \\ 0110 \\ \hline 0101 \\ 1010 \\ \hline \end{array}$	0110	$\begin{array}{r} 0011 \\ 0110 \\ \hline 0010 \\ \hline \end{array}$

Продолжение табл. 9.4

Код команды $S$	12	13	14	15
Операция	-1	$A \vee \overline{B}$	$A \vee B$	$A$
Код результата $F$	1111	1011	0111	0011
Проверка	перевод в пр. код $\begin{array}{r} 0000 \\ 0001 \\ \hline 0001 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0110 \\ 1001 \\ \hline 0011 \\ 1011 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 0011 \\ 0110 \\ \hline 0111 \\ \hline \end{array}$	0011

Таблица 9.5.

Арифметические операции ( $M = 1$ ) над числами  $A = 3$  и  $B = 6$   
при отсутствии сигнала на входе переноса  $P_n = 0$

Код команды $S$	0	1	2	3	4	5	6
Операция	$A$	$A \vee B$	$A \vee \bar{B}$	-1	$A + (A \wedge \bar{B})$	$(A \vee B) + (A \wedge \bar{B})$	$A - B - 11$
Код результата $F$	0011	0111	1011	1111	0100	1000	1100
Выход переноса $P_{n+1}$	0	0	0	0- доп. код	0	0	0- доп. код
Проверка	0011	из табл. 4 0111	из табл. 4 1011		из табл. 4 $(A \wedge \bar{B}) =$ $\begin{array}{r} 0\ 0\ 0\ 1 \\ 0\ 0\ 1\ 1 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 0 \end{array}$	из табл. 4 $\begin{array}{r} 0\ 1\ 1\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 1 \\ \hline 1\ 0\ 0\ 0 \end{array}$	см. табл. 1 $\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 1 \\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 0 \end{array}$ пр.код 0100 = 4 $3 - 6 - 1 = 4$

Продолжение таблицы 9.5

Код команды $S$	7 0111	8 1000	9 1001	10 1010	11 1011	12 1100	13 1101	14 1110	15 1111
Операция	$(A \wedge \bar{B}) - 1$	$A + (A \wedge B)$	$A + B$	$(A \vee \bar{B}) + (A \wedge B)$	$(A \wedge B) - 1$	$A + A$	$(A \vee B) + A$	$(A \vee \bar{B}) + A$	$A - 1$
Код результата $F$	0000	0101	1001	1101	0001	0110	1010	1110	0010
Выход переноса $P_{n+1}$	1- пр. код	0	0	0	1- пр. код	0	0	0	1- пр. код
Проверка	из табл. 4 0 0 0 1 <u>1 1 1 1</u> 0 0 0 0	из табл. 4 0 0 1 0 <u>0 0 1 1</u> 0 1 0 1	0 0 1 1 <u>0 1 1 0</u> 1 0 0 1 3+6=9	из табл. 4 1 0 1 1 <u>0 0 1 0</u> 1 1 0 1	из табл. 4 0 0 1 0 <u>1 1 1 1</u> 0 0 0 1	0 0 1 1 <u>0 0 1 1</u> 0 1 1 0 3+3=6	из табл. 4 0 1 1 1 <u>0 0 1 1</u> 1 0 1 0	из табл. 4 1 0 1 1 <u>0 0 1 1</u> 1 1 1 0	0 0 1 1 <u>1 1 1 1</u> 0 0 1 0 3-1=2

69

Примечание: при наличии сигнала на входе переноса  $P_n = 1$  к результатам операций по табл. 9.5 прибавляется единица (0001)

## Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, схему одноразрядного сумматора, результаты исследований и расчетов, выводы.

## Контрольные вопросы

1. Правила простейших логических операций: конъюнкции и дизъюнкции.
2. Правила арифметического сложения и вычитания двоичных чисел.
3. Принцип работы одноразрядного сумматора.
4. Назначение и принципы работы АЛУ.

Литература: [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лачин, В.И. Электроника /В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 703 с.
2. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение /И.А. Воронин. – Москва: Додэка-XXI, 2005. – 380 с.
3. Кучумов, А.И. Электроника и схемотехника /А.И. Кучумов. – Москва: Гелиос АРВ, 2004. – 335 с.
4. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника /Ю.С. Забродин. – М.: Высшая школа, 1982. – 496 с.
5. Жеребцов, И.П. Основы электроники /И.П. Жеребцов. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
6. Кузин, А.В. Микропроцессорная техника. /А.В. Кузин, М.А. Жаворонков. – М.: Академия, 2004. – 304 с.
7. Атамалян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. /Э.Г. Атамалян. – М.: ООО «Дрофа», 2005. – 415 с.
8. Брускин, Д.Э. Электрические машины /Д.Э. Брускин, А.Е. Зохорович, В.С. Хвостов. – Москва: Высшая школа, ч.1, 1987, – с. 137 – 141.
9. Электрические измерения. /под ред. А.В. Фремке, – Ленинград: Энергия, 1980. – 252 с.
10. Электрические измерения. /под ред. В.Н. Малиновского, – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 313 с.
11. Шишмарев, В.Ю. Электрорадиоизмерение. – М.: Центр "Академия", 2004. – 327 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1 "Исследование полупроводниковых диодов, тиристоров и транзисторов" .....	3
Лабораторная работа 2 "Исследование неуправляемых выпрямителей, сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения" .....	11
Лабораторная работа 3 "Исследование функциональных элементов на операционном усилителе" .....	18
Лабораторная работа 4 "Исследование логических и функциональных элементов на цифровых интегральных микросхемах" ...	26
Лабораторная работа 5 "Исследование цифро-аналоговых и аналогово-цифровых преобразователей" .....	34
Лабораторная работа 6 "Поверка измерительных трансформаторов тока и напряжения" .....	40
Лабораторная работа 7 "Поверка однофазного индукционного счетчика активной энергии" .....	47
Лабораторная работа 8 "Поверка трехфазного индукционного счетчика активной энергии" .....	54
Лабораторная работа 9 "Исследование цифрового сумматора и арифметическо-логического устройства (АЛУ) .....	62
Литература .....	71



**Курганов Владимир Васильевич  
Зализный Дмитрий Иванович**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА  
И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА**

**Лабораторный практикум  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-43 01 07 «Техническая  
эксплуатация энергооборудования организаций»**

Подписано в печать 10.06.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,32.

Изд. № 198.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.