

**Министерство образования Республики Беларусь**

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

**Кафедра «Электроснабжение»**

**Д. И. Зализный**

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

**ПРАКТИКУМ**

**по выполнению лабораторных работ  
для студентов специальностей**

**1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»  
и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»  
дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2019**

УДК 621.396.6(075.8)  
ББК 32.859я73  
3-22

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 3 от 27.11.2018 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированные электроприводы» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *В. В. Тодарев*

- Зализный, Д. И.**  
3-22      Электроника и информационно-измерительная техника : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. и заоч. форм обучения / Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 84 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: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначен для выполнения лабораторных работ по первой части дисциплины «Электроника и информационно-измерительная техника». Предлагаются работы по диодам, транзисторам, выпрямителям, аналоговым и цифровым электронным схемам.

Для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.396.6(075.8)  
ББК 32.859я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2019

## Содержание

Лабораторная работа №1 «Полупроводниковые диоды».....	4
Лабораторная работа №2 «Транзисторы и тиристоры».....	13
Лабораторная работа №3 «Выпрямители».....	24
Лабораторная работа №4 «Сглаживающие фильтры и стабилизаторы напряжения».....	32
Лабораторная работа №5 «Функциональные элементы на операционном усилителе».....	38
Лабораторная работа №6 «Функциональные элементы на цифровых интегральных микросхемах».....	50
Лабораторная работа №7 «Цифро-аналоговые и аналогово-цифровые преобразователи».....	63
Лабораторная работа №8 «Арифметическо-логическое устройство».....	73
Лабораторная работа №9 «Множительный блок комбинационного типа».....	79
Литература .....	84

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

**Цель работы:** изучить принципы работы диодов, стабилитронов, светодиодов и фотодиодов 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 в направлении от  $p$ -слоя к  $n$ -слою намного лучше, чем в обратном направлении. Диод имеет два электрода – анод и катод.

В рабочем режиме диоды характеризуются напряжением отпирания  $U_{отп} \approx 0,1$  В и напряжением насыщения  $U_{нас} \approx 0,8$  В (рис. 1.1, а).

Классические диоды бывают выпрямительные (большой и средней мощности) и импульсные (малой мощности).

**Стабилитрон** – это диод, функционирующий в условиях электрического пробоя обратносмещённого  $p$ - $n$  перехода и обладающий способностью стабилизировать постоянное напряжение (рис. 1.1, б).

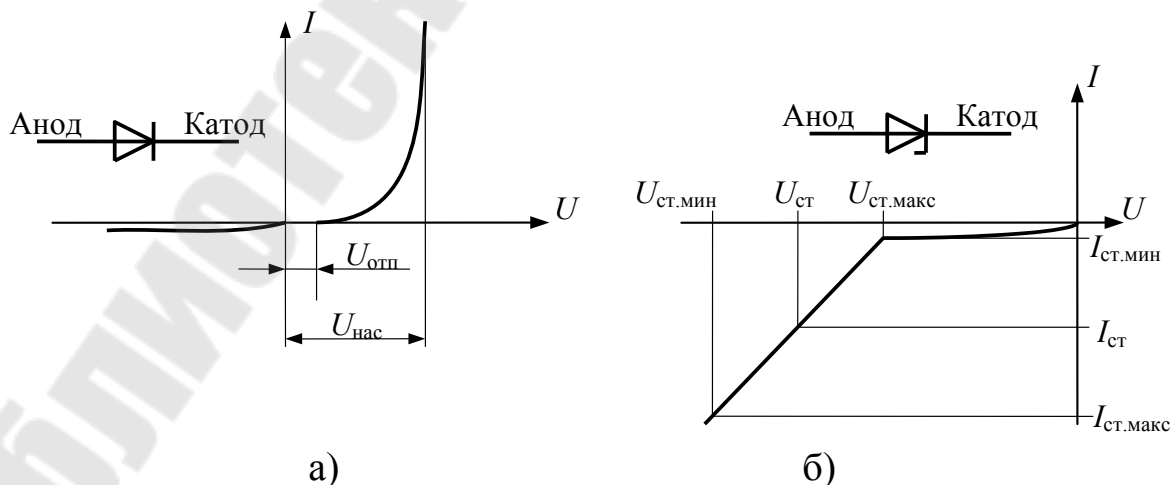


Рис. 1.1. Условные обозначения и вольт-амперные характеристики:  
а – диод; б – стабилитрон

**Светодиод** – это диод (рис. 1.2, а), способный излучать свет в режиме прямого смещения  $p$ - $n$  перехода. Чем выше ток, тем ярче светится светодиод. Вольт-амперная характеристика светодиода подобна характеристике классического диода, но напряжение насыщения  $U_{\text{нас}}$  может достигать 3 В.

Светодиоды применяются в приборах в качестве сигнальных элементов, как источники света, а также в качестве элементов цифровых индикаторов и дисплеев. Схема стандартного семисегментного индикатора приведена на рис. 1.3.

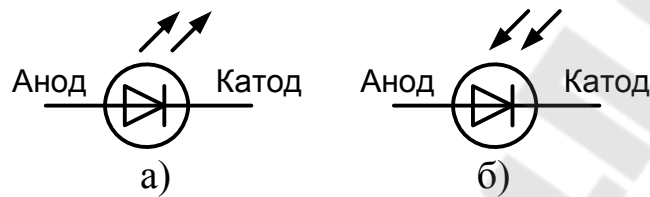


Рис. 1.2. Условные обозначения: а – светодиод; б - фотодиод

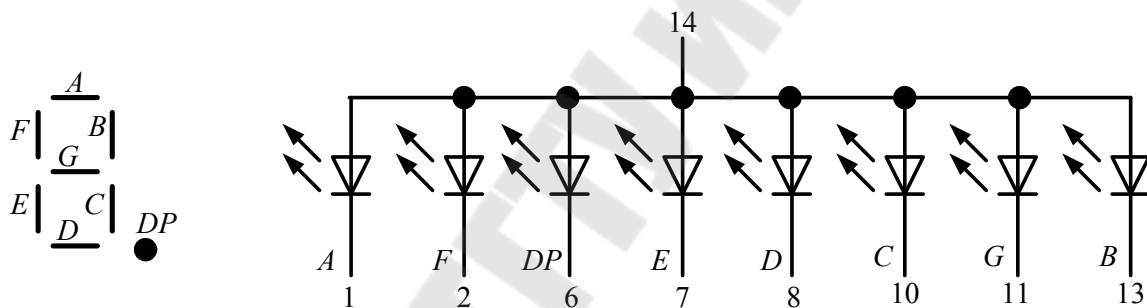


Рис. 1.3. Схема светодиодного индикатора типа АЛС 324 Б

**Фотодиод** – это диод (рис. 1.2, б), значение обратного тока через который существенно зависит от интенсивности светового излучения  $\Phi$ , попадающего на  $p$ - $n$  переход (режим фотопроводимости на рис. 1.4). Чем выше значение  $\Phi$ , тем выше обратный ток фотодиода

Фотодиод способен также генерировать ЭДС под действием светового излучения (режим генерации на рис. 1.4). На основе этой зависимости функционируют фотоэлементы и фотоэлектростанции на их основе.

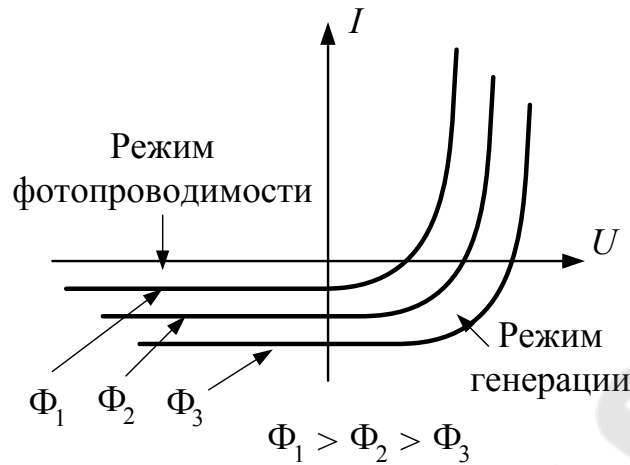


Рис. 1.4. Семейство вольт-амперных характеристик фотодиода

### Описание лабораторной установки

На лицевой панели лабораторного стенда расположены два миллиамперметра, гнезда и необходимые элементы для проведения измерений (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Внешний вид лабораторного стенда

Миллиамперметр  $PA_1$  имеет диапазон измерений от 0 до 1 мА, а миллиамперметр  $PA_2$  – от 0 до 100 мА. **Внимание!** Во время измере-

ний следите, чтобы стрелки миллиамперметров не отклонялись за пределы шкалы.

Напряжение, подаваемое в собранную для исследований схему, можно изменять, вращая регулятор переменного резистора  $R_1$ .

Резисторы  $R_2$ ,  $R_3$  предназначены для ограничения токов через исследуемые элементы.

Элементы, имеющиеся на лабораторном стенде для проведения исследований, перечислены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Электронные элементы для исследований

Обозначение	Тип элемента
$VD_1$	Импульсный диод
$VD_2$	Выпрямительный диод
$VD_3$	Стабилитрон
$HL_1$	Светодиод красного свечения
$HL_2$	Светодиод зелёного свечения
$BL$	Фотодиод (фотоэлемент)
$HG$	Светодиодный индикатор

В качестве фотодиода используется фотоэлемент, расположенный в верхней части стенда.

Питание стенда осуществляется от разъёма на задней панели и включается тумблером на правой панели.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя полупроводниковых элементов перед сборкой схемы питание стенда должно быть отключено тумблером!

**Внимание!** Все схемы должен проверить преподаватель! При разборке схемы извлекайте гибкие перемычки за основания штырей!

Для выполнения работы помимо лабораторного стенда необходим также цифровой вольтметр.

### Порядок выполнения работы

#### *Исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) диодов*

1. Соберите схему для исследования начального участка прямой ветви ВАХ импульсного диода  $VD_1$ , приведенную на рис. 1.6.

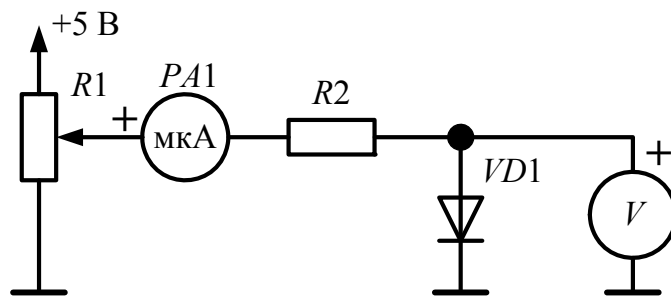


Рис. 1.6. Схема для исследования начального участка ВАХ диода

2. Установите регулятор переменного резистора  $R_1$  в положении «Минимум» и включите питание стенда.

3. Постепенно увеличивая входное напряжение, записывайте показания миллиамперметра и вольтметра в таблицу до тех пор, пока значение тока не достигнет максимума. Запишите не менее 10 точек.

4. В отчёте постройте график начального участка прямой ветви ВАХ диода. Определите напряжение отпираания диода (рис. 1.1, а).

5. Установите регулятор переменного резистора  $R_1$  в положении «Минимум», отключите питание стенда и разберите схему.

6. Соберите схему для исследования основного участка прямой ветви ВАХ диода, приведенную на рис. 1.7.

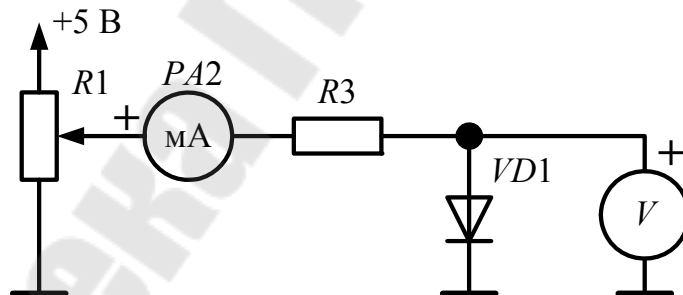


Рис. 1.7. Схема для исследования основного участка ВАХ диода

7. Повторите пункты 2-3.

8. В отчёте постройте график основного участка прямой ветви ВАХ диода. Определите напряжение насыщения диода (рис. 1.1, а).

9. При отключенном питании поменяйте местами провода, подключенные к диоду. Подайте питание и установите максимальное напряжение. Убедитесь, что обратный ток через диод не протекает.

10. Повторите пункты 1-8 для выпрямительного диода  $VD_2$ .



### Исследование ВАХ стабилитрона

11. Соберите схему для исследования рабочей ветви ВАХ стабилитрона  $VD_3$ , приведенную на рис. 1.8. Обратите внимание, что стабилитрон должен быть включен на обратный ток.

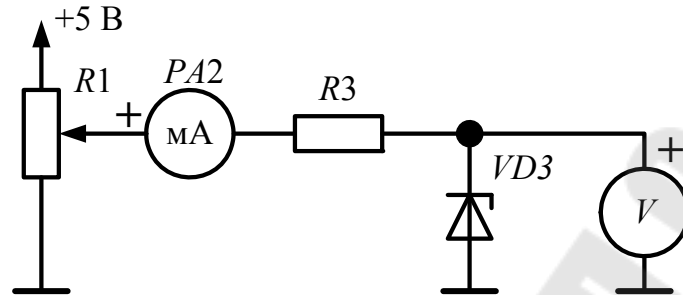


Рис. 1.8. Схема для исследования рабочего участка ВАХ стабилитрона

12. Медленно повышая напряжение, убедитесь, что ток через стабилитрон вначале отсутствует, так как пробоя  $p-n$  перехода не происходит.

13. При появлении обратного тока начинайте записывать показания приборов. Запишите не менее 10 точек.

14. В отчёте постройте график рабочей ветви ВАХ стабилитрона. Определите все параметры напряжения и тока стабилизации в соответствии с рис. 1.1, б.

15. Установите регулятор переменного резистора  $R_1$  в положении «Минимум», отключите питание стенда и разберите схему.

### Исследование ВАХ светодиодов

16. Соберите схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода  $HL_1$ , приведенную на рис. 1.9.

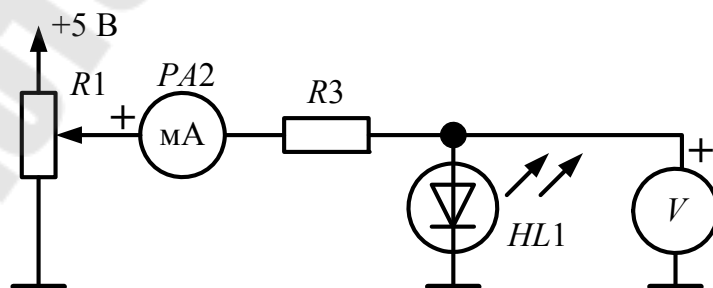


Рис. 1.9. Схема для исследования прямой ветви ВАХ светодиода

17. Проведите измерения во всём диапазоне подаваемого напряжения, записав не менее 10 точек.

18. В отчёте постройте график прямой ветви ВАХ светодиода. Определите напряжение насыщения светодиода (рис. 1.1, а). Сравните это значение с напряжениями насыщения импульсного и выпрямительного диодов.

19. При отключенном питании поменяйте местами провода, подключенные к светодиоду. Подайте питание и установите максимальное напряжение. Убедитесь, что светодиод в этом случае не светится.

20. Установите регулятор переменного резистора  $R_1$  в положении «Минимум», отключите питание стенда и разберите схему.

21. Повторите пункты 16-20 для светодиода  $HL_2$ .

#### *Исследование работы светодиодного индикатора*

22. Соберите схему, приведенную на рис. 1.10.

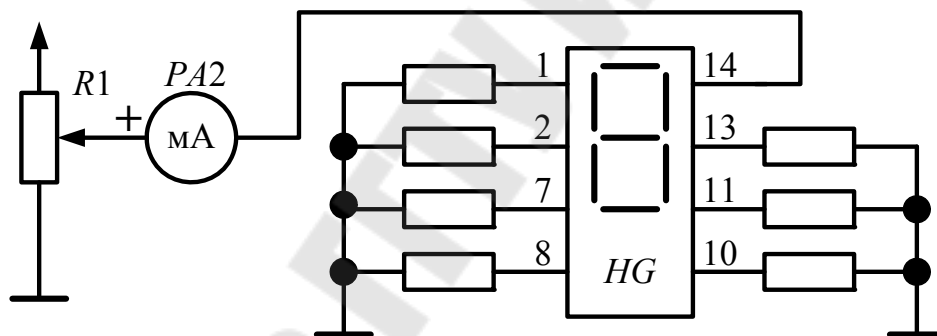


Рис. 1.10. Схема для исследования светодиодного индикатора

23. Сравните собранную схему со схемой, приведенной на рис. 1.3. Продумайте, как должна работать собранная схема. При необходимости обратитесь за разъяснениями к преподавателю.

24. Включите питание стенда и подайте максимальное напряжение. Опишите наблюдаемый результат и запишите показания миллиамперметра.

25. При отключенном питании измените схему таким образом, чтобы на индикаторе отображалась какая-нибудь цифра от 0 до 7. Для этого внимательно рассмотрите схему на рис. 1.3 и продумайте, на какие через какие светодиоды должен протекать ток.

26. Включите питание стенда и убедитесь, что схема работает верно.

27. Отключите стенд, разберите схему.
28. Зарисуйте в черновик и отчёт полученную схему и опишите в отчёте принцип её работы.

#### *Исследование ВАХ фотодиода*

29. Соберите схему для исследования обратной ветви ВАХ фотодиода, приведенную на рис. 1.11. Обратите внимание, что фотодиод должен быть включен на обратный ток.

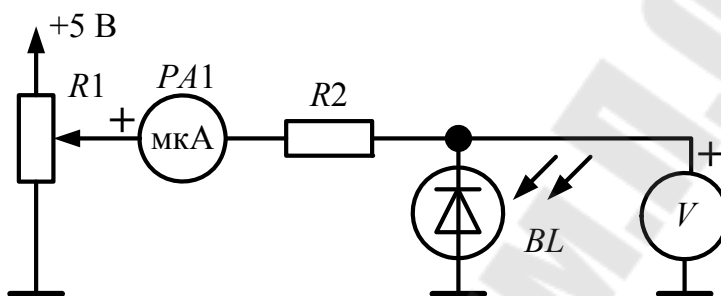


Рис. 1.11. Схема для исследования обратной ветви ВАХ фотодиода

30. При попадании света на фотоэлемент ещё до включения питания стенда показания миллиамперметра  $PA_1$  должны отличаться от нуля.
31. Откройте полностью шторы на ближайшем к лабораторному стенду окне.
32. Включите питание стенда и запишите не менее 10 точек для обратной ветви ВАХ. При проведении измерений старайтесь, чтобы световой поток, попадающий на окно фотоэлемента, не изменялся значительно. Если во время измерений резко изменится освещённость, или на фотоэлемент попадёт тень, то измерения нужно повторить заново.
33. Закройте окно фотоэлемента и повторите п. 32.
34. Отключите стенд, разберите схему.
35. Постройте в отчёте оба графика на одной диаграмме.

#### *Исследование фотодиода в режиме генерации*

36. Соберите схему, приведенную на рис. 1.12. Для проведения измерений питание стенда включать не нужно.

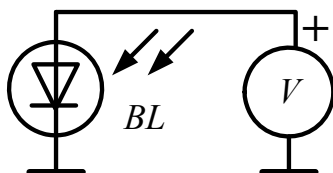


Рис. 1.12. Схема для исследования фотодиода в режиме генерации

37. Измерьте и запишите значение напряжения, генерируемого фотодиодом в режиме холостого хода при различных уровнях освещения (при полностью открытых шторах, частично и полностью закрытых шторах).

38. Повторите п. 37., подключив в качестве нагрузки резистор  $R_2$ .

39. Повторите п. 37., подключив в качестве нагрузки резистор  $R_3$ . Сделайте выводы по результатам измерений.

### Содержание отчёта

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, схема опыта, фотографии (по желанию), краткие комментарии к проведению измерений, результаты измерений, графики, выводы по результатам измерений, название следующего опыта, и так далее.

### Контрольные вопросы

1. Физические принципы функционирования  $p-n$  перехода.
2. Разновидности, основные параметры и области применения классических диодов.
3. ВАХ диода и её характерные участки.
4. Назначение, ВАХ и основные параметры стабилитрона.
5. Принципы действия, ВАХ и области применения светодиодов.
6. Принципы работы светодиодных индикаторов.
7. Принципы действия, ВАХ и области применения фотодиодов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ТРАНЗИСТОРЫ И ТИРИСТОРЫ

**Цель работы:** Изучить принципы работы биполярных и полевых транзисторов на основе их вольтамперных характеристик.

### Краткие теоретические сведения

**Транзистор** – это элемент электроники, способный усиливать электрический ток или выполнять функцию электронного (бесконтактного) ключа.

**Биполярный транзистор** выполняют на основе двух  $p-n$  переходов. Он имеет три электрода: базу, коллектор и эмиттер. В зависимости от конструкции биполярные транзисторы бывают  $n-p-n$  и  $p-n-p$  типа.

Условное обозначение и семейство вольтамперных (ВАХ) характеристик биполярного транзистора типа  $n-p-n$  показаны на рис. 2.1 (б – выходные ВАХ; в – входная ВАХ).

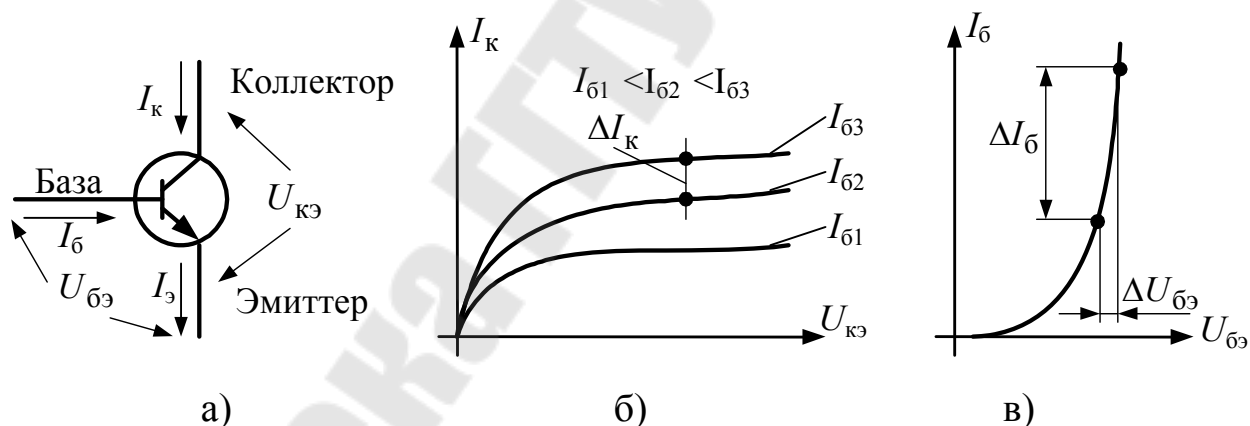


Рис. 2.1 Биполярный транзистор типа  $n-p-n$ :  
а – условное обозначение, б – выходные ВАХ, в – входная ВАХ

Основными параметрами биполярных транзисторов является система так называемых  $h$  – параметров, определяемая в соответствии с уравнением в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \Delta U_{бэ} \\ \Delta I_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta I_б \\ \Delta U_{кэ} \end{bmatrix},$$

где наиболее важны параметры:  $h_{11}$  - входное сопротивление транзистора, Ом;  $h_{21}$  - коэффициент передачи тока коллектора транзистора. Эти параметры можно найти по формулам:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} \text{ при } \Delta U_{\text{кэ}} = \text{const}; \quad (2.1)$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} \text{ при } \Delta U_{\text{кэ}} = \text{const}. \quad (2.2)$$

У биполярного транзистора наименьшим является ток базы, а наибольшим – ток эмиттера.

**Полевой транзистор с изолированным затвором** – это элемент электроники, выполненный на основе конструкции «металл - диэлектрик - полупроводник» (МДП), работающий по принципу сопротивления, управляемого напряжением, и имеющий три электрода: затвор, сток и исток.

Условное обозначение полевого транзистора с изолированным затвором и индуцируемым  $n$ -каналом, а также его ВАХ приведены на рис. 2.2.

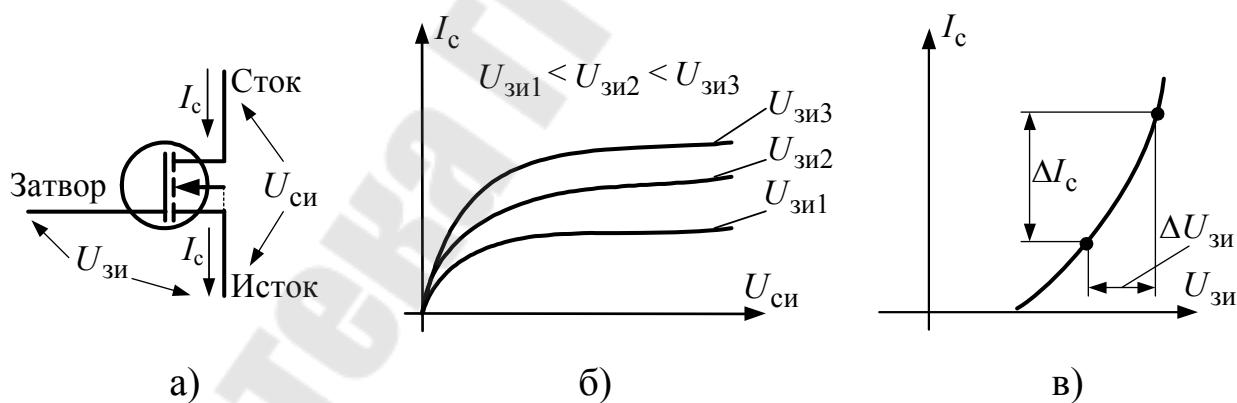


Рис. 2.2 Полевой транзистор с  $n$ -каналом:  
а – условное обозначение, б – выходные ВАХ, в – входная ВАХ

Основным параметром полевого транзистора является крутизна сток-затворной характеристики (входной ВАХ), определяемая по формуле:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \text{ при } U_{си} = const. \quad (2.3)$$

У полевого МДП-транзистора ток в цепи затвора практически равен нулю.

**Тиристор** – это элемент электроники, состоящий из трёх  $p-n$  переходов и выполняющий функцию управляемого диода, электронного (бесконтактного) ключа. Тиристор имеет три электрода: анод, катод и управляющий электрод. Условное обозначение и семейство ВАХ тиристора показаны на рис. 2.3.

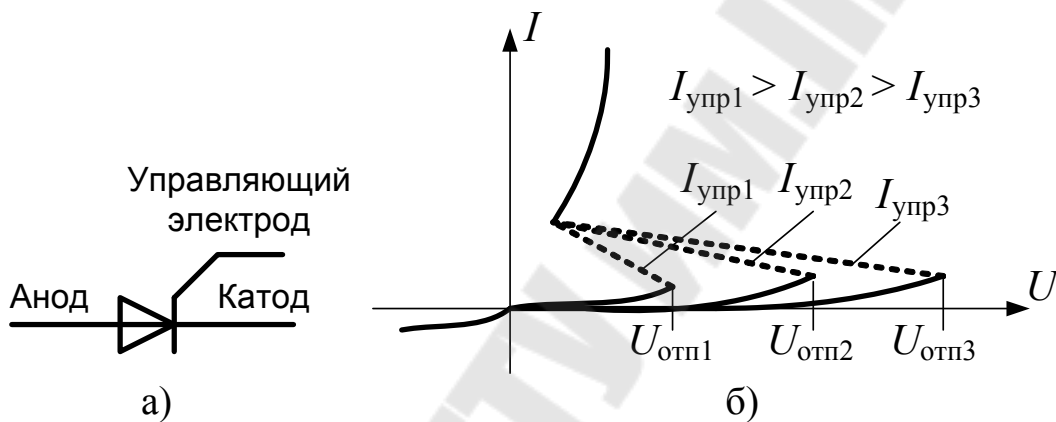


Рис. 2.3 Однооперационный тиристор:  
а – условное обозначение; б – семейство ВАХ

Однооперационные тиристоры могут быть только открыты по цепи управляющего электрода, а двухоперационные – как открыты, так и закрыты.

Для того, чтобы закрыть однооперационный тиристор, необходимо снижать ток в его цепи анод-катод до некоторого минимального значения, которое называется **током удержания**. Если ток в цепи анод-катод меньше тока удержания, то тиристор закрывается скачком.

**Симистор** – это тиристор, проводящий ток в обе стороны. Симистор имеет три электрода, которые называются: первый силовой электрод, второй силовой электрод, управляющий электрод. Условное обозначение и семейство ВАХ тиристора показаны на рис. 2.4.

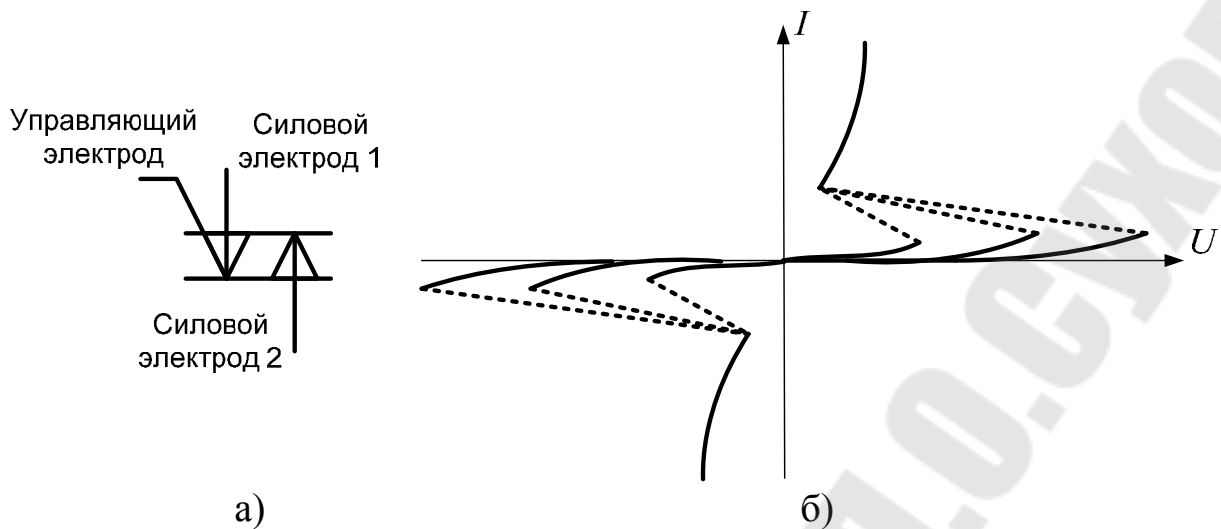


Рис. 2.4 Симистор:  
а – условное обозначение; б – семейство ВАХ

### Описание лабораторной установки

На лицевой панели лабораторного стенда (рис. 2.5) размещены исследуемые полупроводниковые элементы: биполярный транзистор  $n-p-n$   $VT_1$ , биполярный транзистор  $p-n-p$   $VT_2$ , полевой транзистор с изолированным затвором и  $n$ -каналом  $VT_3$ , однооперационный тиристор  $VS_1$ , симистор  $VS_2$ .

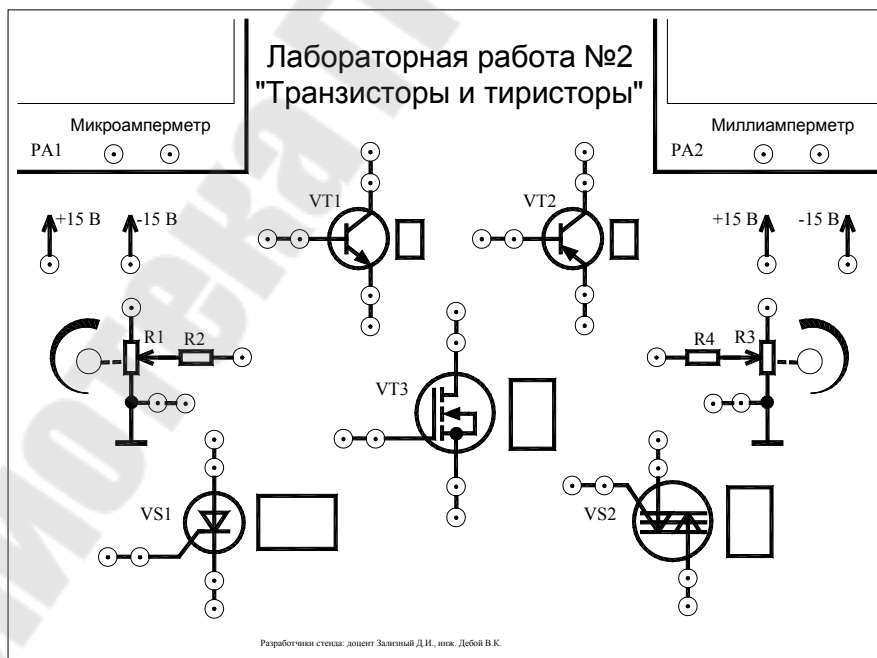


Рис. 2.5 Внешний вид лицевой панели лабораторного стенда



Непосредственно изучаемые элементы можно рассмотреть через прозрачные окна на лицевой панели стенда.

В стенд встроены два измерительных прибора: микроамперметр  $PA_1$  и миллиамперметр  $PA_2$ . Оба прибора реализованы на основе мультиметров.

Напряжения на исследуемые элементы можно подавать с помощью переменных резисторов  $R_1$ ,  $R_3$  через токоограничивающие резисторы  $R_2$ ,  $R_4$ .

Питание стенда осуществляется от разъёма на задней панели и включается двумя тумблерами на боковой панели. После включения питания на стенде относительно общей точки должно присутствовать два напряжения: +15 В и -15 В.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя полупроводниковых элементов перед сборкой схемы питание стенда должно быть отключено тумблерами!

**Внимание!** Все схемы должен проверить преподаватель! При разборке схемы извлекайте гибкие перемычки за основания штырей!

Для выполнения работы помимо лабораторного стенда необходим также цифровой вольтметр.

### Порядок выполнения работы

*Исследование работы биполярного транзистора типа  $n-p-n$*

1. Соберите схему для исследования семейства выходных ВАХ биполярного транзистора  $VT_1$ , показанную на рис. 2.6.

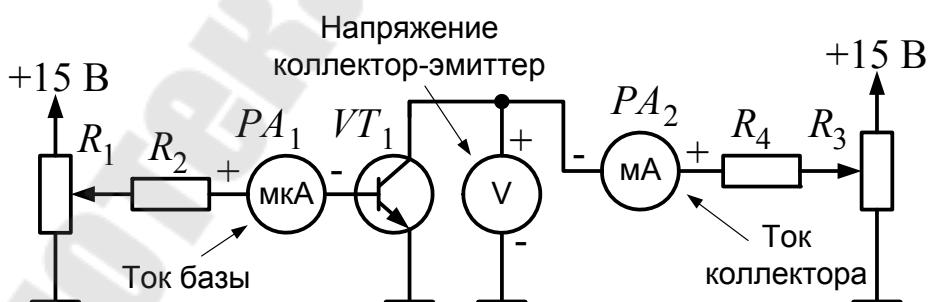


Рис. 2.6 Схема для исследования биполярного транзистора типа  $n-p-n$

2. Установите переменные резисторы  $R_1$ ,  $R_3$  в положение «минимум».

3. Включите стенд и с помощью резистора  $R_1$  установите любое значение тока базы  $I_{\text{б1}}$  транзистора, не превышающее 500 мкА.

4. Изменяя напряжение коллектор-эмиттер  $U_{\text{кэ}}$  транзистора с помощью резистора  $R_3$  от нулевого значения до максимального, записывайте значения тока коллектора  $I_{\text{к}}$  транзистора. Результаты измерений занесите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений семейства выходных ВАХ

$U_{\text{кэ}}, \text{В}$									
$I_{\text{к}}, \text{мА}$ при	$I_{\text{б1}} =$								
	$I_{\text{б2}} =$								
	$I_{\text{б3}} =$								
	$I_{\text{б4}} =$								

5. Установите новый ток базы  $I_{\text{б2}}$  транзистора (не более 500 мкА) и повторите измерения, записывая результаты в табл. 2.1.

6. Повторите измерения ещё при двух значениях тока базы транзистора.

7. В отчёте постройте семейство выходных ВАХ транзистора  $I_{\text{к}}(U_{\text{кэ}})$  на одном графике. Для среднего значения напряжения  $U_{\text{кэ}}$  рассчитайте для каждой кривой семейства ВАХ коэффициент передачи тока коллектора транзистора по формуле (2.2) в соответствии с рис. 2.1, б. Рассчитайте среднее значение этого коэффициента.

8. Переключите вольтметр для измерения напряжения между базой и эмиттером  $U_{\text{бэ}}$  транзистора  $VT_1$ .

9. Установите резистор  $R_3$  в положение «максимум».

10. Изменяя сопротивление  $R_1$  от минимального значения, снимите входную ВАХ транзистора, то есть зависимость тока базы  $I_{\text{б}}$  (не более 500 мкА) от напряжения  $U_{\text{бэ}}$ . Результаты измерений занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты измерений входной ВАХ

$U_{\text{бэ}}, \text{В}$							
$I_{\text{б}}, \text{мкА}$							

11. Установите переменные резисторы  $R_1$ ,  $R_3$  в положение «минимум» и отключите стенд.

12. В отчёте постройте входную ВАХ транзистора. Рассчитайте значение входного сопротивления транзистора в соответствии с формулой (2.1) и рис. 2.1, в.

*Исследование работы биполярного транзистора типа p-n-p*

13. Соберите схему для исследования семейства выходных ВАХ биполярного транзистора  $VT_2$ , показанную на рис. 2.7.

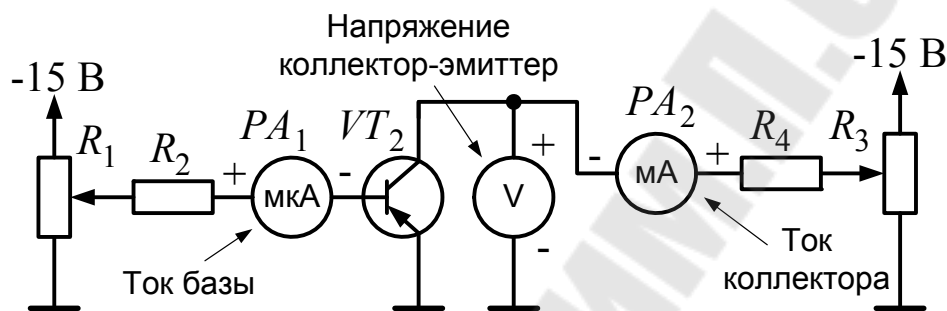


Рис. 2.7 Схема для исследования биполярного транзистора типа p-n-p

14. Снимите семейство выходных ВАХ и входную ВАХ транзистора. Для этого повторите пункты 2-12. Обратите внимание, что значения всех измеряемых напряжений и токов должны быть отрицательными.

*Исследование работы полевого транзистора*

15. Соберите схему для исследования семейства выходных ВАХ полевого транзистора  $VT_3$ , показанную на рис. 2.8. При наличии только одного вольтметра, этот вольтметр нужно переключать в нужные точки измерения.

16. Установите переменные резисторы  $R_1$ ,  $R_3$  в положение «минимум».

17. Включите стенд и с помощью резистора  $R_1$  установите любое значение напряжения затвор-исток  $U_{зи1}$  транзистора, не ниже 5 В.

18. Изменяя напряжение сток-исток  $U_{си}$  транзистора с помощью резистора  $R_3$  от нулевого значения до максимального, записывайте значения тока стока  $I_c$  транзистора. Результаты измерений занесите в табл. 2.3.

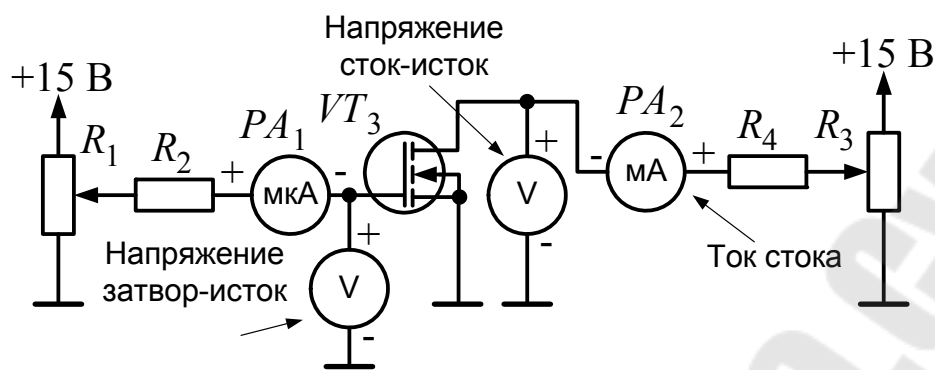


Рис. 2.8 Схема для исследования полевого транзистора

Таблица 2.3

Результаты измерений семейства выходных ВАХ

		$U_{си}, В$							
$I_c, МА$ при	$U_{зи1} =$								
	$U_{зи2} =$								
	$U_{зи3} =$								
	$U_{зи4} =$								

19. Установите новое напряжение затвор-исток  $U_{зи2}$  (не ниже 5 В) транзистора и повторите измерения, записывая результаты в табл. 2.3.

20. Повторите измерения ещё при двух значениях напряжения затвор-исток транзистора.

21. Сделайте выводы о значениях тока затвора транзистора (по показаниям микроамперметра).

22. В отчёте постройте семейство выходных ВАХ транзистора  $I_c(U_{си})$  на одном графике.

23. Установите резистор  $R_3$  в положение «максимум».

24. Изменяя сопротивление  $R_1$  от минимального до максимального положения, снимите сток-затворную ВАХ транзистора, то есть зависимость тока стока  $I_c$  от напряжения  $U_{зи}$ . Результаты измерений занесите в табл. 2.4.

25. Установите переменные резисторы  $R_1, R_3$  в положение «минимум» и отключите стенд.

## Результаты измерений сток-затворной ВАХ

$U_{зи}, В$							
$I_c, мА$							

26. В отчёте постройте сток-затворную ВАХ транзистора. Рассчитайте значение крутизны сток-затворной ВАХ транзистора в соответствии с формулой (2.3) и рис.2.2, в.

*Исследование работы тиристора*

27. Соберите схему для исследования тиристора  $VS_1$ , показанную на рис. 2.9.

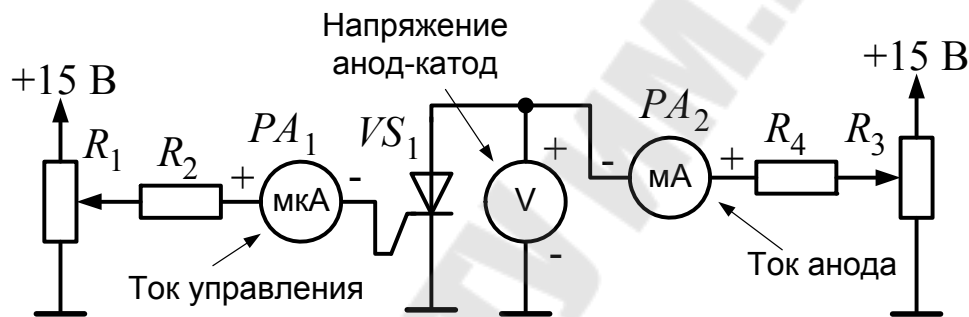


Рис. 2.9 Схема для исследования тиристора

28. Установите переменные резисторы  $R_1, R_3$  в положение «минимум».

29. Включите стенд.

30. С помощью резистора  $R_3$  установите максимальное напряжение на аноде тиристора. По показаниям миллиамперметра убедитесь, что тиристор закрыт.

31. С помощью резистора  $R_1$  медленно увеличивайте ток управления тиристора до его отпирания, то есть до скачкообразного возрастания тока анода. Запишите показания всех приборов для этого случая и сделайте выводы в отчёте.

32. Снизьте ток управления до нуля и убедитесь, что тиристор остался в открытом состоянии.

33. Медленно снижайте ток анода тиристора и зафиксируйте то значение, при котором этот ток упадёт скачком до нуля. Полученное значение будет током удержания тиристора.

34. Повторите пункты 30-33 ещё два раза. Вычислите средние значения всех величин.

35. Выключите стенд, установите переменные резисторы  $R_1$ ,  $R_3$  в положение «минимум».

### Исследование работы симистора

36. Соберите схему для исследования симистора  $VS_2$ , показанную на рис. 2.10.

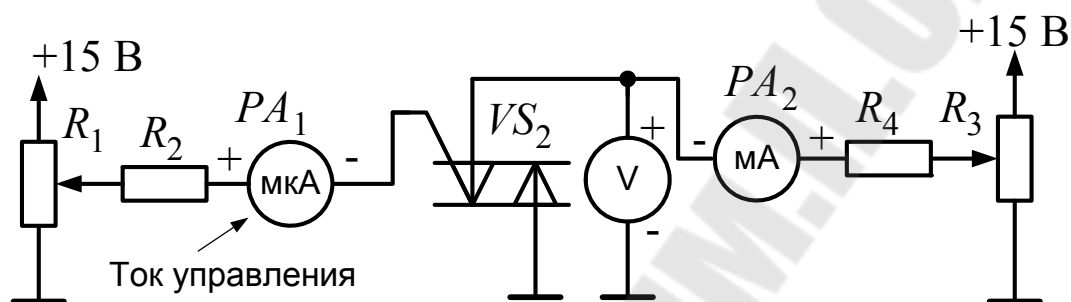


Рис. 2.10 Схема для исследования симистора

37. Выполните все опыты по исследованию симистора по аналогии с опытами для тиристора (пункты 30-34).

38. Выключите стенд, установите переменные резисторы  $R_1$ ,  $R_3$  в положение «минимум».

39. Подключите к резистору  $R_3$  напряжение -15 В вместо напряжения +15 В.

40. Включите стенд и вновь повторите все опыты (пункты 30-34), обращая внимание на знаки напряжений и токов.

41. Выключите стенд. Разберите схему.

42. В отчёте сделайте выводы об особенностях работы симистора по сравнению с работой тиристора.

### Содержание отчёта

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, схема опыта, фотографии (по желанию), краткие комментарии к проведению измерений, результаты измерений, графики, выводы по результатам измерений, название следующего опыта, и так далее.

## Контрольные вопросы

1. Биполярные транзисторы: классификация, условные обозначения, ВАХ, области применения.
2. Физика работы биполярного транзистора.
3. Полевые транзисторы: классификация, условные обозначения, ВАХ, области применения.
4. Физика работы МДП транзистора.
5. Тиристоры: классификация, условные обозначения, ВАХ, области применения.
6. Физика работы тиристора.
7. Симисторы: условные обозначения, ВАХ, области применения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ВЫПРЯМИТЕЛИ

**Цель работы:** изучить принципы работы однофазных и трёхфазных неуправляемых выпрямителей, а также управляемого выпрямителя

### Краткие теоретические сведения

**Однофазный неуправляемый выпрямитель** – схема на основе одного и более диодов, предназначенная для преобразования двухполярного переменного напряжения в однополярное (выпрямленное) напряжение. Однофазные выпрямители бывают **однополупериодные** и **двухполупериодные** (рис. 3.1).

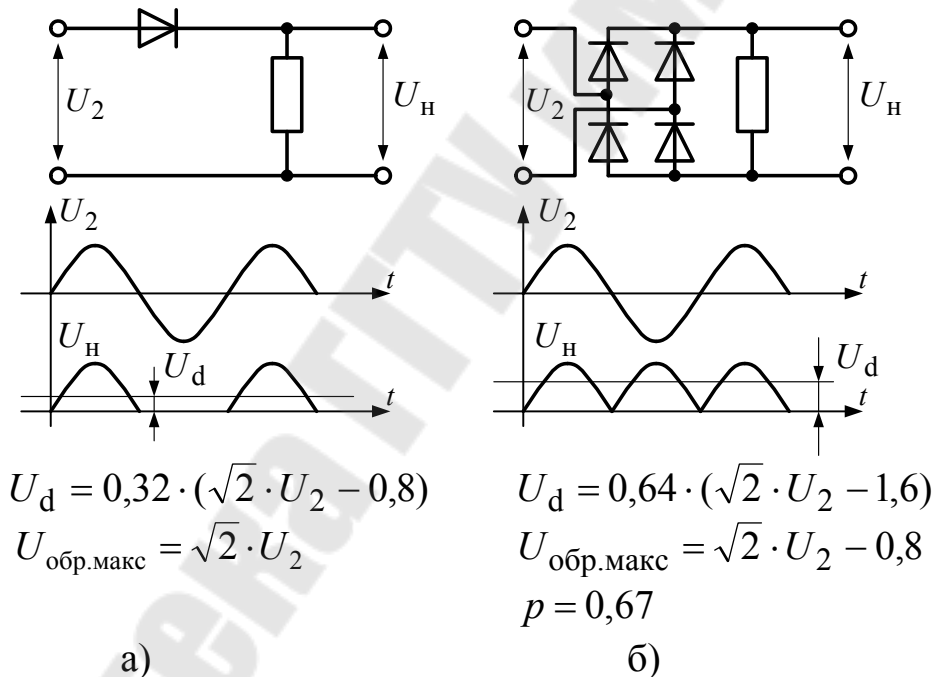


Рис. 3.1 Схемы, осциллограммы работы и расчётные соотношения для однофазных выпрямителей:

а – однополупериодный выпрямитель; б – двухполупериодный выпрямитель

**Трёхфазный неуправляемый выпрямитель** – схема на основе трёх и более диодов, предназначенная для преобразования трёхфазной системы напряжений в однополярное (выпрямленное) напряжение. Трёхфазные выпрямители бывают с нулевым проводом и мостовые (без нулевого провода) (рис. 3.2).



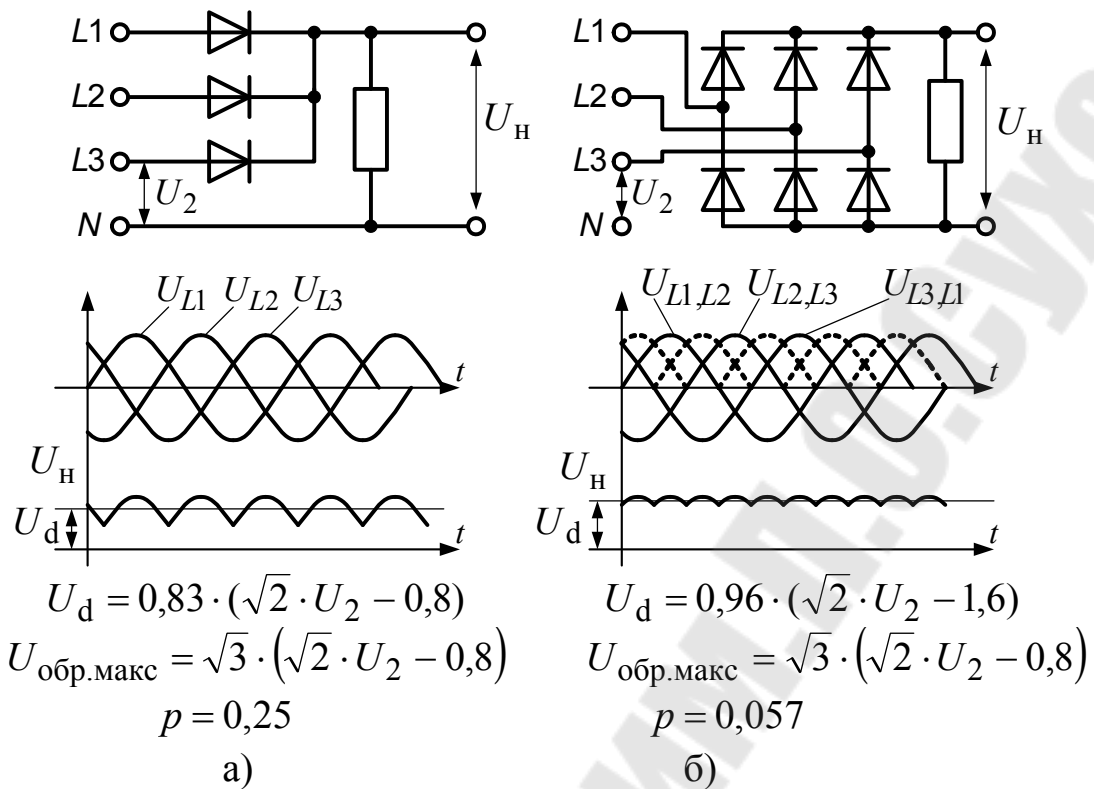


Рис. 3.2 Схемы, осциллограммы работы и расчётные соотношения для трёхфазных выпрямителей:

а – выпрямитель с нулевым проводом; б – мостовой выпрямитель

**Управляемый выпрямитель** – схема на основе тиристоров или транзисторов, позволяющая получать выпрямленное напряжение с возможностью регулирования его среднего значения (рис. 3.3).

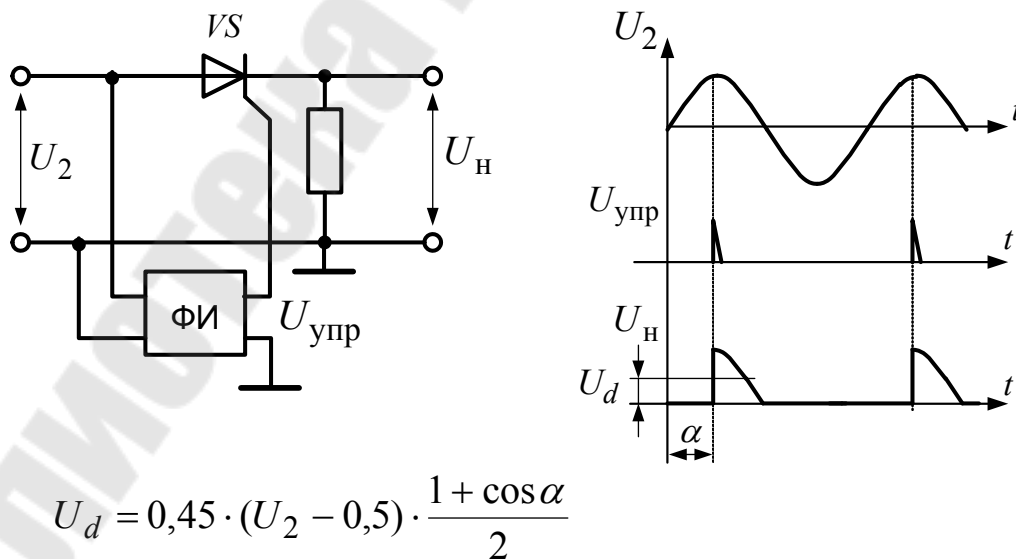


Рис. 3.3 Схема, осциллограммы и расчётное соотношение для однофазного управляемого выпрямителя

Основными параметрами выпрямителей являются: среднее значение выпрямленного напряжения  $U_d$ ; максимальное обратное напряжение на закрытом диоде  $U_{обр.макс}$  и **коэффициент пульсаций**, рассчитываемый по формуле:

$$p = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{\left(\frac{f_H}{f_C}\right)^2 - 1}, \quad (3.1)$$

где:  $m$  - коэффициент умножения частоты выпрямителем;  $f_H$  - частота напряжения на нагрузке;  $f_C$  - частота сети.

Для однополупериодного выпрямителя формула (3.1) не применяется.

В управляемом выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения  $U_d$  зависит от угла  $\alpha$ , который отсчитывается в градусах от начала положительной полуволны входного напряжения до момента подачи управляющего импульса (рис. 3.3). Этот угол называется **углом отпирания тиристора**. Значение  $U_d$  рассчитывается по формуле, приведенной на рис. 3.3.

### Описание лабораторной установки

На лицевой панели лабораторного стенда (рис. 3.6) имеются обозначения электронных компонентов и фрагментов собираемых схем, а также гнезда для сборки схем и ручки регулирования переменных резисторов.

Питание подаётся от понижающего трёхфазного трансформатора  $T$  через разъём, расположенный на задней боковой панели. Вторичные обмотки трансформатора  $T$  соединены по схеме «звезда с нулевым проводом» и позволяют получить в установке три фазных напряжения, обозначенных на стенде « $L_1$ », « $L_2$ », « $L_3$ », относительно нейтрали, обозначенной « $N$ ».

На правой боковой панели стенда имеются три переключателя, подписанные « $L_1$ », « $L_2$ », « $L_3$ » и позволяющие включать и выключать соответствующие фазные напряжения. Наличие этих напряжений можно контролировать по светодиодам на лицевой панели стенда.

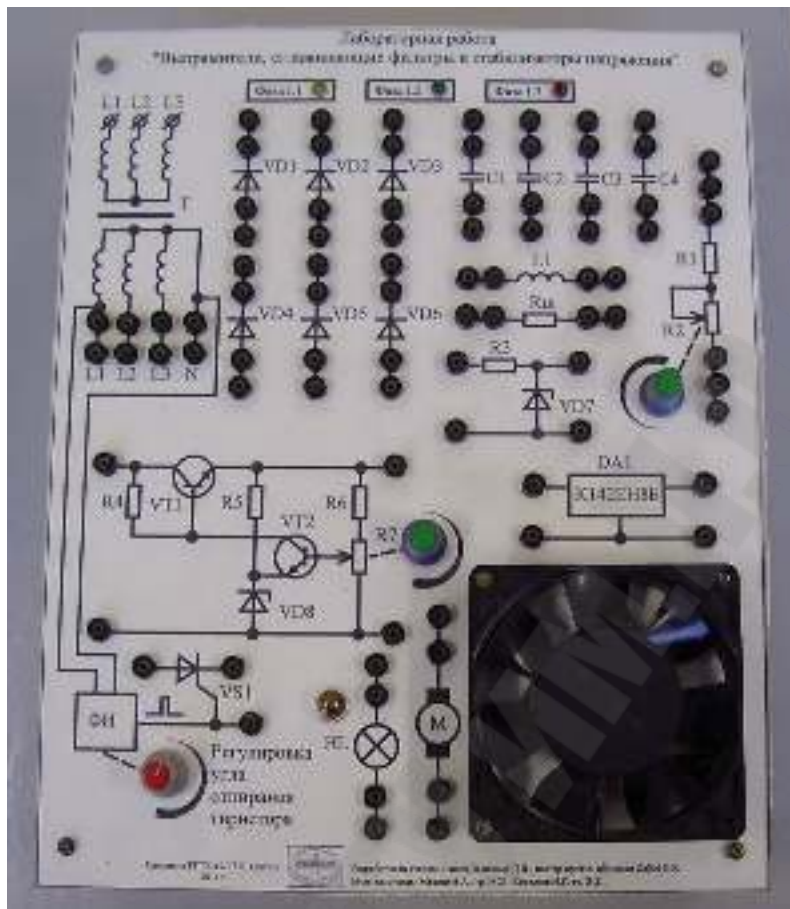


Рис. 3.4. Лицевая панель лабораторного стенда

Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  должны использоваться в качестве нагрузки.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы, напряжения питания стенда необходимо обязательно отключать с помощью переключателей. Разъём питания нужно подсоединить в начале работы, убедившись, что переключатели « $L_1$ », « $L_2$ », « $L_3$ » находятся в положении «отключено», и затем отсоединить в конце работы.

**Внимание!** Все схемы должен проверить преподаватель! При разборке схемы извлекайте гибкие перемычки за основания штырей!

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

Измерения осуществляются путём подключения измерительных проводов приборов к специальным штырькам с жёсткими выводами.

## Порядок выполнения работы

### Исследование неуправляемого однополупериодного выпрямителя

1. Соберите схему однополупериодного выпрямителя (рис. 3.1, а), используя напряжение  $U_2$  и диод в соответствии с табл. 3.1, а в качестве нагрузки – резисторы  $R_1, R_2$ .

Таблица 3.1

Варианты заданий		
Вариант	Схема	Используемые элементы
1	Однополупериодный выпрямитель	$U_2 = U_{L1,N}; VD_1$
2		$U_2 = U_{L3,N}; VD_2$
3		$U_2 = U_{L1,L2}; VD_3$
4		$U_2 = U_{L2,L3}; VD_4$
1	Двухполупериодный выпрямитель	$U_2 = U_{L1,N}; VD_1, VD_2, VD_4, VD_5$
2		$U_2 = U_{L3,N}; VD_2, VD_3, VD_5, VD_6$
3		$U_2 = U_{L1,L2}; VD_1, VD_3, VD_4, VD_6$
4		$U_2 = U_{L2,L3}; VD_1, VD_2, VD_4, VD_5$
1	Трёхфазный выпрямитель с нулевым проводом	$VD_1, VD_2, VD_3$
2		$VD_4, VD_5, VD_6$
3		$VD_1, VD_2, VD_3$
4		$VD_4, VD_5, VD_6$
-	Трёхфазный мостовой выпрямитель	Схема по вариантам одна и та же
-	Управляемый выпрямитель	Схема по вариантам одна и та же

2. Подключите первый канал осциллографа к нагрузке: сигнальный контакт в верхнее гнездо, общий контакт в нижнее гнездо.

3. Установите регулировочный резистор  $R_2$  в среднее положение и подайте напряжение на схему с помощью соответствующих переключателей.

4. Убедитесь, что на экране осциллографа отображается верная осциллограмма. В противном случае обратитесь за помощью к преподавателю.

5. Зарисуйте в масштабе осциллограмму напряжения на нагрузке в черновик и в отчёт. Объясните в отчёте форму осциллограммы.

6. Измерьте вольтметром переменного напряжения ( $\sim V$ ) действующее значение входного напряжения  $U_2$  и вольтметром постоянного напряжения ( $=V$ ) среднее выпрямленное напряжение  $U_d$ .

7. Сравните измеренное значение  $U_d$  с расчётным значением, полученным по формуле на рис. 3.1.а, рассчитав относительную погрешность.

8. Отключите напряжения, разберите схему.

*Исследование неуправляемого двухполупериодного  
выпрямителя (диодного моста)*

9. Соберите схему диодного моста (рис. 3.1, б), используя напряжение  $U_2$  и диоды в соответствии с табл. 3.1, а в качестве нагрузки – резисторы  $R_1$ ,  $R_2$ .

10. Повторите пункты 2-6.

11. Сравните измеренное значение  $U_d$  с расчётным значением, полученным по формуле на рис. 3.1.б, рассчитав относительную погрешность.

12. По осциллограмме напряжения на нагрузке определите частоту этого напряжения  $f_H$  (как величину, обратную периоду). Рассчитайте коэффициент  $m$  и коэффициент пульсаций  $p$  по формуле (3.1), приняв напряжение сети равным 50 Гц. Сравните значения полученного и теоретического (рис. 3.1, б) коэффициентов пульсаций. Объясните в отчёте полученные результаты.

13. При положении «минимум» регулировочного резистора  $R_2$  (т.е. при максимальной нагрузке) с помощью осциллографа измерьте амплитуды входного и выходного напряжений выпрямителя. Определите падение напряжения на открытых диодах. Объясните в отчёте полученный результат.

14. Отключите напряжения, разберите схему.

*Исследование неуправляемого трёхфазного  
выпрямителя с нулевым проводом*

15. Соберите схему выпрямителя (рис. 3.2, а) в соответствии с табл. 3.1.

16. Повторите пункты 2-6 и 11-14, используя для сравнения результатов рис. 3.2, а.

*Исследование неуправляемого трёхфазного  
мостового выпрямителя*

17. Соберите схему выпрямителя (рис. 3.2, б).

18. Повторите пункты 2-6 и 11-14, используя для сравнения результатов рис. 3.2, б.

*Исследование управляемого однополупериодного выпрямителя*

19. Подключите сигнальный контакт первого канала осциллографа к выходу формирователя импульсов ФИ, а общий контакт – к нулевому проводу  $N$ .

20. Включите напряжение фазы  $L1$ .

21. Вращая регулятор резистора «Регулировка угла отпирания тиристора», получите на экране осциллографа короткие импульсы. Зарисуйте эту осциллограмму в черновик и отчёт.

22. Отключите напряжение.

23. Соберите схему управляемого выпрямителя (рис. 3.3), используя входное напряжение  $U_2 = U_{L1,N}$  и в качестве нагрузки лампы накаливания  $HL$ , имеющуюся на лабораторном стенде.

24. Подключите первый канал осциллографа к нагрузке.

25. Подайте напряжение на фазу  $L1$  и, вращая регулятор резистора «Регулировка угла отпирания тиристора», убедитесь, что яркость свечения лампы накаливания изменяется.

26. Добейтесь максимальной яркости свечения лампы накаливания.

27. Зарисуйте осциллограмму на нагрузке, определите угол отпирания тиристора  $\alpha$  (рис. 3.3).

28. Измерьте вольтметром переменного напряжения ( $\sim V$ ) действующее значение входного напряжения  $U_2$  и вольтметром постоянного напряжения ( $=V$ ) среднее выпрямленное напряжение  $U_d$ .

29. Сравните измеренное значение  $U_d$  с расчётным значением, полученным по формуле на рис. 3.3., рассчитав относительную погрешность. Объясните в отчёте полученные результаты.

30. Повторите пункты 27-29 для средней яркости свечения лампы накаливания.

31. Повторите пункты 27-29 для минимальной яркости свечения лампы накаливания.

32. Отключите напряжение и подключите к схеме вместо лампы накаливания электродвигатель  $M$  вентилятора на лабораторном стенде.

33. Подайте напряжение фазы  $L1$  и, вращая регулятор резистора «Регулировка угла отпирания тиристора», убедитесь, что скорость вращения лопастей вентилятора изменяется.

34. Зарисуйте осциллограмму напряжения на нагрузке для средней скорости вращения лопастей вентилятора. Объясните в отчёте полученные результаты.

35. Отключите напряжения, разберите схему.

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, принципиальная схема измерений, осциллограммы в виде графиков с отмеченными на осях цифрами, результаты расчётов, краткие выводы по опыту с объяснением полученных результатов.

### **Контрольные вопросы**

1. Однофазный неуправляемый выпрямитель: схема, принципы работы, осциллограммы, основные параметры.

2. Трёхфазный неуправляемый выпрямитель с нулевым проводом: схема, принципы работы, осциллограммы, основные параметры.

3. Трёхфазный неуправляемый мостовой выпрямитель: схема, принципы работы, осциллограммы, основные параметры.

4. Однополупериодный управляемый выпрямитель: схема, принципы работы, осциллограммы, основные параметры.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ И СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

**Цель работы:** сглаживающих фильтров, параметрических и компенсационных стабилизаторов напряжения

### Краткие теоретические сведения

**Сглаживающий фильтр** – схема на основе ёмкости, индуктивности или их сочетания, предназначенная для преобразования выпрямленного напряжения в постоянное сглаженное напряжение. Основными видами сглаживающих фильтров являются *C*-фильтр и *L*-фильтр (рис. 4.1).

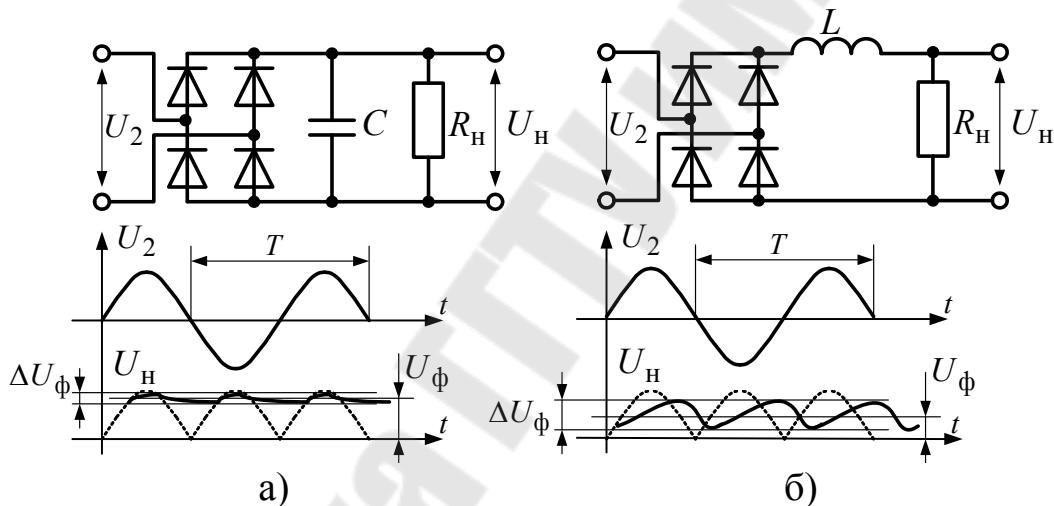


Рис. 4.1 Схемы и осциллограммы работы для сглаживающих фильтров:  
а – *C*-фильтр; б – *L*-фильтр

Качество фильтра оценивается **коэффициентом сглаживания**, который показывает, во сколько раз размах пульсации напряжения на выходе фильтра меньше, чем на его входе:

$$q = \frac{p_{\text{вх}}}{p_{\text{вых}}} = \frac{p_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{ф}} / U_{\text{ф}}} \quad (4.1)$$

где:  $p_{\text{вх}}$  - коэффициент пульсаций на входе фильтра, определяемый по формуле (3.1) для соответствующего выпрямителя;  $p_{\text{вых}}$  - коэффи-



циент пульсаций на выходе фильтра;  $\Delta U_{\phi}$  - размах пульсаций на выходе фильтра;  $U_{\phi}$  - среднее значение напряжения на выходе фильтра.

**Электронный стабилизатор напряжения** – схема на основе стабилитрона и других электронных компонентов, предназначенная для преобразования пульсирующего постоянного напряжения в стабилизированное напряжение. Стабилизаторы напряжения бывают параметрическими, компенсационными (рис. 4.2) и импульсными.

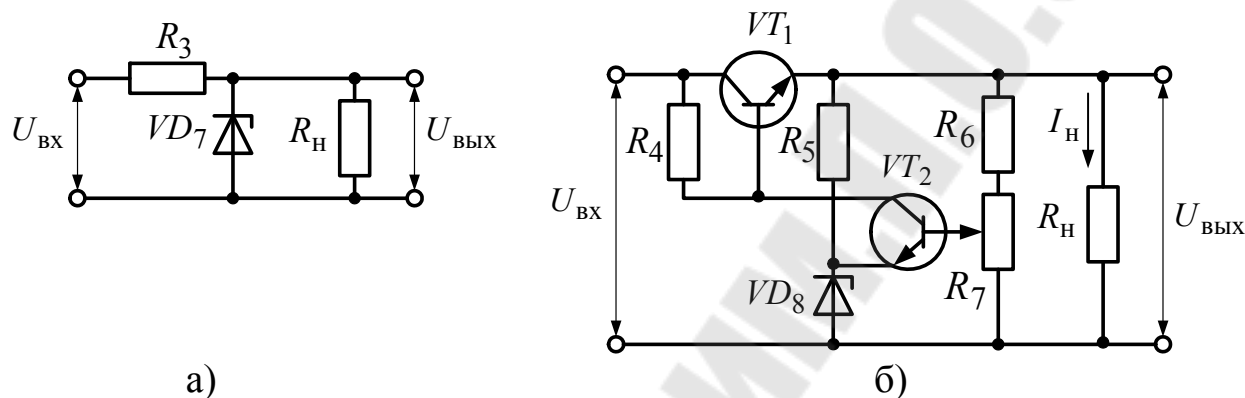


Рис. 4.2 Схемы электронных стабилизаторов напряжения:  
а – параметрический стабилизатор; б – компенсационный стабилизатор

В **параметрическом стабилизаторе** (рис. 4.2, а) сопротивление резистора  $R_3$  определяет значение тока, протекающего через стабилитрон  $VD_7$  и сопротивление нагрузки  $R_Н$ . Эффект стабилизации действует до тех пор, пока  $p - n$  переход стабилитрона находится в состоянии электронного пробоя. В этом случае изменения тока через стабилитрон приводят к незначительным изменениям напряжения на нагрузке.

В **компенсационном стабилизаторе** (рис. 4.2, б) кроме стабилитрона  $VD_8$  имеются транзисторы  $VT_1$  и  $VT_2$ , позволяющие повысить качество стабилизации. При этом на резисторах  $R_4$ ,  $R_6$ ,  $R_7$  и транзисторе  $VT_2$  реализована отрицательная обратная связь, которая приводит к повышению напряжения на нагрузке при возрастании тока нагрузки и к снижению напряжения на нагрузке при повышении тока нагрузки. Так работает компенсирующий эффект, увеличивающий качество стабилизации. Переменный резистор  $R_7$  обеспечивает регулировку для достижения оптимальной работы схемы. На транзисторе  $VT_1$  реализован эмиттерный повторитель, увеличивающий нагрузочную способность схемы.

Компенсационные стабилизаторы, как правило, выполняют в рамках одной интегральной микросхемы.

Последовательное соединение выпрямителя, сглаживающего фильтра и стабилизатора напряжения называется **блоком питания** электронного устройства. Задача блока питания – получение ряда низковольтных стабилизированных напряжений из напряжения электрической сети для питания электронных схем устройств.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная работа №4 выполняется на том же стенде, что и лабораторная работа №3. Внимательно прочитайте описание стенда в лабораторной работе №3.

### Порядок выполнения работы

#### *Исследование сглаживающего C-фильтра*

1. Соберите схему, приведенную на рис. 4.3, в соответствии с вариантом задания по табл. 4.1.

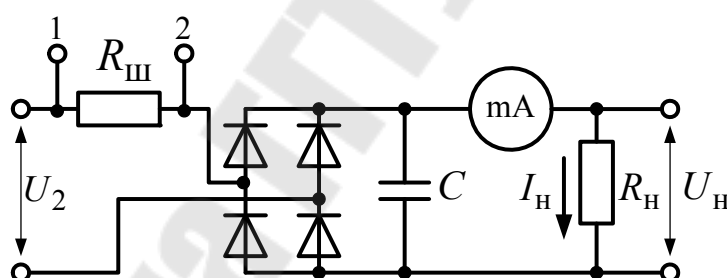


Рис. 4.3 Схема для исследования C-фильтра

2. При сборке схемы обратите внимание на наличие миллиамперметра, который замыкает цепь нагрузки. Миллиамперметр должен быть постоянно подключен к схеме.

3. Первый канал осциллографа подключите к нагрузке. Регулятор нагрузочного резистора  $R_2$  установите в среднее положение.

4. Подайте напряжение на схему и убедитесь в наличии верной осциллограммы (рис. 4.1, а). Зарисуйте эту осциллограмму. Объясните в отчёте полученные результаты.

Таблица 4.1

Варианты заданий		
Вариант	Схема	Используемые элементы
1	С-фильтр	двухполупериодный выпрямитель (по вариантам л/р №3) и $C_1$
2		двухполупериодный выпрямитель (по вариантам л/р №3) и $C_2$
3		двухполупериодный выпрямитель (по вариантам л/р №3) и $C_3$
4		двухполупериодный выпрямитель (по вариантам л/р №3) и $C_4$
1	Стабилизатор напряжения	С-фильтр (по вариантам) и параметрический стабилизатор
2		С-фильтр (по вариантам) и компенсационный стабилизатор на транзисторах
3		С-фильтр (по вариантам) и компенсационный стабилизатор на интегральной микросхеме $DA_1$
4		С-фильтр (по вариантам) и параметрический стабилизатор

5. С помощью осциллографа определите размах пульсаций на выходе фильтра  $\Delta U_\phi$  (рис. 4.1, а), а с помощью вольтметра постоянного напряжения - среднее значение напряжения на выходе фильтра  $U_\phi$ . Рассчитайте коэффициент сглаживания  $q$  по формуле (4.1).

6. Изменяя от максимума до минимума сопротивление  $R_2$ , снимите зависимости  $\Delta U_\phi(I_H)$  и  $U_\phi(I_H)$  (не менее 8 точек). Результаты занесите в таблицу и постройте соответствующие графики в отчёте. Объясните в отчёте полученные результаты.

7. Регулятор нагрузочного резистора  $R_2$  установите в среднее положение.

8. Подключите сигнальный контакт первого канала осциллографа к точке 1 на схеме (рис. 4.3), а общий контакт – к точке 2, то есть параллельно шунту  $R_{ш}$ . При этом на осциллограмме должна отображаться форма тока, потребляемого схемой из сети.

9. Зарисуйте полученную осциллограмму, переведя шкалу из напряжения в ток (значение сопротивления шунта  $R_{\text{ш}} = 120 \text{ Ом}$ ). Объясните в отчёте полученные результаты.

10. Отключите напряжение, но схему не разбирайте.

#### *Исследование электронного стабилизатора напряжения*

11. Модифицируйте предыдущую схему, включив в неё стабилизатор напряжения, выбранный на стенде в соответствии с табл. 4.1, между конденсатором и миллиамперметром как показано на рис. 4.4. Шунт из схемы можно убрать.

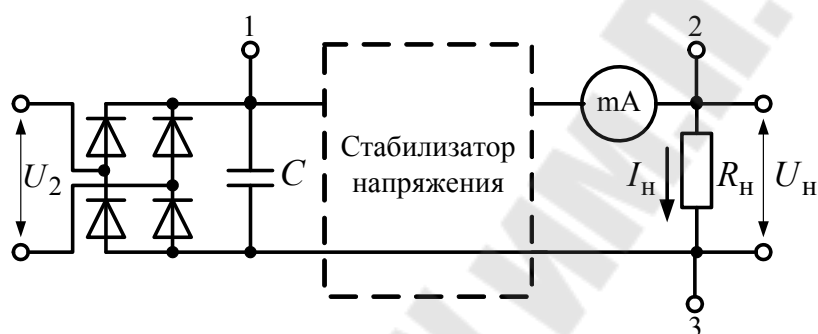


Рис. 4.4 Схема для исследования стабилизатора напряжения

12. Первый канал осциллографа подключите сигнальным контактом к точке 1, а общим контактом к точке 3. Сигнальный контакт второго канала подключите к точке 2.

13. Регулятор нагрузочного резистора  $R_2$  установите в среднее положение.

14. Подайте напряжение и убедитесь, что размах пульсаций на выходе стабилизатора (точка 2) меньше, чем на его входе (точка 1). Зарисуйте полученные осциллограммы на одном графике. Объясните в отчёте полученные результаты.

15. Отключите напряжения, разберите схему.

### Содержание отчёта

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, принципиальная схема измерений, осциллограммы в виде графиков с отмеченными на осях цифрами, результаты расчётов, краткие выводы по опыту с объяснением полученных результатов.

## Контрольные вопросы

1.  $C$ -фильтр: схема, принципы работы, осциллограммы, основные параметры.
2.  $L$ -фильтр: схема, принципы работы, осциллограммы, основные параметры.
3. Параметрический стабилизатор напряжения: схема, принципы работы, осциллограммы.
4. Компенсационный стабилизатор напряжения: схема, принципы работы, осциллограммы.
5. Импульсный стабилизатор напряжения: схема, принципы работы, осциллограммы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ 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. 5.1.

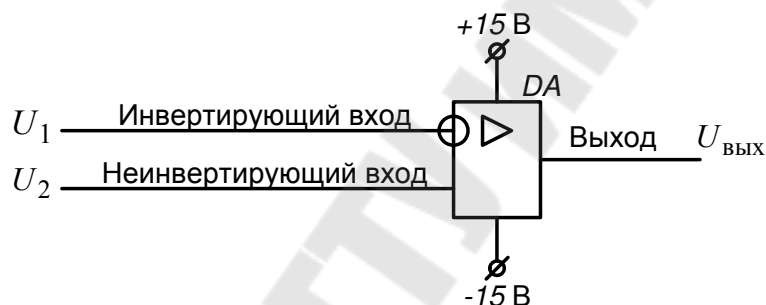


Рис. 5.1 Условное графическое обозначение операционного усилителя

Операционный усилитель имеет два входа: инвертирующий и неинвертирующий.

Питание операционного усилителя осуществляется от двух источников разной полярности. Как правило, напряжения питания равны +15 В и -15 В. Выходное напряжение операционного усилителя также является двухполярным.

Для операционного усилителя справедливо соотношение:

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

Основные функциональные элементы на операционном усилителе: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, частотные фильтры, компаратор, триггер Шмидта.

**Инвертирующий усилитель** изменяет знак и значения входного напряжения, а **неинвертирующий усилитель** изменяет значения, но не изменяет знак входного напряжения. Оба усилителя функционируют на основе отрицательной обратной связи.

Принципиальные схемы, передаточные характеристики и расчётные соотношения для коэффициентов усиления  $K_{yc}$  инвертирующего и неинвертирующего усилителей показаны на рис. 5.2.

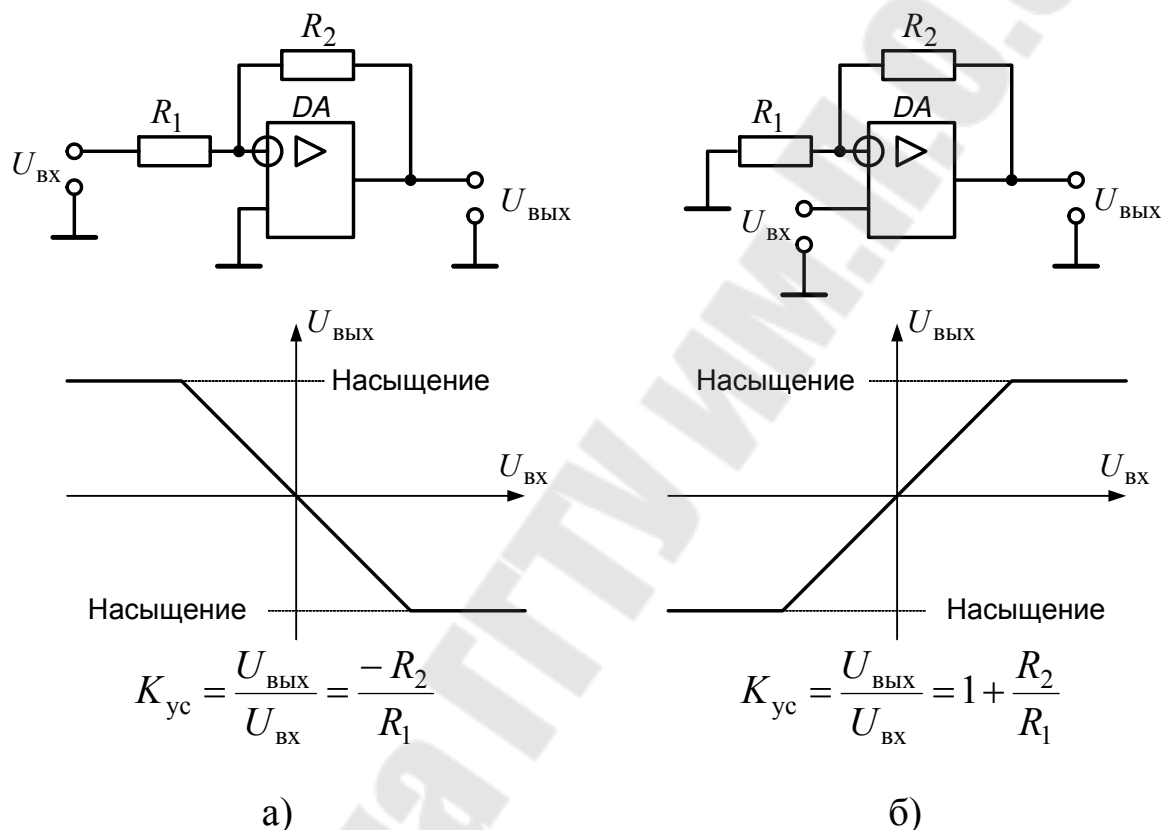


Рис. 5.2 Принципиальные схемы, передаточные характеристики и расчётные соотношения для усилителей:

а – инвертирующий усилитель; б – неинвертирующий усилитель

Усилители работают в линейном режиме до тех пор, пока напряжение на их выходах не достигнет максимального значения, то есть уровня насыщения.

**Фильтр низких частот** пропускает низкие частоты и, начиная с некоторой частоты среза  $\omega_{ср}$ , подавляет высокие частоты.

**Фильтр высоких частот** пропускает высокие частоты и, начиная с некоторой частоты среза  $\omega_{ср}$ , подавляет низкие частоты.

Принципиальные схемы, амплитудо-частотные характеристики и расчётные соотношения фильтра низких частот и фильтра высоких частот приведены на рис. 5.3.

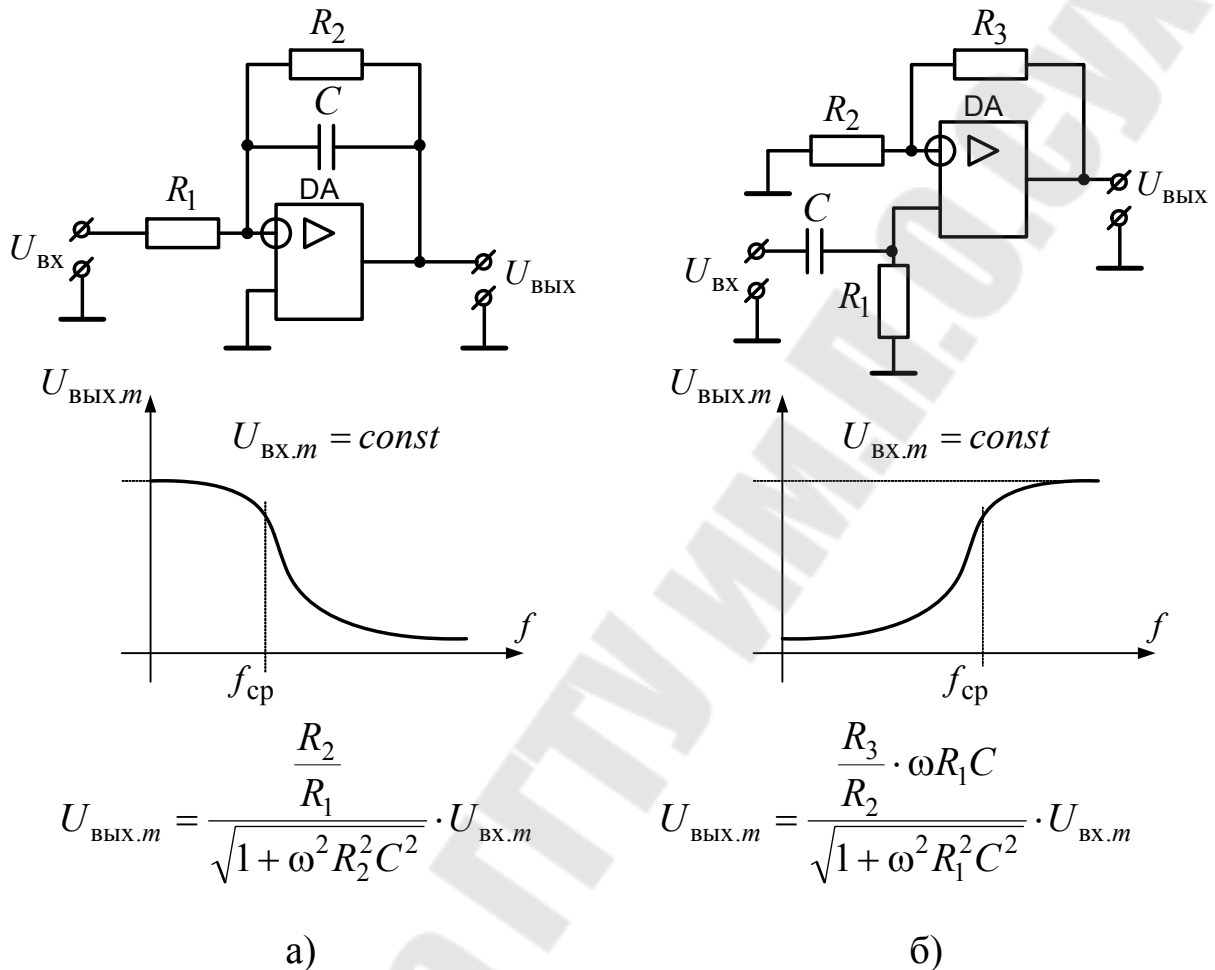


Рис. 5.3 Принципиальные схемы, амплитудо-частотные характеристики и расчётные соотношения для частотных фильтров:

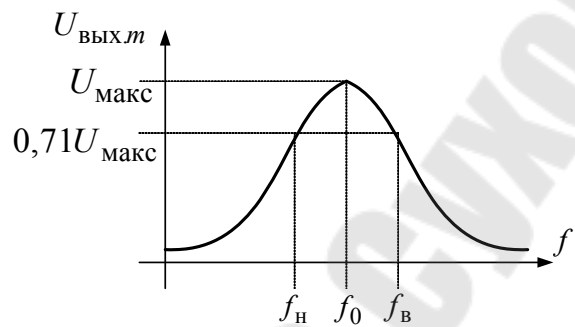
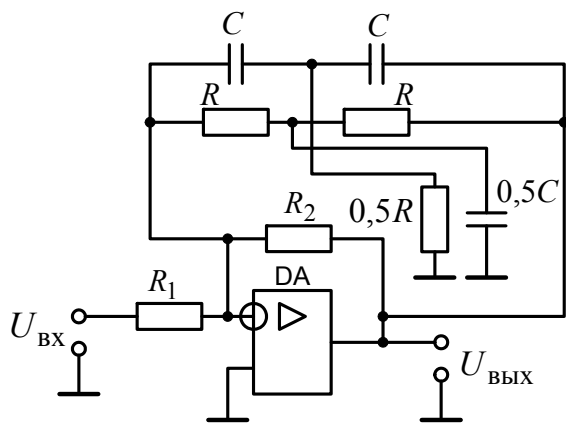
а – фильтр низких частот; б – фильтр высоких частот

Амплитудо-частотную характеристику фильтра можно построить как зависимость амплитуды выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ.}m}$  от частоты  $f$  при неизменной амплитуде входного напряжения.

**Полосовой фильтр** пропускает в нагрузку частоты со значениями приблизительно от  $f_{\text{Н}}$  до  $f_{\text{В}}$ , то есть в полосе пропускания  $\Delta f = f_{\text{В}} - f_{\text{Н}}$ .

Принципиальная схема, амплитудо-частотная характеристика и расчётные соотношения для **частоты квазирезонанса**  $f_0$  и **добротности**  $Q$  полосового фильтра на основе 2Т-моста показаны на рис. 5.4. 2Т-мост собран на элементах  $R$  и  $C$ .





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

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{f_0}{f_В - f_Н}$$

Рис. 5.4 Принципиальная схема, амплитудно-частотная характеристика и расчётные соотношения для полосового фильтра

**Компаратор** – это схема, осуществляющая сравнение двух аналоговых напряжений - входного  $U_{ВХ}$  и опорного  $U_{оп}$ .

**Триггер Шмидта** – это усовершенствованный компаратор, имеющий разные значения напряжений срабатывания  $U_c$  и возврата  $U_в$  и функционирующий на основе положительной обратной связи.

Принципиальные схемы, передаточные характеристики и расчётные параметры компаратора и триггера Шмидта изображены на рис. 5.5.

На выходе, как компаратора, так и триггера Шмидта, может формироваться либо положительное, либо отрицательное значение напряжения насыщения операционного усилителя  $U_{нас}$ .

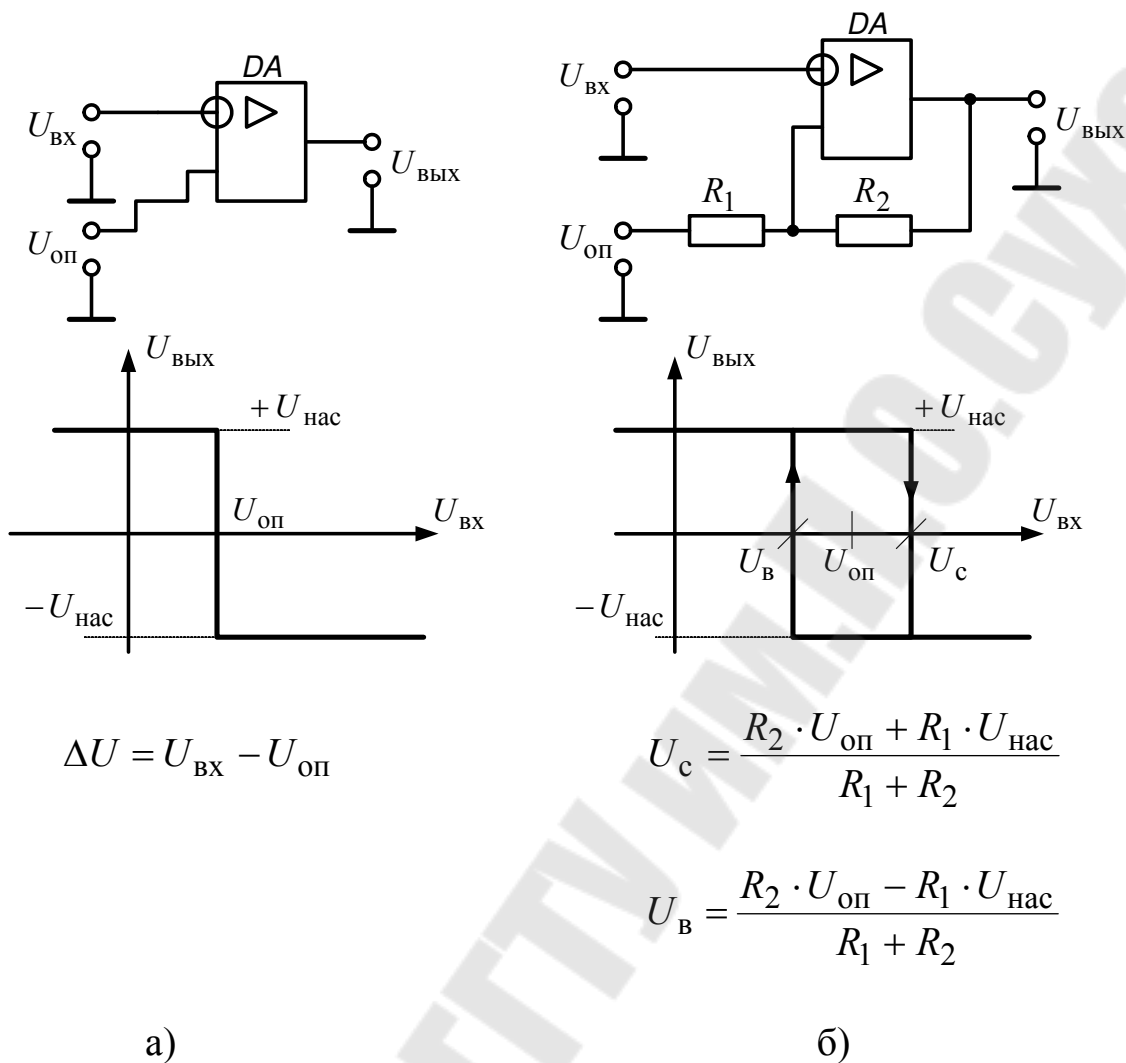


Рис. 5.5 Принципиальные схемы, передаточные характеристики и расчётные параметры:  
а – компаратор; б – триггер Шмидта

### Описание лабораторной установки

На лицевой панели лабораторного стенда (рис. 5.6) имеются обозначения электронных компонентов и фрагментов собираемых схем, а также гнезда для сборки схем и ручки регулирования переменных резисторов.

Питание подаётся через разъём, расположенный на задней боковой панели.

На правой боковой панели стенда имеются два переключателя, позволяющие включать и выключать напряжения питания, равные +15 В и -15 В. Наличие этих напряжений можно контролировать по светодиодам на лицевой панели стенда.

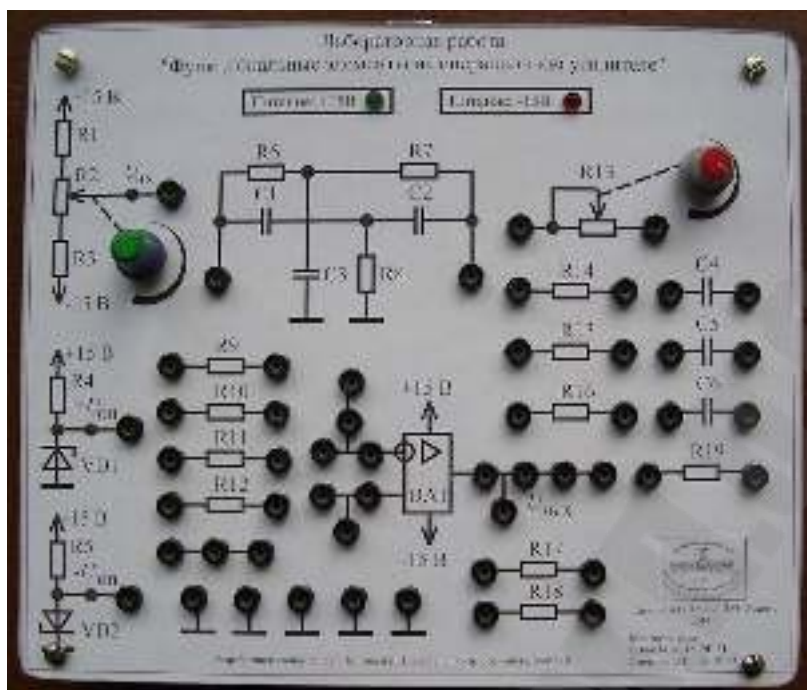


Рис 5.6 Внешний вид лабораторного стенда

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы, напряжения питания стенда необходимо обязательно отключать с помощью переключателей. Разъём питания нужно подсоединить в начале работы, убедившись, что переключатели находятся в положении «отключено», и затем отсоединить в конце работы.

**Внимание!** Перед включением все схемы должен проверить преподаватель.

Для проведения работы необходим двухканальный осциллограф, универсальный цифровой вольтметр и генератор сигналов.

Все измерения проводятся относительно общего провода, обозначенного символами  $\perp$  на стенде. При измерениях на постоянном напряжении к этому проводу должен быть подключен щуп вольтметра «-».

Измерения осуществляются путём подключения измерительных проводов приборов к специальным штырькам с жёсткими выводами.

На стенде имеются источники постоянного напряжения: входное  $U_{вх}$ , которое можно изменять с помощью переменного резистора  $R_2$ ; положительное опорное напряжение  $+U_{оп}$  и отрицательное опорное напряжение  $-U_{оп}$ .

Сопротивления и ёмкости некоторых резисторов и конденсаторов стенда приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Параметры резисторов и конденсаторов лабораторного стенда

Параметр	$R_9$	$R_{10}$	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{14}$	$R_{15}$	$R_{16}$	$R_{17}$	$R_{18}$
Значение	3,9	1,6	4,3	9,1	16	18,6	51	61,6	153
Размерность	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм	кОм

Таблица 5.1

(продолжение)

Параметр	$R_{19}$	$R_6$	$R_7$	$R_8$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
Значение	147	18	18	9,1	68	68	33	56,7	50,5	32
Размерность	кОм	кОм	кОм	кОм	нФ	нФ	нФ	нФ	нФ	нФ

### Порядок выполнения работы

Таблица 5.2

Задания по вариантам

Схема	Рис.	Элементы на рис.	Вар-т	Используемые элементы
Инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель	5.2	$R_1; R_2$	1	$R_9; R_{14}$
			2	$R_{10}; R_{15}$
			3	$R_{11}; R_{16}$
			4	$R_{12}; R_{17}$
Фильтр низких частот	5.3,а	$R_1; R_2; C$	1	$R_9; R_{14}; C_4$
			2	$R_{10}; R_{15}; C_5$
			3	$R_{11}; R_{16}; C_6$
			4	$R_{12}; R_{17}; C_4$
Фильтр высоких частот	5.3,б	$R_1; C; R_2; R_3$	1	$R_{15}; C_4; R_9; R_{14}$
			2	$R_{16}; C_5; R_{10}; R_{15}$
			3	$R_{17}; C_6; R_{11}; R_{16}$
			4	$R_{14}; C_4; R_{12}; R_{17}$
Полосовой фильтр	5.4	$R_1; R_2; 2T\text{-мост}$	1	$R_9; R_{14}; 2T\text{-мост}$
			2	$R_{10}; R_{15}; 2T\text{-мост}$
			3	$R_{11}; R_{16}; 2T\text{-мост}$
			4	$R_{12}; R_{17}; 2T\text{-мост}$

Таблица 5.2

(продолжение)

Схема	Рис.	Элементы на рис.	Вар-т	Используемые элементы
Компаратор	5.5,а	-	1	$+U_{оп}$
			2	$-U_{оп}$
			3	$+U_{оп}$
			4	$-U_{оп}$
Триггер Шмидта	5.5,б	$R_1; R_2$	1	$R_9; R_{16}; +U_{оп}$
			2	$R_{10}; R_{15}; -U_{оп}$
			3	$R_{11}; R_{17}; +U_{оп}$
			4	$R_{12}; R_{18}; -U_{оп}$

#### Исследование инвертирующего усилителя

1. Соберите схему инвертирующего усилителя в соответствии с рис. 5.2,а и табл. 5.2.

2. Включите питание стенда.

3. Снимите передаточную характеристику усилителя  $U_{вых}(U_{вх})$ . Для этого с помощью резистора  $R_2$  изменяйте входное напряжение  $U_{вх}$  от минимума до максимума и измеряйте его значения, а также соответствующие значения выходного напряжения  $U_{вых}$ . Все измерения проводите относительно общего провода. Всего необходимо снять не менее 16 точек характеристики (8 в положительной области и 8 в отрицательной). В зонах насыщения, когда напряжение  $U_{вых}$  имеет максимальные значения и не изменяется, записывайте не более 3 точек. Все измерения заносите в таблицу.

4. Отключите питание стенда.

5. Рассчитайте значения выходного напряжения  $U_{вых}$  для теоретической передаточной характеристики в соответствии с расчётной формулой на рис. 5.2,а и значениями сопротивлений резисторов в табл. 5.1. Напряжения насыщения примите равными их измеренным значениям.

6. Постройте в отчёте теоретическую и экспериментальную передаточные характеристики на одном графике. Сделайте выводы по полученным графикам.

### *Исследование неинвертирующего усилителя*

7. Соберите схему неинвертирующего усилителя в соответствии с рис. 5.2,б и табл. 5.2.
8. Повторите пункты 2-6, используя для сравнения рис. 5.2,б.

### *Исследование фильтра низких частот*

9. Соберите схему фильтра низких частот в соответствии с рис. 5.3,а и табл. 5.2. В качестве источника входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  используйте внешний генератор сигналов синусоидальной формы, подсоединив его выход между входом схемы и общим проводом. **Внимание!** Выход генератора запрещено подключать к выводу резистора  $R_2$  или к источникам опорного напряжения на стенде!

10. Подключите первый канал осциллографа сигнальным контактом к точке подачи входного напряжения, а земляным контактом — к общему проводу. Вторым каналом осциллографа подключите к выходному напряжению  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

11. Установите на генераторе частоту 50 Гц. Регулятор выходного напряжения генератора установите в положение, близкое к среднему значению.

12. Включите питание стенда, а затем питание генератора. На экране осциллографа должны отображаться две синусоиды, сдвинутые по фазе. При необходимости обратитесь за помощью к преподавателю.

13. Снимите амплитудно-частотную характеристику схемы  $U_{\text{ВЫХ},m}(f)$ . Для этого с помощью генератора изменяйте частоту входного сигнала в диапазоне от 10 до 400 Гц и записывайте соответствующие значения амплитуды выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ},m}$ , измеряя их с помощью осциллографа. Всего необходимо снять не менее 16 точек характеристики. Все данные заносите в таблицу.

14. Для произвольного значения частоты зарисуйте осциллограммы входного и выходного напряжений. По этим осциллограммам постройте векторную диаграмму.

15. Отключите питание генератора и стенда.

16. Рассчитайте значения амплитуды выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ},m}$  для теоретической амплитудно-частотной характеристики в соответствии с расчётной формулой на рис. 5.3,а и табл. 5.1. Учитывайте, что  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ .

17. Постройте в отчёте теоретическую и экспериментальную амплитудно-частотные характеристики на одном графике. Определите частоту среза  $f_{\text{ср}}$  в точке максимального излома (рис. 5.3,а). Сделайте выводы по полученным результатам.

#### *Исследование фильтра высоких частот*

18. Соберите схему фильтра высоких частот в соответствии с рис. 5.3,б и табл. 5.2. В качестве источника входного напряжения  $U_{\text{вх}}$  используйте внешний генератор сигналов синусоидальной формы, подсоединив его выход между входом схемы и общим проводом. **Внимание!** Выход генератора запрещено подключать к выводу резистора  $R_2$  или к источникам опорного напряжения на стенде!

19. Повторите пункты 10-17, используя для сравнения рис. 5.3,б.

#### *Исследование полосового фильтра*

20. Соберите схему полосового фильтра в соответствии с рис. 5.4 и табл. 5.2. В качестве источника входного напряжения  $U_{\text{вх}}$  используйте внешний генератор сигналов синусоидальной формы, подсоединив его выход между входом схемы и общим проводом. **Внимание!** Выход генератора запрещено подключать к выводу резистора  $R_2$  или к источникам опорного напряжения на стенде!

21. Подключите первый канал осциллографа сигнальным контактом к выходному напряжению  $U_{\text{вых}}$ , а земляным контактом – к общему проводу.

22. Установите на генераторе частоту 50 Гц. Регулятор выходного напряжения генератора установите в положение, близкое к среднему значению.

23. Включите питание стенда, а затем питание генератора.

24. Снимите амплитудно-частотную характеристику схемы  $U_{\text{вых},m}(f)$ . Для этого с помощью генератора изменяйте частоту входного сигнала в диапазоне от 10 до 400 Гц и записывайте соответствующие значения амплитуды выходного напряжения  $U_{\text{вых},m}$ , измеряя их с помощью осциллографа. Всего необходимо снять не менее 16 точек характеристики. Все данные заносите в таблицу.

25. Отключите питание генератора и стенда.

26. Постройте в отчёте экспериментальную амплитудно-частотную характеристику. Определите по графику частоту квазире-

зонанса  $f_0$  и полосу пропускания  $\Delta f$  (рис. 5.4). Рассчитайте добротность  $Q$ . Сделайте выводы по полученным результатам.

### *Исследование компаратора*

27. Соберите схему компаратора в соответствии с рис. 5.5,а и табл. 5.2.

28. Подключите первый канал осциллографа сигнальным контактом к выходному напряжению  $U_{\text{ВЫХ}}$ , а земляным контактом – к общему проводу.

29. Включите питание стенда.

30. Вращая регулятор резистора  $R_2$ , получите положительные и отрицательные значения напряжений на выходе компаратора. Измерьте эти напряжения по осциллографу.

31. Медленно вращая регулятор резистора  $R_2$ , добейтесь границы переключения компаратора, то есть состояния, когда его выходное напряжение меняет знак.

32. С помощью вольтметра измерьте значения входного  $U_{\text{ВХ}}$  и опорного  $U_{\text{ОП}}$  напряжений на границе переключения компаратора (относительно общего провода). Обратите внимание на правильную полярность подключения вольтметра.

33. Отключите питание стенда.

34. Рассчитайте чувствительность компаратора  $\Delta U$  и постройте в отчёте его передаточную характеристику (рис. 5.5,а).

35. Сделайте выводы в отчёте по полученным результатам.

### *Исследование триггера Шмидта*

1. Соберите схему триггера Шмидта в соответствии с рис. 5.5,б и табл. 5.2.

2. Подключите первый канал осциллографа сигнальным контактом к выходному напряжению  $U_{\text{ВЫХ}}$ , а земляным контактом – к общему проводу.

3. Вольтметр подключите к входному напряжению  $U_{\text{ВХ}}$ , соблюдая правильную полярность.

4. Включите питание стенда.

5. Медленно вращая регулятор резистора  $R_2$ , определите напряжения срабатывания  $U_c$  (при изменении  $U_{\text{ВЫХ}}$  с «+» на «-») и напряжения возврата  $U_v$  (при изменении  $U_{\text{ВЫХ}}$  с «-» на «+»).



6. Отключите питание стенда.
7. Рассчитайте теоретические значения напряжений срабатывания и возврата триггера Шмидта по формулам на рис. 5.5,б в соответствии с табл. 5.1.
8. Постройте передаточную характеристику триггера Шмидта (рис. 5.5,б).
9. Сделайте выводы в отчёте по полученным результатам.

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, принципиальная схема измерений, осциллограммы в виде графиков с отмеченными на осях цифрами, результаты расчётов, графики, краткие выводы по опыту с объяснением полученных результатов.

### **Контрольные вопросы**

1. Инвертирующий усилитель на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.
2. Неинвертирующий усилитель на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.
3. Фильтр низких частот на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.
4. Фильтр высоких частот на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.
5. Полосовой фильтр на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.
6. Компаратор на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.
7. Триггер Шмидта на операционном усилителе: схема, принципы работы, основные характеристики.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ 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 сигналами.

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

Таблица 6.1

Логические элементы

№ п.	Логическая операция	Название логического элемента	Условное обозначение логического элемента
1	Конъюнкция	<b>И</b>	
2	Дизъюнкция	<b>ИЛИ</b>	
3	Конъюнкция с отрицанием	<b>И-НЕ</b>	
4	Дизъюнкция с отрицанием	<b>ИЛИ-НЕ</b>	

**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 и условные обозначения приведены в табл. 6.1.

Основными функциональными элементами на цифровых интегральных микросхемах являются: *RS* – триггер, *D* – триггер, *T* – триггер, двоичный счётчик, регистр, мультивибратор. Схемы этих элементов исследуются в лабораторной работе.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выполнена в виде малогабаритного стенда (рис. 6.1), на лицевой панели которого приведены условные графические обозначения исследуемых элементов и фрагментов схем.

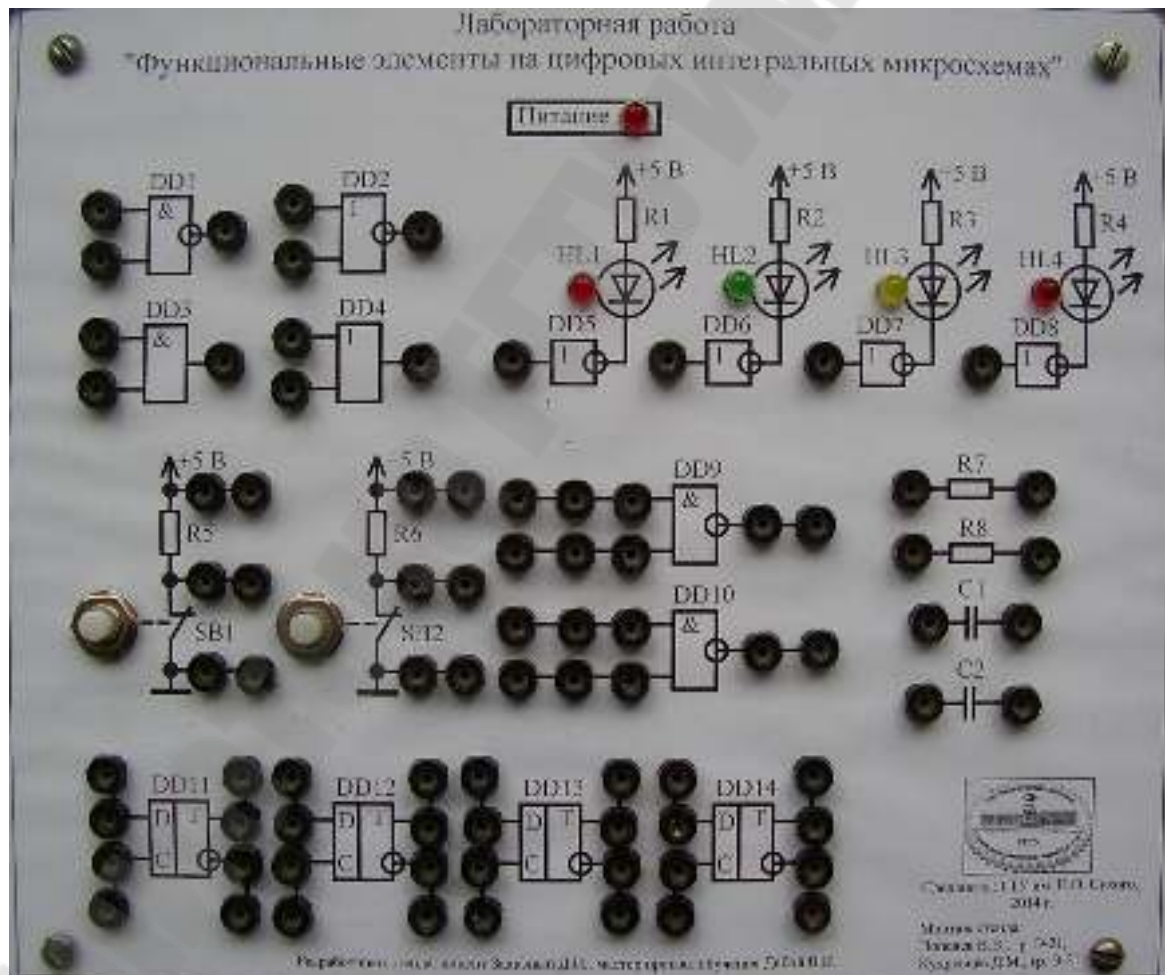


Рис. 6.1 Внешний вид лабораторного стенда

На стенде имеются следующие основные элементы:

- $SB_1, SB_2$  – кнопки;
- $DD_1, DD_9, DD_{10}$  – логические элементы «И-НЕ»;
- $DD_2$  – логический элемент «ИЛИ-НЕ»;
- $DD_3$  – логический элемент «И»;
- $DD_4$  – логический элемент «ИЛИ»;
- $DD_5, DD_6, DD_7, DD_8$  – логические элементы «НЕ»;
- $DD_{11}, DD_{12}, DD_{13}, DD_{14}$  –  $D$ -триггеры;
- $HL_1, HL_2, HL_3, HL_4$  – светодиоды.

На правой боковой панели расположен выключатель «Питание». На задней боковой панели имеется разъём для подключения питания. На нижней панели есть смотровое окно, через которое видна печатная плата стенда с расположенными на ней электронными компонентами.


Для включения питания необходимо:

- 1) убедиться, что выключатель «Питание» находится в положении «Отключено»;
- 2) присоединить разъём питания;
- 3) включить выключатель «Питание» и убедиться, что светодиод «Питание» светится.

В процессе работы разъём питания должен быть подключен постоянно. Включать – отключать питание нужно выключателем.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы, питание стенда необходимо обязательно отключить выключателем.

**Внимание!** Запрещается включать стенд без проверки схемы преподавателем.

В стенде логической «1» соответствует напряжение +5 В, а логическому нулю – напряжение 0 В, которое всегда имеется в общей точке схемы, обозначенной символом  .

В качестве средства отображения информации в стенде используются светодиоды  $HL_1 - HL_4$ . Если светодиод светится, то он отображает логическую «1», если не светится – логический «0».

Светодиоды  $HL_1 - HL_4$  работают следующим образом. При подаче логической «1» на вход логического элемента «НЕ», на его выходе появляется логический «0», то есть напряжение, близкое к нулю вольт. Соответственно, в цепи светодиода от источника «+5 В» через токоограничивающий резистор начинает протекать ток, и светодиод светится. При подаче логического «0» на вход логического элемента

«НЕ», на его выходе появляется логическая «1», то есть напряжение, близкое к +5 В. Из-за отсутствия разности потенциалов ток не протекает, и светодиод не светится.

Кнопки  $SB_1$ ,  $SB_2$  представлены в схеме стенда своими нормально замкнутыми контактами. Это значит, что если кнопка не нажата, то её контакт замкнут, а если нажата – разомкнут. Таким образом, резисторы  $R_5$ ,  $R_6$  защищают источник питания от короткого замыкания.

На рис. 6.2 показаны варианты логических уровней в цепи кнопок  $SB_1$ ,  $SB_2$  на примере кнопки  $SB_1$ .

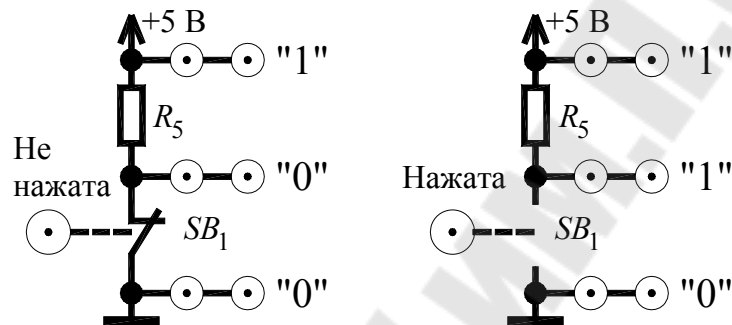


Рис. 6.2 Логические уровни в цепи кнопки  $SB_1$

Точка соединения резистора и контакта кнопки используется в лабораторной работе в качестве входного сигнала для цифровых схем. Остальные точки также можно использовать в качестве входных сигналов.

### Порядок выполнения работы

#### Исследование логического элемента «И-НЕ»

1. Соберите схему, показанную на рис. 6.3. Продумайте принцип её работы.

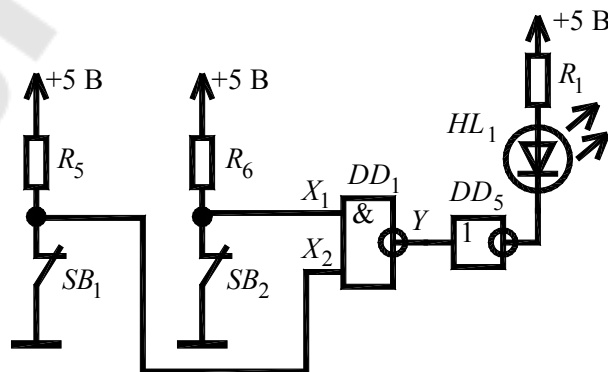


Рис. 6.3 Схема для исследования логического элемента «И-НЕ»

2. Подготовьте таблицу истинности (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Заготовка таблицы истинности для логического элемента

$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

3. Подайте питание на стенд.
4. Заполните таблицу истинности, подавая с помощью кнопок соответствующие логические уровни на входы  $X_1$  и  $X_2$  логического элемента и контролируя логический уровень на его выходе  $Y$  с помощью светодиода.
5. Отключите питание стенда.
6. Сделайте выводы о работоспособности логического элемента, воспользовавшись информацией из курса лекций.

*Исследование логического элемента «ИЛИ-НЕ»*

7. По аналогии со схемой на рис. 6.3 соберите схему для исследования логического элемента  $DD_2$ . Повторите пункты 2-6.

*Исследование логического элемента «И»*

8. По аналогии со схемой на рис. 6.3 соберите схему для исследования логического элемента  $DD_3$ . Повторите пункты 2-6.

*Исследование логического элемента «И-НЕ»*

9. По аналогии со схемой на рис. 6.3 соберите схему для исследования логического элемента  $DD_4$ . Повторите пункты 2-6.

*Исследование RS-триггера*

10. Соберите схему, приведенную на рис. 6.4. Обратите внимание, что RS-триггер имеет входы  $R$  и  $S$ , а также выход  $Q$ , как показано на рис. 6.4.

11. Зарисуйте заготовку таблицы состояний  $RS$ -триггера (табл. 6.3). При этом:  $Q_n$  – текущее состояние триггера (контролируется по светодиоду);  $Q_{n-1}$  – предыдущее состояние триггера.

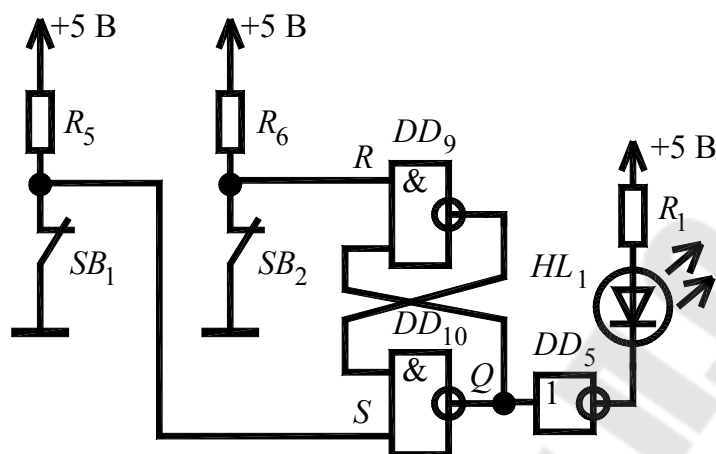


Рис. 6.4 Схема для исследования  $RS$ -триггера

Таблица 6.3

Таблица состояний  $RS$ -триггера

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

12. Подайте питание на стенд.

13. Заполните таблицу состояний  $RS$ -триггера, подавая с помощью кнопок соответствующие логические уровни на входы  $R$  и  $S$  триггера и контролируя логический уровень на его выходе  $Q$  с помощью светодиода. Обратите внимание, что два логических нуля на входы триггера подавать нельзя, так как это соответствует его режиму неопределённости. Поэтому в процессе исследований не отпускайте сразу обе кнопки. Заполняйте таблицу состояний одновременно с изменением логических уровней, не прерывая работу (не убирая рук с кнопок).

14. Отключите питание.

15. Отметьте в таблице состояний три основных режима  $RS$ -триггера: режим хранения информации (когда  $Q_n = Q_{n-1}$ ); режим ус-

тановки в «1» (когда  $Q_n = 1$  и  $Q_{n-1} = 0$ ); режим сброса в «0» (когда  $Q_n = 0$  и  $Q_{n-1} = 1$ ).

16. Отключите питание. Разберите схему.

### Исследование $D$ -триггера

17. Соберите схему, приведенную на рис. 6.5. Обратите внимание, что  $D$ -триггер имеет вход данных  $D$ , вход записи  $C$  и выход  $Q$ .

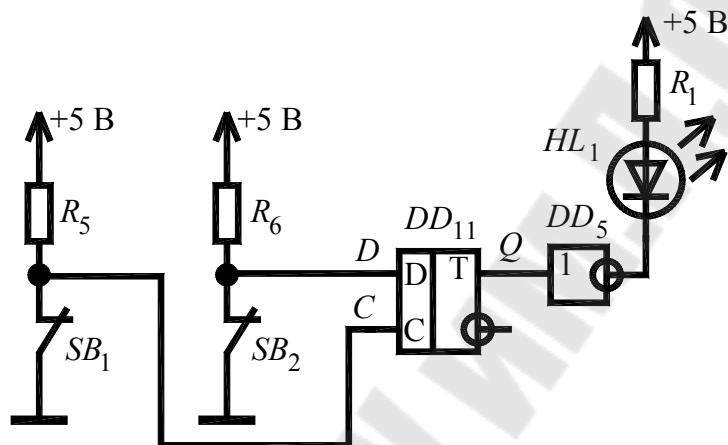


Рис. 6.5 Схема для исследования  $D$ -триггера

18. Нарисуйте заготовку диаграммы произвольной формы, но подобной диаграмме, показанной на рис. 6.6. На этой диаграмме должны быть нанесены отсечки временных интервалов с помощью штрихпунктирных линий в моменты изменения сигнала на входах  $D$  и  $C$ , как показано на рис. 6.6.

19. Подайте питание на стенд, а затем, не убирая рук с кнопок, выполните имитацию входных сигналов триггера:

а) с помощью кнопки  $SB_1$  установите необходимый логический уровень на входе  $D$  триггера для первого временного интервала и не убирайте руку с кнопки;

б) с помощью кнопки  $SB_2$  установите необходимый логический уровень на входе  $C$  триггера для первого временного интервала и не убирайте руку с кнопки;

в) в соответствии с показаниями светодиода для первого временного интервала зарисуйте значение сигнала на выходе  $Q$  триггера (+5 В, если светодиод светится; 0 В, если светодиод не светится).

г) повторите эти действия для всех временных интервалов, изобразив всю диаграмму на выходе  $Q$  триггера.



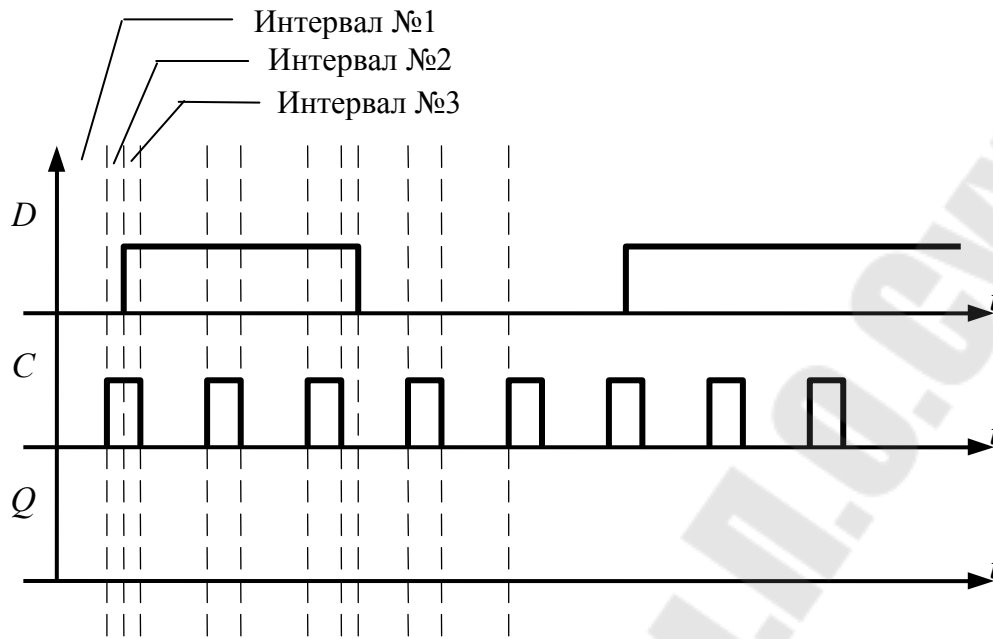


Рис. 6.6 Диаграмма для исследования  $D$ -триггера

20. Отключите питание. Разберите схему.

### Исследование $T$ -триггера

21. Соберите схему, приведенную на рис. 6.7. Обратите внимание, что  $T$ -триггер имеет вход  $C$  и выход  $Q$ .

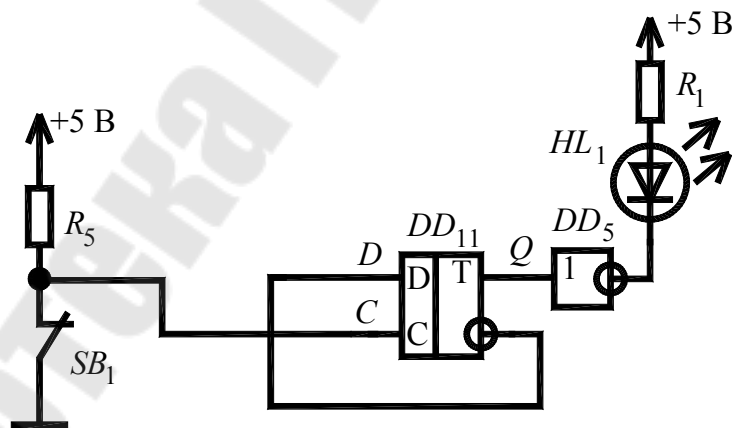


Рис. 6.7 Схема для исследования  $T$ -триггера

22. Нарисуйте заготовку диаграммы подобной диаграмме, показанной на рис. 6.8.

23. Для формирования последовательности импульсов на входе  $C$  триггера нажимайте на кнопку  $SB_1$ . Проследите за состояниями светодиода и зарисуйте сигнал, получаемый на выходе  $Q$  триггера. При необходимости воспользуйтесь временными интервалами как в предыдущем опыте.

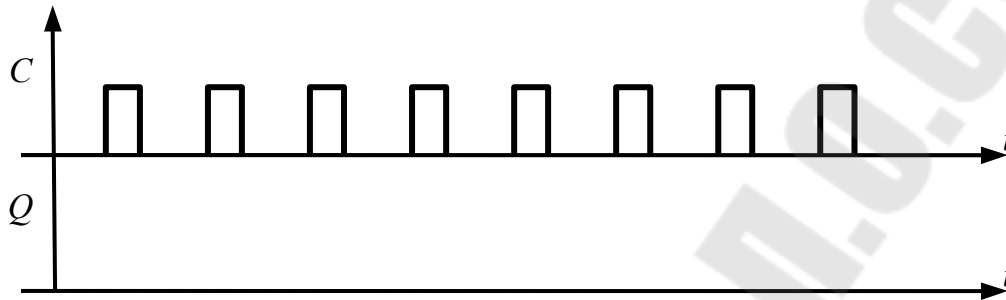


Рис. 6.8 Диаграмма для исследования  $T$ -триггера

24. Отключите питание. Разберите схему.

*Исследование четырёхразрядного двоичного счётчика в режиме прямого счёта*

25. Соберите схему, приведенную на рис. 6.9.

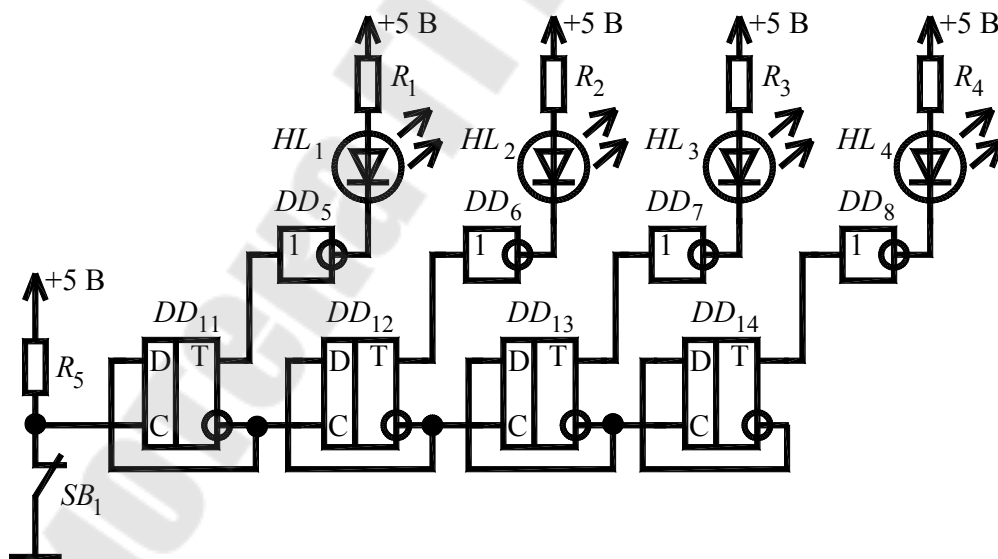


Рис. 6.9 Схема для исследования двоичного счётчика в режиме прямого счёта

26. Зарисуйте заготовку таблицы состояний (табл. 6.4).

Таблица состояний двоичного счётчика

№ импульса	HL <sub>4</sub>	HL <sub>3</sub>	HL <sub>2</sub>	HL <sub>1</sub>
0	0	0	0	0
16				

27. Нажимая на кнопку  $SB_1$ , добейтесь показания логических нулей на светодиодах  $HL_1$ – $HL_4$ .

28. Подавая счётные импульсы с помощью кнопки  $SB_1$ , заполните таблицу состояний.

29. Отключите питание. Схему можно не разбирать.

30. Проанализируйте правильность работы счётчика, воспользовавшись информацией из курса лекций.

*Исследование четырёхразрядного двоичного счётчика  
в режиме обратного счёта*

31. Не разбирая предыдущую схему, внесите изменения так, чтобы получилась схема, приведенная на рис. 6.10.

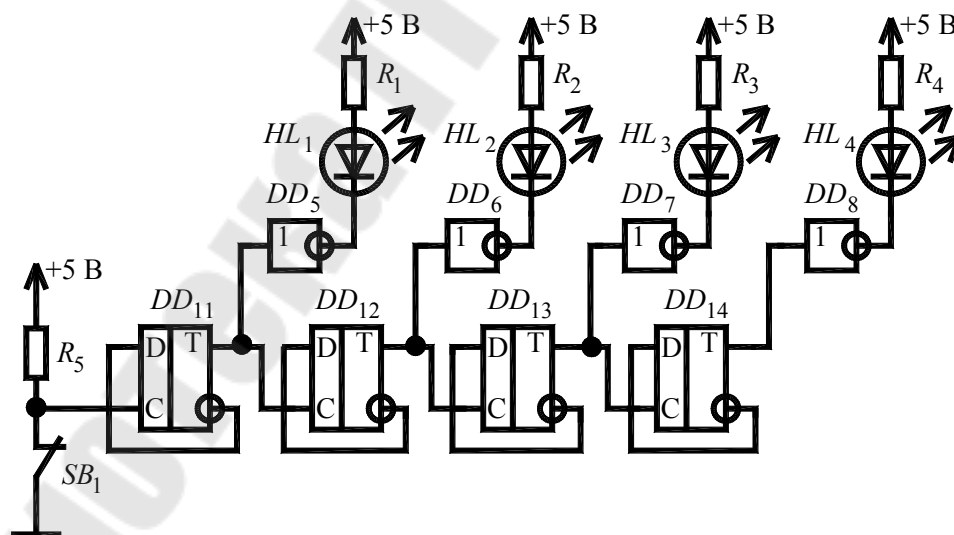


Рис. 6.10 Схема для исследования двоичного счётчика в режиме обратного счёта

32. Подайте питание на стенд.

33. Подавая счётные импульсы с помощью кнопки  $SB_1$ , заполните таблицу состояний, аналогичную табл. 6.4, но начиная со всех единиц.

34. Отключите питание. Разберите схему.

*Исследование четырёхразрядного регистра*

35. Соберите схему, приведенную на рис. 6.11. Обратите внимание, что регистр имеет вход записи  $C$  и входы данных  $D_0 - D_3$ . При сборке схемы вначале на входы данных подайте все логические нули. Логические уровни на выходах регистра контролируйте по светодиодам.

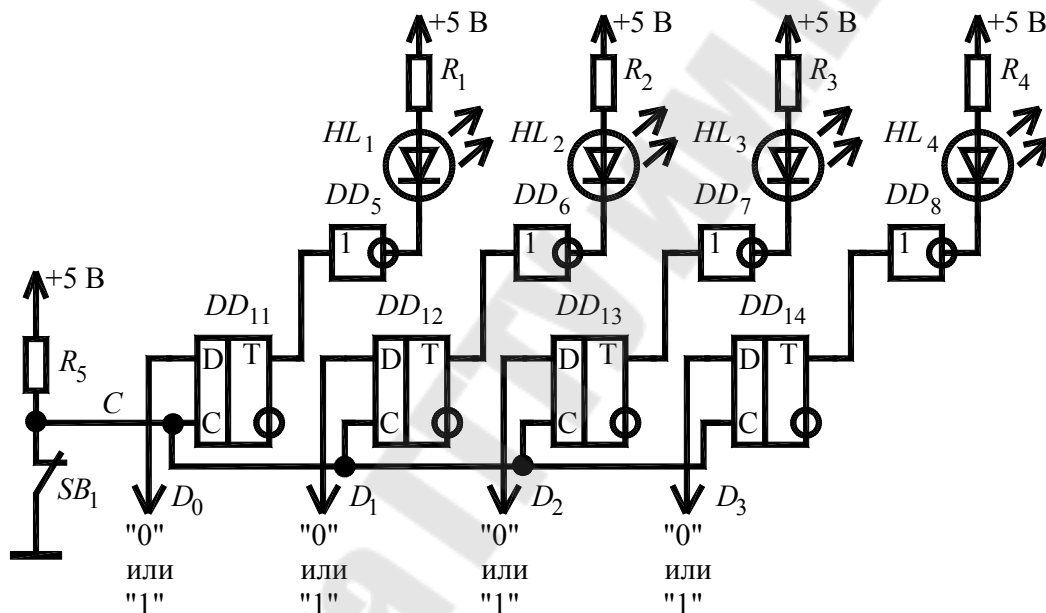


Рис. 6.11 Схема для исследования регистра

36. Подайте питание на стенд.

37. Кратковременно нажмите кнопку  $SB_1$  и сравните двоичные коды на входах и выходах регистра.

38. Не отключая питания, повторите п.37 4–5 раз, устанавливая на входах  $D_0 - D_3$  произвольные двоичные коды. Запишите все значения в черновик и отчёт.

39. Отключите питание. Разберите схему.

40. Сделайте выводы о правильности работы регистра, используя информацию из курса лекций.

*Исследование мультивибратора  
(генератора прямоугольных импульсов)*

41. Соберите схему, приведенную на рис. 6.12, используя вначале резистор  $R_7$  и конденсатор  $C_1$ .
42. Подайте питание на стенд и убедитесь, что светодиод мигает.
43. Подсчитайте количество колебаний мультивибратора за 100 секунд. Зная это, рассчитайте частоту  $f$  и период  $T$  колебаний мультивибратора.

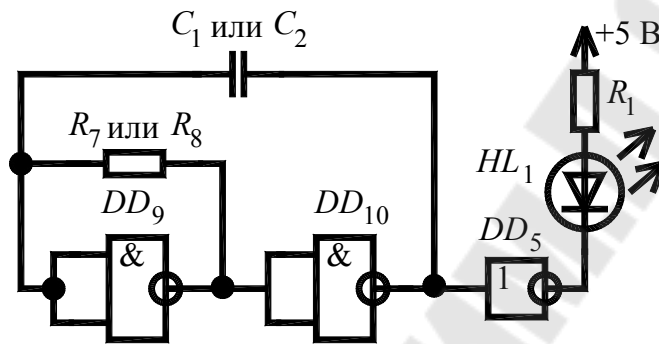


Рис. 6.12 Схема для исследования мультивибратора

44. Отключите питание.
45. Установите в схему другой резистор или конденсатор, подайте питание и повторите опыт с определением частоты и периода.
46. Отключите питание. Не разбирайте схему.

*Исследование двоичного счётчика с автоматическим переключением*

47. Дополните схему мультивибратора схемой двоичного счётчика, как показано на рис. 6.13.

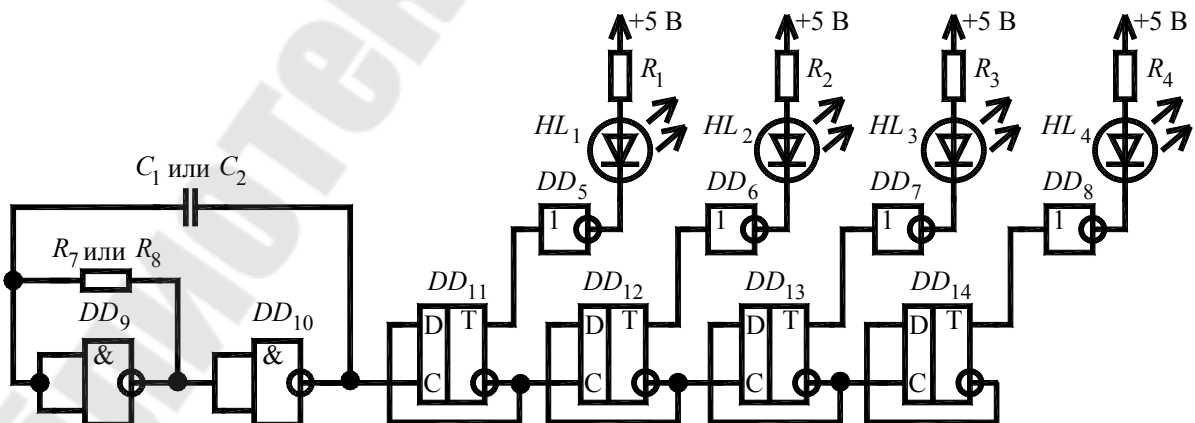


Рис. 6.13 Схема для исследования двоичного счётчика с автоматическим переключением

48. Пронаблюдайте за работой схемы и опишите наблюдаемые результаты в черновике и в отчёте.

### **Содержание отчёта**

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, схема опыта (цепи управления светодиодами можно не рисовать за исключением п.1), начерченная в соответствии с ГОСТ, комментарии к ходу работы, результаты опыта и выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Логические элементы: классификация, условные обозначения, таблицы истинности, области применения.
2. *RS*-триггер: схема, принципы работы, области применения.
3. *D*-триггер: схема, принципы работы, области применения.
4. *T*-триггер: схема, принципы работы, области применения.
5. Двоичный счётчик: схема, принципы работы, области применения.
6. Регистр: схема, принципы работы, области применения.
7. Мультивибратор: схема, принципы работы, области применения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ И АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

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 по отношению к ЦАП).

Условные обозначения  $n$  - разрядных ЦАП и АЦП, а также основные расчетные соотношения приведены на рис. 7.1.

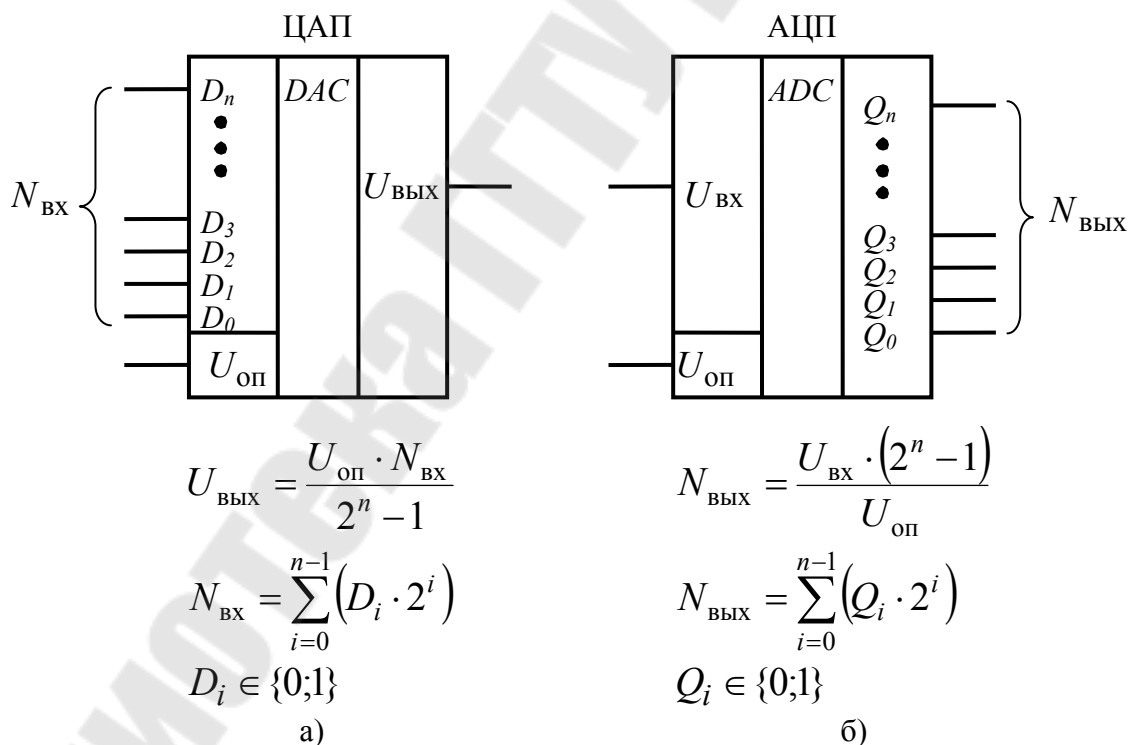


Рис. 7.1 Условные обозначения и основные расчётные соотношения для ЦАП (а) и АЦП (б)

На рис. 7.1 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;  $n$  - разрядность.

ЦАП и АЦП имеют следующие основные характеристики:

- время преобразования;
- погрешность смещения;
- погрешность нелинейности;
- погрешность квантования.

**Время преобразования** – это интервал времени, за который окончательно устанавливается выходная величина при скачкообразном изменении входной величины.

**Погрешность смещения:**

- для ЦАП это значение выходного напряжения, при котором входной двоичный код равен нулю;
- для АЦП это значение входного напряжения, при котором выходной двоичный код равен нулю.

**Погрешность нелинейности** – это максимальное отклонение реальной передаточной характеристики от идеальной характеристики, выраженное в единицах напряжения.

**Погрешность квантования:**

- для ЦАП это максимальное изменение значения выходного напряжения при изменении входного двоичного кода на единицу;
- для АЦП это максимальное изменение значения входного напряжения при изменении выходного двоичного кода на единицу.

Абсолютные погрешности смещения  $\Delta U_{\text{см}}$ , нелинейности  $\Delta U_{\text{нл}}$  и квантования  $\Delta U_{\text{кв}}$  показаны на передаточных характеристиках ЦАП (рис. 7.2) и АЦП (рис. 7.3).



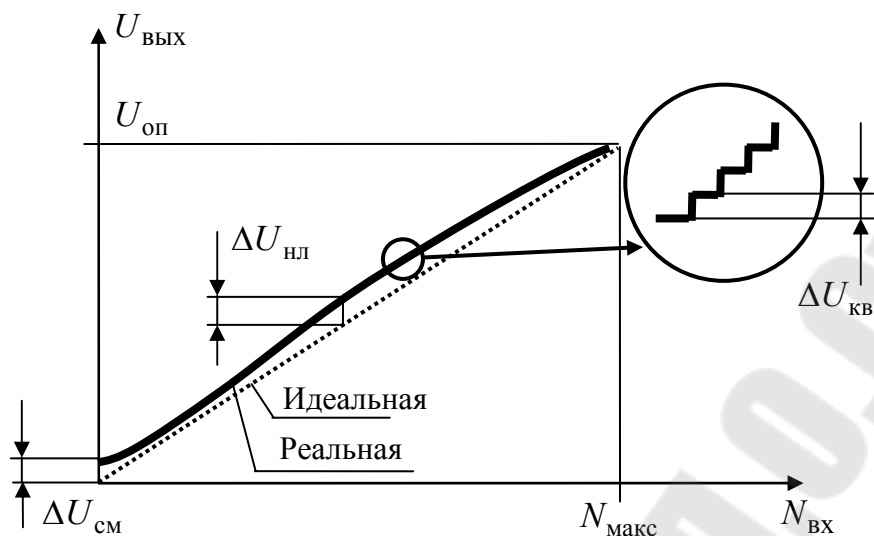


Рис. 7.2 Передаточная характеристика ЦАП

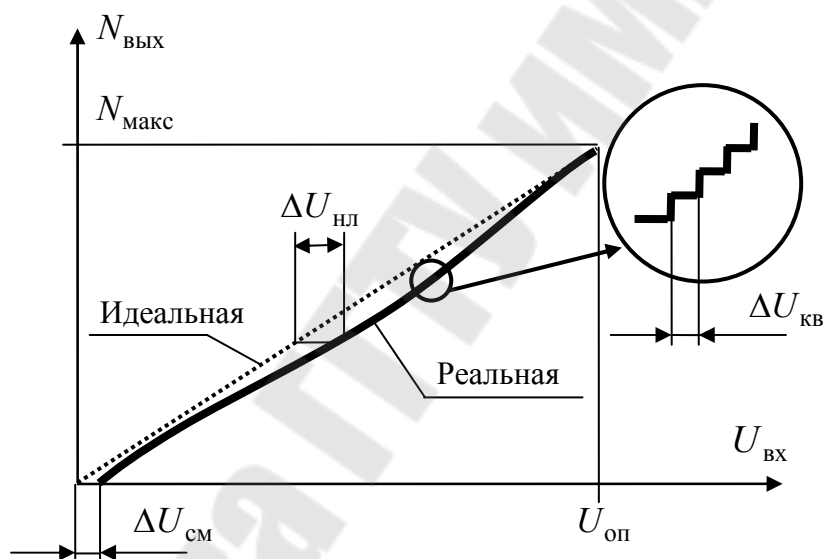


Рис. 7.3 Передаточная характеристика АЦП

Чем выше разрядность ЦАП и АЦП, тем ниже погрешность квантования.

Наибольшее распространение в электронных устройствах, применяющихся в энергетике, имеют АЦП **последовательных приближений**, которые реализуют на основе ЦАП. Схема простейшего АЦП такого типа будет исследоваться в работе.

## Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выполнена в виде малогабаритного стенда (рис. 7.4), на лицевой панели которого приведены условные графические обозначения исследуемых элементов и фрагментов схем.

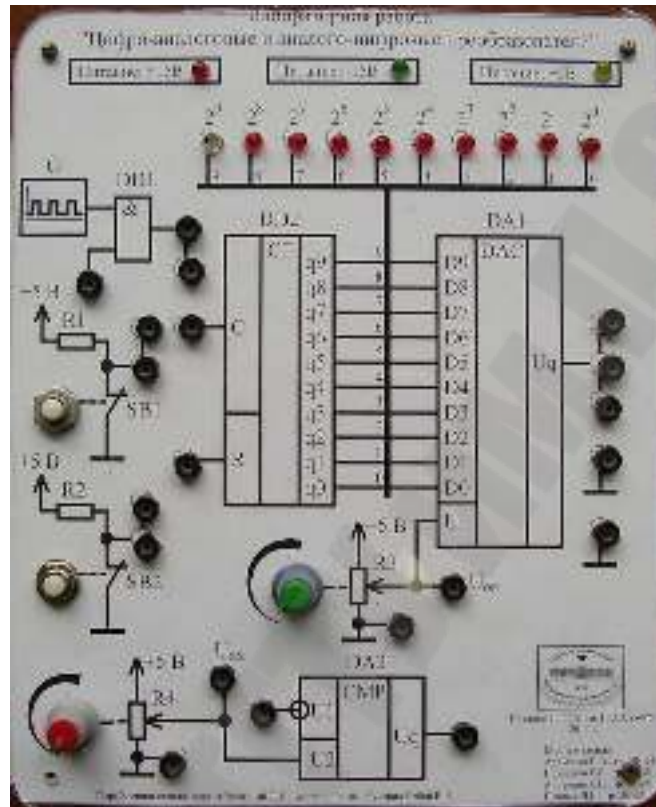


Рис. 7.4 Внешний вид лабораторного стенда

На стенде имеются следующие основные элементы:

- $R_1, R_2$  – резисторы для ограничения тока;
- $SB_1, SB_2$  – кнопки;
- $G$  – генератор импульсов (мультивибратор);
- $DD_1$  – логический элемент «И»;
- $DD_2$  – десятиразрядный двоичный счётчик;
- $DA_1$  – десятиразрядный ЦАП;
- $DA_2$  – компаратор;
- $R_3$  – резистор для регулировки опорного напряжения;
- $R_4$  – резистор для регулировки входного напряжения.

На правой боковой панели расположены выключатели напряжений питания: «+15 В»; «-15 В»; «+5 В». На задней боковой панели имеется разъём для подключения питания.

Для включения питания необходимо:

4) убедиться, что выключатели питания находятся в положении «Отключено»;


5) присоединить разъём питания;

6) включить выключатели питания и убедиться, что соответствующие светодиоды на лицевой панели стенда светятся.

В процессе работы разъём питания должен быть подключен постоянно. Включать – отключать питание нужно выключателями.

**Внимание!** Во избежание выхода из строя электронных компонентов при сборке и разборке схемы, питание стенда необходимо обязательно отключить выключателями.

**Внимание!** Запрещается включать стенд без проверки схемы преподавателем.

В стенде логической «1» соответствует напряжение +5 В, а логическому нулю – напряжение 0 В, которое всегда имеется в общей точке схемы, обозначенной символом  .

Измерения осуществляются путём подключения измерительных проводов приборов к специальным штырькам с жёсткими выводами.

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

Кнопки  $SB_1$ ,  $SB_2$  представлены в схеме стенда своими нормально замкнутыми контактами. Это значит, что если кнопка не нажата, то её контакт замкнут, а если нажата – разомкнут. Таким образом, резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  защищают источник питания от короткого замыкания.

Схема для изучения ЦАП показана на рис. 7.5.

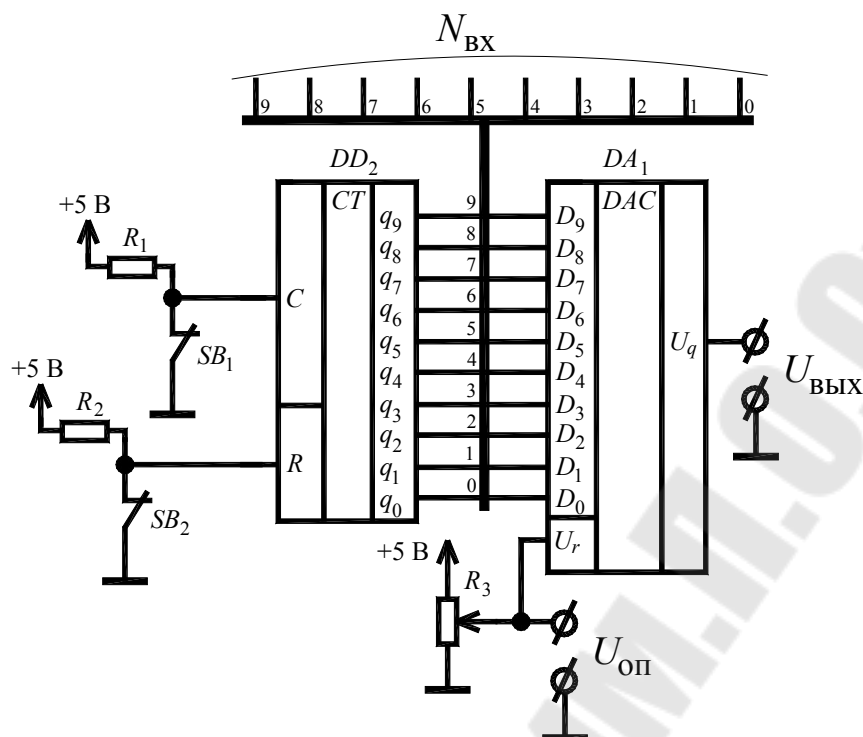


Рис. 7.5 Схема для изучения ЦАП

Схема работает следующим образом.

При нажатии на кнопку  $SB_2$  на вход сброса  $R$  двоичного счётчика  $DD_2$  подаётся логическая «1», и на всех его выходах  $q_0 - q_9$  появляются логические нули. Выходы  $q_0 - q_9$  двоичного счётчика соединены с соответствующими цифровыми входами ЦАП  $DA_1$ . Поэтому при сбросе двоичного счётчика выходное напряжение ЦАП  $U_{\text{ВЫХ}}$  должно стремиться к нулю вольт.

При каждом нажатии на кнопку  $SB_1$  на счётный вход  $C$  двоичного счётчика будут подаваться логические единицы, и на его выходах будет формироваться соответствующий двоичный код  $N_{\text{ВХ}}$ , являющийся входным для ЦАП. При этом на выходе ЦАП будет изменяться значение напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  пропорционально значению опорного напряжения  $U_{\text{ОП}}$  и входному коду  $N_{\text{ВХ}}$  по формулам на рис.7.1,а.

Схема для изучения АЦП последовательных приближений показана на рис. 7.6.

Схема работает следующим образом.

Процесс преобразования АЦП запускается после нажатия и отпущения кнопки  $SB_2$ . Счётные импульсы, вырабатываемые генератором  $G$ , через логический элемент «И»  $DD_1$  поступают на счётный

вход двоичного счётчика  $DD_2$ . При этом значение двоичного кода на выходах счётчика начинает возрастать, что приводит к пропорциональному возрастанию напряжения на выходе ЦАП  $DA_1$ . Это напряжение подаётся на инвертирующий вход  $U_1$  компаратора  $DA_2$ , где сравнивается с входным напряжением  $U_{ВХ}$ .

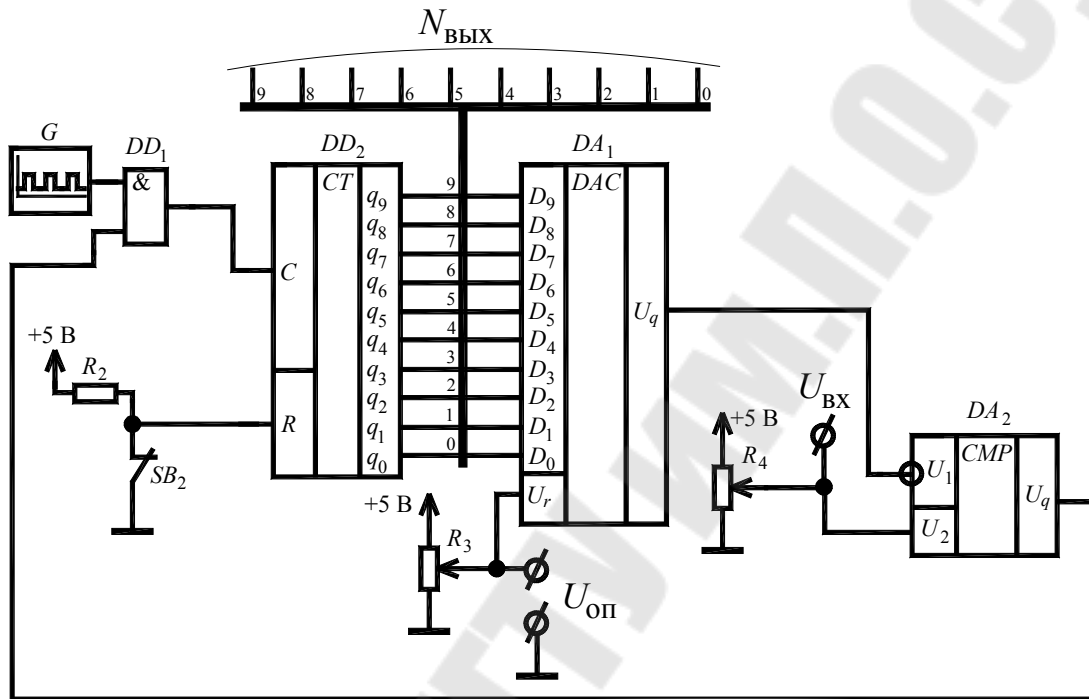


Рис. 7.6 Схема для изучения АЦП

Пока напряжение на выходе ЦАП ниже, чем напряжение  $U_{ВХ}$ , на выход компаратора выдаётся логическая «1». Эта единица поступает на второй вход логического элемента «И», разрешая подачу импульсов на двоичный счётчик. Но как только напряжение на выходе ЦАП превысит значение напряжения  $U_{ВХ}$ , на выходе компаратора появится логический «0», который с помощью логического элемента «И» запретит подачу импульсов на двоичный счётчик (продумайте – почему). В этот момент преобразование АЦП будет завершено, и двоичный код, появившийся на выходах двоичного счётчика, будет равен требуемому выходному двоичному коду АЦП  $N_{ВЫХ}$  в соответствии с формулами на рис. 7.1, б.

Для выполнения работы необходим цифровой вольтметр постоянного напряжения.

## Порядок выполнения работы

### Изучение работы ЦАП

1. Соберите схему, показанную на рис. 7.5. Продумайте принцип её работы.
2. Включите питание стенда.
3. Установите произвольное значение опорного напряжения в диапазоне от 2 до 5 В. Не стремитесь установить круглое значение этого напряжения. Запишите значение выставленного напряжения с точностью до милливольт.
4. Выполните сброс двоичного счётчика и ЦАП. Измерьте значение выходного напряжения ЦАП, которое будет равно погрешности смещения.
5. Подавая счётные импульсы, снимите передаточную характеристику ЦАП, то есть зависимость выходного напряжения от входного двоичного кода. Записывайте значения входного двоичного кода (по светодиодам) как в двоичной, так и в десятичной системах счисления, а также значения выходного напряжения в таблицу каждые 32 импульса (табл. 7.1.). Всего необходимо подать 1023 импульса (продумайте – почему). Записывайте значения выходного напряжения с точностью до милливольт.
6. В ту же таблицу занесите расчётные значения выходного напряжения в соответствии с формулами на рис. 7.1, а.

Таблица 7.1

Заготовка таблицы для измерения передаточной характеристики ЦАП

$N_{\text{вх. bin}}$	$N_{\text{вх. dec}}$	$U_{\text{вых, измер}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых, расч}}, \text{ В}$
0000000000	0		
0000100000	32		
1111111111	1023		

7. Отключите питание стенда, разберите схему.
8. При оформлении отчёта постройте расчётную и измеренную передаточные характеристики на одном графике. Определите погрешности смещения, нелинейности и квантования (см. теоретическую часть).

*Изучение работы АЦП последовательных приближений*

1. Соберите схему, показанную на рис. 7.6. Продумайте принцип её работы.
2. Включите питание стенда.
3. Установите произвольное значение опорного напряжения в диапазоне от 3 до 5 В. Не стремитесь установить круглое значение этого напряжения. Запишите значение выставленного напряжения с точностью до милливольт.
4. Установите произвольное значение входного напряжения, не превышающее значение опорного напряжения.
5. Запустите в работу АЦП, подав импульс сброса двоичного счётчика. Дождитесь окончания процесса преобразования. Если процесс не останавливается, то обратитесь за помощью к преподавателю.
6. Запуская 3-4 раза АЦП, измерьте с помощью ручного секундомера (в смартфоне) среднее время преобразования.
7. Изменяя входное напряжение от 0 В до значения опорного напряжения и запуская АЦП, измерьте его передаточную характеристику. Проведите измерения не менее чем для 15 точек. Занесите результаты в таблицу (табл. 7.2), записывая выходной двоичный код, как в двоичной, так и в десятичной системах счисления. Не стремитесь выставить круглое значение входного напряжения. Записывайте значения входного напряжения с точностью до милливольт.
8. В ту же таблицу занесите расчётные значения выходного двоичного кода в соответствии с формулами на рис. 7.1, б.

Таблица 7.2

Заготовка таблицы для измерения передаточной характеристики АЦП

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$N_{\text{вых. bin, измер}}$	$N_{\text{вых. dec, измер}}$	$N_{\text{вых. dec, расч}}$

9. Отключите питание стенда, разберите схему.
10. При оформлении отчёта постройте расчётную и измеренную передаточные характеристики на одном графике. Определите погрешности смещения, нелинейности и квантования (см. теоретическую часть).

## Содержание отчёта

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, схема опыта, начерченная в соответствии с ГОСТ, комментарии к ходу работы, расчётные формулы, результаты опыта в виде таблиц и графиков, выводы. Для расчётов и построения графиков рекомендуется воспользоваться программой *Excel*.

### Контрольные вопросы

1. Условные обозначения, расчётные формулы и принципы работы ЦАП.
2. Передаточная характеристика и погрешности ЦАП.
3. Схема для изучения работы ЦАП (рис. 7.5) и принципы её работы.
4. Условные обозначения, расчётные формулы и принципы работы АЦП.
5. Передаточная характеристика и погрешности АЦП.
6. Схема для изучения работы АЦП (рис. 7.6) и принципы её работы.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 АРИФМЕТИЧЕСКО-ЛОГИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

**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.

Для выполнения арифметических операций АЛУ содержит многоразрядный сумматор, например, 8-ми или 32-х разрядный.

Схема простейшего одноразрядного арифметического сумматора изображена на рис. 8.1.

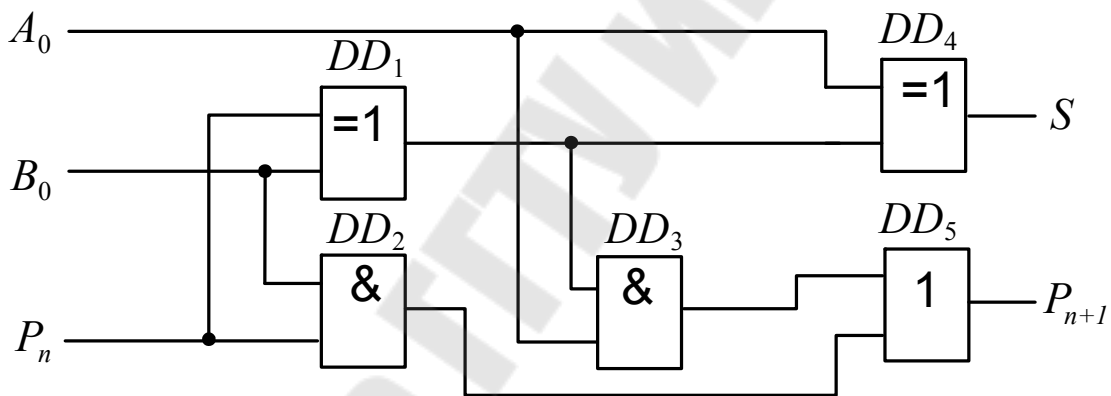


Рис. 8.1 Схема одноразрядного сумматора

Сумматор состоит из логических элементов: «Исключающее ИЛИ» ( $DD_1$  и  $DD_4$ , табл. 8.1), логических элементов «И» ( $DD_2$  и  $DD_3$ ) и логического элемента «ИЛИ» ( $DD_5$ ).

Таблица 8.1

Таблица истинности логического элемента «Исключающее ИЛИ»

$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Схема складывает арифметически два бита  $A_0$  и  $B_0$ , а также бит текущего переноса  $P_n$ . Результат сложения выдаётся в виде бита суммы  $S$  и бита следующего переноса  $P_{n+1}$ .

Арифметическое сложение двоичных чисел действует по следующим правилам:

$$0+0+0=00;$$

$$0+1+0=01;$$

$$1+1+0=10;$$

$$1+1+1=11.$$

Зная таблицы истинности логических элементов, продумайте самостоятельно, как работает схема на рис. 8.1.

Арифметическое вычитание в АЛУ заменяется сложением по следующему правилу:

$$A - B = A + B_{\text{доп}};$$

$$B_{\text{доп}} = \bar{B} + 1,$$

где:  $B_{\text{доп}}$  – число в дополнительном коде;  $\bar{B}$  – инвертированное число.

Если результат вычитания больше нуля, то из полученной двоичной суммы необходимо убрать старший бит (бит переноса).

Если результат вычитания меньше нуля, то он автоматически получается в дополнительном коде. Для перехода в обычный код результат нужно инвертировать и затем арифметически прибавить единицу.

Логические операции выполняются по другим правилам по сравнению с арифметическими операциями. Для логических операций необходимо использовать таблицы истинности для каждого бита, при этом никаких переносов не происходит.

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

Пример выполнения указанных операций над числами  $A=3$  и  $B=6$  с результатом  $F$  приведен в табл. 8.2. Аналогичные операции с инверсным кодом одного из чисел обозначаются чертой сверху. Например:  $\bar{A} \wedge B$ .

Таблица 8.2

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

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

АЛУ также выполняет смешанные операции. Например, операция  $A + (A \wedge \overline{B})$  для чисел  $A = 0011$  и  $B = 0110$  выполняется в следующей последовательности:

1.  $\overline{B} = \overline{0110} = 1001$ .
2.  $A \wedge \overline{B} = 0011 \wedge 1001 = 0001$ .
3.  $A + (A \wedge \overline{B}) = 0011 + 0001 = 0100$ .

### Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде (рис. 8.2) расположены элементы для исследования одноразрядного сумматора и АЛУ.

В нижней половине стенда имеются кнопки для подачи логических уровней на входы схемы, а также светодиоды для визуального контроля этих уровней. На выходах схемы также имеются светодиоды индикации логических уровней.

В верхней половине стенда располагаются элементы для исследования АЛУ, реализованного на основе микросхемы К155ИПЗ.

Значения входных величин  $A$  и  $B$  задаются путём многократного нажатия на кнопки «Операнд  $A$ » и «Операнд  $B$ ». При этом соответствующие двоичные счётчики формируют требуемые двоичные коды, индицируемые светодиодами  $A_0 - A_3$  и  $B_0 - B_3$ .

Тип операции АЛУ задаётся переключателями  $S_0 - S_3$  «Код команды» и переключателем  $M$  «Вид операции» в соответствии с табл. 8.3.

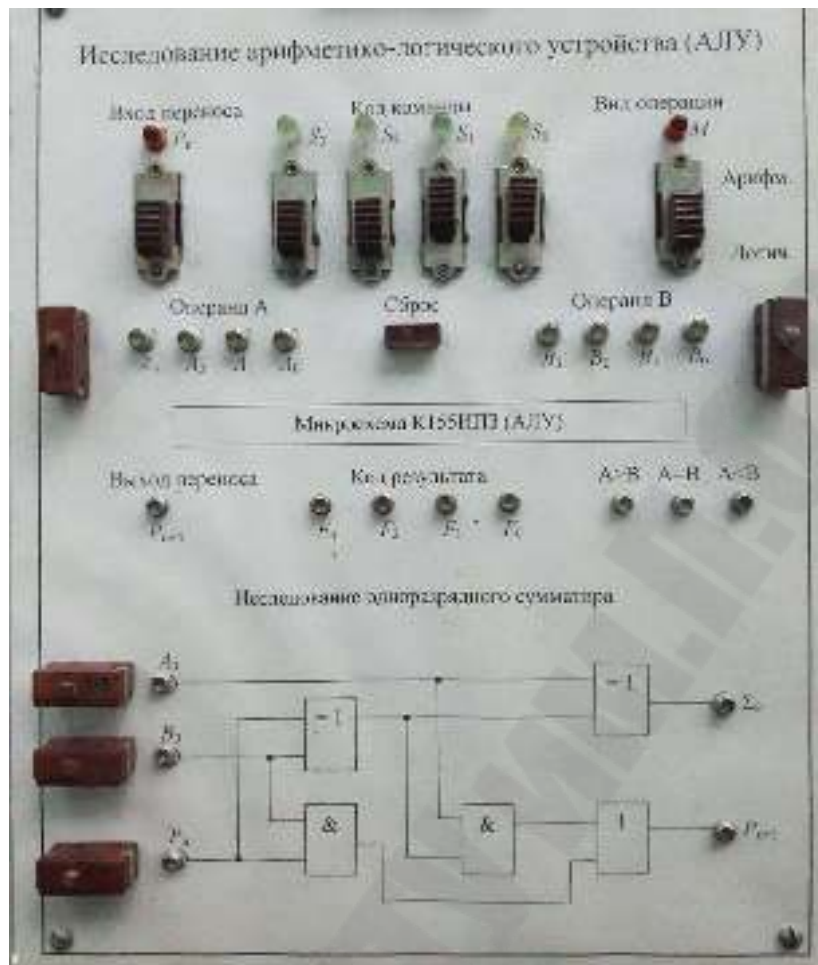


Рис. 8.2 Внешний вид лабораторного стенда

Результат операции отображается на светодиодах  $F_0-F_3$  «Код результата» и светодиоде  $P_{n+4}$  «Выход переноса».

Знак результата можно наблюдать на светодиодах  $A > B$ ,  $A = B$  и  $A < B$ .

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 прибавляется единица, т. е. 0001.

Питание на стенд подаётся через разъём, расположенный на задней панели.

**Внимание!** Проверьте правильность подключения к разъёму питания, следя за расположением ключа – штырька, разъёма повернутого горизонтально!

Таблица 8.3

## Выбор функций АЛУ

Код операции	$M = 0$	$M = 1$
0000	$\overline{A}$	$A$
0001	$\overline{A \vee B}$	$(A \vee B)$
0010	$\overline{A \wedge B}$	$(A \vee \overline{B})$
0011	0	-1
0100	$\overline{A \wedge B}$	$A + (A \wedge \overline{B})$
0101	$\overline{B}$	$(A \vee B) + (A \wedge \overline{B})$
0110	$A \oplus B$	$A - B - 1$
0111	$A \wedge \overline{B}$	$(A \wedge \overline{B}) - 1$
1000	$\overline{A \vee B}$	$A + (A \wedge B)$
1001	$\overline{B \oplus B}$	$A + B$
1010	$B$	$(A \vee \overline{B}) + (A \wedge B)$
1011	$A \wedge B$	$(A \wedge B) - 1$
1100	-1	$A + A$
1101	$A \vee \overline{B}$	$(A \vee B) + A$
1110	$A \vee B$	$(A \vee \overline{B}) + A$
1111	$A$	$A - 1$

## Порядок выполнения работы

*Исследование одnorазрядного сумматора*

1. Подайте питание на стенд.
2. С помощью кнопок подавайте на входы сумматора все комбинации логических уровней (от 000 до 111) и записывайте результат в виде двухбитного двоичного числа. Занесите результаты в таблицу истинности.
3. Сравните полученные результаты с теоретическими результатами.

*Исследование АЛУ*

4. Получите значения чисел  $A$  и  $B$  (в десятичном коде) у преподавателя.
5. В соответствии с вариантом задания (табл. 8.4) в черновике и отчёте подробно по действиям выполните теоретические расчёты по

всем необходимым операциям над числами  $A$  и  $B$  в двоичном коде. Продемонстрируйте результаты преподавателю.

Таблица 8.4

Операции по вариантам

Вариант	Операции
1	$A \oplus B; \overline{A \vee B}; A + A; A + (A \wedge \overline{B}); (A \vee \overline{B}) + A$
2	$A \vee B; \overline{A \wedge B}; \overline{A \wedge B}; (A \vee B) + (A \wedge \overline{B}); A - 1$
3	$A \wedge B; A \wedge \overline{B}; \overline{B \oplus B}; (A \vee \overline{B}) + (A \wedge B); A - B - 1$
4	$A \vee \overline{B}; \overline{A \vee B}; A + B; A + (A \wedge B); (A \wedge \overline{B}) - 1$
5	$\overline{A \vee B}; \overline{A \wedge B}; A - 1; (A \vee B) + A; (A \wedge B) - 1$

6. С помощью соответствующих кнопок установите требуемые значения чисел  $A$  и  $B$  на лабораторном стенде.

7. С помощью переключателей  $S_0-S_3$  и  $M$  выберите необходимую операцию по варианту задания (табл. 8.4 и 8.3).

8. Запишите двоичный код полученного результата и сравните его с соответствующим теоретическим результатом. В случае их несовпадения, продумайте, в чём ошибка.

9. Повторите пункты 7, 8 для всех требуемых операций.

10. Отключите стенд.

### Содержание отчёта

Отчёт должен иметь следующую структуру: название опыта, схема опыта (при наличии), результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы.

### Контрольные вопросы

1. Принципы арифметического сложения двоичных чисел.
2. Принципы арифметического вычитания двоичных чисел.
3. Принципы логической дизъюнкции двоичных чисел.
4. Принципы логической конъюнкции двоичных чисел.
5. Смешанные арифметическо-логические операции.
6. Основные функции и области применения АЛУ.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9 МНОЖИТЕЛЬНЫЙ БЛОК КОМБИНАЦИОННОГО ТИПА

**Цель работы:** ознакомиться с принципами перемножения двоичных чисел и работой множительных логических блоков

### Краткие теоретические сведения

Операции арифметического умножения и деления в микропроцессорных системах традиционно выполняются с помощью специальных подпрограмм умножения, осуществляющих последовательное многократное суммирование множимого. После первого суммирования осуществляется сдвиг кода суммы вправо, затем снова суммирование с множимым и так продолжается несколько раз в зависимости от разрядности множителя. Таким образом, подпрограмма умножения занимает значительное машинное время.

В современных электронных устройствах для нужд энергетики, таких как счётчики электроэнергии, применяются специализированные интегральные микросхемы, выполняющие операции умножения и деления двоичных чисел аппаратным способом – *DSP (Digital Signal Processor)* – цифровые сигнальные процессоры. С помощью таких микросхем процесс умножения или деления занимает один машинный цикл, что позволяет значительно увеличить быстродействие устройства. Так, например, в счётчиках электроэнергии в реальном времени осуществляется умножение значений напряжения и тока.

На рис. 9.1 приведен пример реализации аппаратного множительного блока четырёхразрядного числа на двухразрядное число. Этот блок относится к устройствам комбинационного типа. Результат операции умножения на его выходе появляется сразу после введения исходных данных без промежуточных последовательных действий.

Устройство состоит из восьми логических элементов «И»  $DD_1 - DD_8$  и четырёх одноразрядных сумматоров  $DD_9 - DD_{12}$ , имеющих входы слагаемых  $A$  и  $B$ , вход переноса предыдущего слагаемого  $P$ , результат суммы  $S$  и выход переноса в следующий разряд  $P$ .

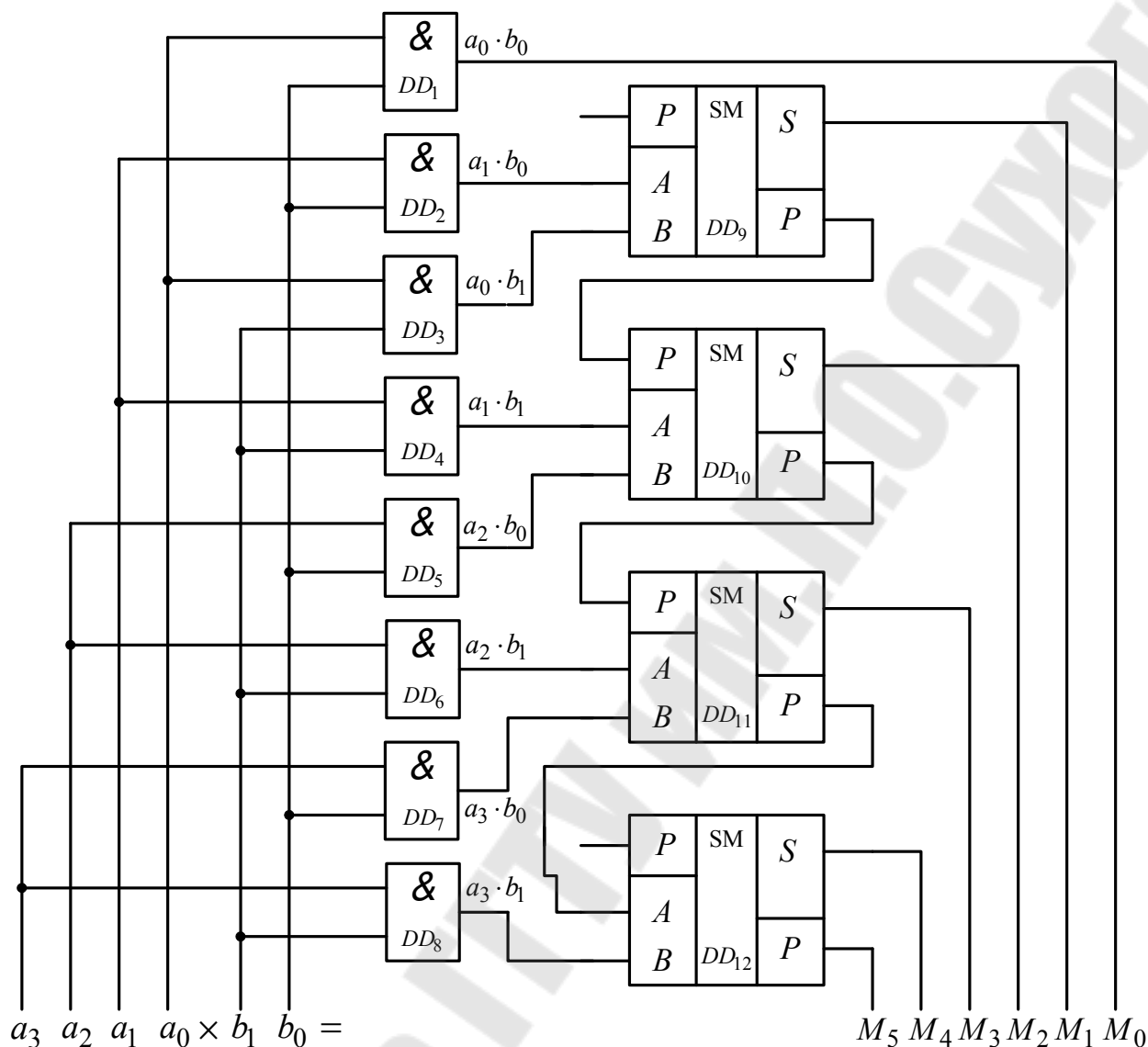


Рис. 9.1 Схема множительного блока комбинационного типа

Логические элементы «И»  $DD_1 - DD_8$  осуществляют операцию логического умножения (конъюнкцию) двух входных одноразрядных чисел  $a_i$  и  $b_i$ . В результате появляется одноразрядное число, равное промежуточному произведению  $a_i \wedge b_i = a_i \cdot b_i$ . Если один из множителей равен нулю, то и промежуточное произведение равно нулю. Логическая единица на выходе элемента «И» появляется только при умножении двух единиц. При поразрядном умножении многозначных чисел требуется такое количество двухвходовых элементов «И», которое равно произведению разрядов обоих сомножителей, то есть в данном случае 8 штук. Для получения искомого результата ум-



ножения промежуточные произведения складываются с помощью сумматоров  $DD_9-DD_{12}$ . Сигнал переноса  $P$  от последнего сумматора выводится как старший разряд  $M_5$  искомого произведения.

Ниже показан алгоритм умножения четырёхразрядного числа на двухразрядное число.

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccc}
 & a_3 & a_2 & a_1 & a_0 \\
 \times & & & b_1 & b_0 \\
 \hline
 & & & a_3 \cdot b_0 & a_2 \cdot b_0 & a_1 \cdot b_0 & a_0 \cdot b_0 \\
 + & a_3 \cdot b_1 & a_2 \cdot b_1 & a_1 \cdot b_1 & a_0 \cdot b_1 & & \\
 \hline
 M_5 & M_4 & M_3 & M_2 & M_1 & M_0
 \end{array}
 \end{array}$$

Рассмотрим численный пример умножения двух чисел  $11 \cdot 2 = 22$ :

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccc}
 & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 \times & & & 1 & 0 \\
 \hline
 + & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & 1 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0
 \end{array}
 \end{array}$$

Приведенная на рис. 9.1 схема множительного блока имеет разрядность  $4 \times 2$ . Аналогично можно построить схему множителя с разрядностью  $2 \times 2$  (нарисуйте самостоятельно). Аппаратный множитель с большим числом разрядов сомножителей получают путем наращивания однотипных блоков в виде матрицы. Например, множитель  $4 \times 4$  можно составить из двух блоков множителей  $4 \times 2$  или из четырёх блоков  $2 \times 2$ .

## Описание лабораторной установки

На лабораторном стенде (рис. 9.2) расположены элементы для исследования множительного блока комбинационного типа  $4 \times 2$ .

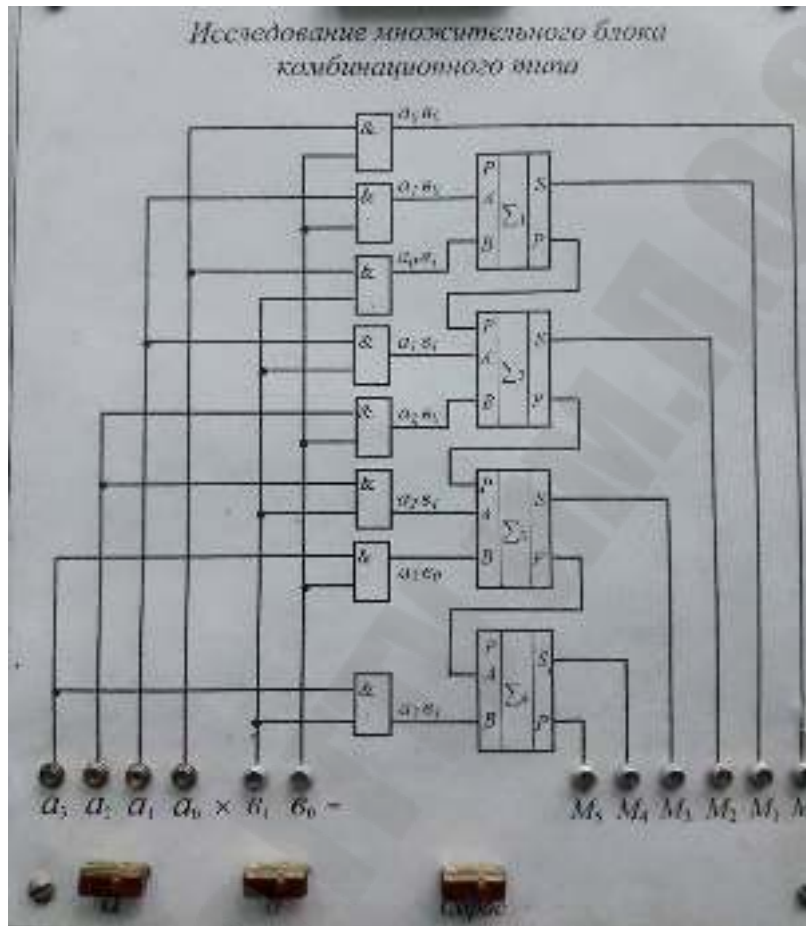


Рис. 9.2 Внешний вид лабораторного стенда

Нажимая кнопки « $a$ » и « $b$ », можно последовательно проходить все комбинации двоичных кодов сомножителей (четырёхразрядного числа  $a$  и двухразрядного числа  $b$ ) и сразу же наблюдать результат перемножения и виде шестиразрядного числа  $M$ .

Питание на стенд подаётся через разъём, расположенный на задней панели.

**Внимание!** Проверяйте правильность подключения к разъёму питания, следя за расположением ключа – штырька, разъёма повернутого горизонтально!

## Порядок выполнения работы

1. Получите задание у преподавателя в виде трёх примеров умножения двух чисел (примеры задаются в десятичном эквиваленте) Число  $a$  должно быть от 1 до 15, а число  $b$  от 1 до 7.
2. Переведите заданные сомножители в двоичный код и перемножьте их столбиком в двоичном коде. Продемонстрируйте результаты преподавателю.
3. Включите стенд (подключите разъем питания) и обнулите исходные данные, кратковременно нажав кнопку «Сброс».
4. Поочерёдно нажимая на кнопки  $a$  и  $b$ , установите на стенде двоичные коды заданных чисел.
5. Сравните результаты полученных произведений  $M$  с аналитическим расчетом по п. 2.
6. Отключите стенд.
7. Разработайте схему множительного блока на два двухразрядных числа. Продемонстрируйте результаты преподавателю.

## Содержание отчёта

Отчёт должен содержать цель работы, примеры расчёта произведений заданных чисел и схему множительного блока на два двухразрядных числа.

## Контрольные вопросы

1. Области применения аппаратных множительных блоков.
2. Правила перемножения двоичных чисел.
3. Принципы работы множительных блоков комбинационного типа.
4. Порядок построения множительного блока  $2 \times 2$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зализный, Д.И. Электроника и информационно-измерительная техника: учеб. пособие / Д. И. Зализный, О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 177 с.
2. Зализный, Д.И. Электроника и информационно-измерительная техника: практикум по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети" дневной формы обучения / Д. И. Зализный, А. А. Капанский. - Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 47 с.
3. Лачин, В. И. Электроника: учебное пособие для вузов / В. И. Лачин, Н. С. Савелов. – Изд. 8-е. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 703 с.
4. Кузин, А.В. Микропроцессорная техника. / А.В. Кузин, М.А. Жаворонков. – Москва: Академия, 2004. – 304 с.
5. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин. – Москва: Высшая школа, 1982. – 496 с.

**Зализный Дмитрий Иванович**

**ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**Практикум**

**по выполнению лабораторных работ  
для студентов специальностей**

**1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»  
и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 24.06.19.

Рег. № 82Е.  
<http://www.gstu.by>