

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Теоретические основы электротехники»

**М. П. Тиличенко, П. П. Изотов**

## **АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по курсу «Электротехника и электроника»  
для студентов неэлектротехнических специальностей  
дневной и заочной форм обучения**

**В двух частях**

**Часть 2**

**Гомель 2010**

УДК 621.38(075.8)  
ББК 32.859я73  
Т40

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 6 от 28.06.2009 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Промышленная электроника»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *Н. И. Вяхирев*

**Тиличенко, М. П.**  
Т40 Аналоговые и цифровые электронные устройства : лаборатор. практикум по курсу «Электротехника и электроника» для студентов неэлектротехн. специальностей днев. и заоч. форм обучения : в 2 ч. Ч. 2 / М. П. Тиличенко, П. П. Изотов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 71 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Способствует приобретению студентами практического опыта использования системы автоматизированного проектирования технологических процессов ТехноПро.

Для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.38(075.8)  
ББК 32.859я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

## Лабораторная работы № 6

### Структурные элементы вторичных источников питания без преобразования частоты

#### Цели работы:

- изучить назначение трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра и стабилизатора напряжения;
- изучить разновидности, параметры, характеристики и принцип работы выпрямителей, сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения.

#### 1. Краткие теоретические сведения

##### 1.1. Структурная схема, параметры и характеристики вторичного источника питания

Вторичные источники питания предназначены для получения напряжений, необходимых для непосредственного питания электронных устройств различного назначения. Вторичными их называют потому, что в свою очередь они получают энергию от первичных источников, вырабатывающих электричество, т.е. от генераторов. Питая электронные устройства непосредственно от первичных источников обычно нельзя.

Структурная схема вторичного источника питания без преобразования частоты приведена на рис. 6.1.

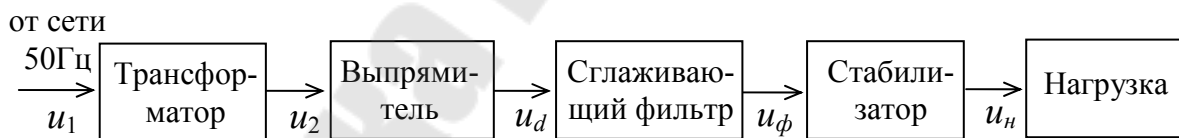


Рис. 6.1. Структурная схема источника питания без преобразования частоты

Трансформатор предназначен для развязки питающей сети и нагрузки (по постоянному току), а также для изменения уровня переменного напряжения. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в пульсирующее одной полярности. Сглаживающий фильтр уменьшает пульсации напряжения на выходе источника питания. Стабилизатор уменьшает изменения напряжения на нагрузке (стабилизирует напряжение), вызванные изменением напряжения сети и изменением тока, потребляемого нагрузкой.

Основными параметрами вторичного источника питания являются:

- величина напряжения на нагрузке  $U_n$ ;
- максимальный ток через нагрузку  $I_{n.max}$ ;
- коэффициент пульсации напряжения

$$q = \frac{U_m}{U_n}, \quad (6.1)$$

где  $U_m$  - амплитуда первой гармоники разложения в ряд Фурье функции  $u_n(t)$ ;

- коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_n}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}, \quad (6.2)$$

где  $P_n$  и  $P_1$  - мощности, потребляемые нагрузкой и вторичным источником питания от сети;  $\Delta P$  - потери мощности в источнике.

Основной характеристикой вторичного источника питания является зависимость напряжения на выходе источника питания (на нагрузке)  $U_n$  от величины тока  $I_n$ , протекающего через нагрузку. Эта зависимость называется внешней характеристикой источника питания. Она снимается при условии постоянства напряжения  $U_1$  сети.

$$U_n = f(I_n) |_{U_1 = const}. \quad (6.3)$$

Из схемы замещения рис. 6.2 вторичного источника питания следует, что

$$U_n = E - I_n R_0, \quad (6.4)$$

где  $E$  - ЭДС источника питания;

$R_0$  - внутреннее сопротивление источника питания.

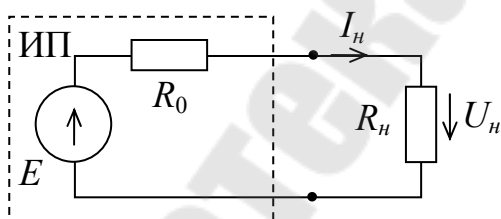


Рис. 6.2. Схема замещения источника питания

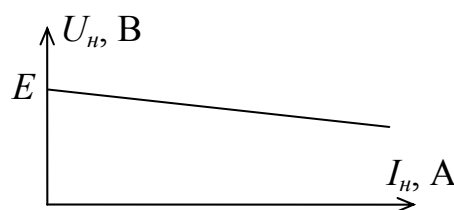


Рис. 6.3. Графическое представление внешней характеристики источника питания

Из (6.4) и из рис. 6.3 следует, что напряжение  $U_n$  на выходе источника питания уменьшается с увеличением тока  $I_n$  за счет падения напряжения на внутреннем сопротивлении  $R_0$  источника питания.

Применительно к схеме рис. 6.1, преобразование величины и формы напряжения структурными элементами источника питания можно представить временными диаграммами рис. 6.4.

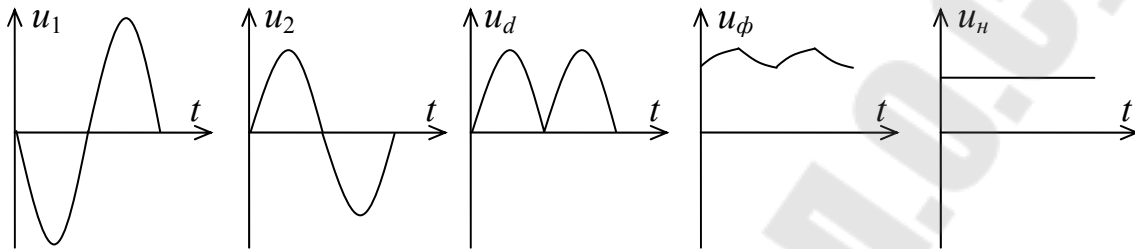


Рис. 6.4. Временные диаграммы напряжений на входах структурных элементов вторичного источника питания без преобразования частоты

## 1.2. Принцип работы, параметры и характеристики полупроводниковых выпрямителей

Выпрямители характеризуются следующими параметрами:

- средним значением выходного напряжения и тока

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u_d(t) dt; I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T i_d(t) dt, \quad (6.5)$$

где  $T$  – период;

$u_d(t)$  и  $i_d(t)$  - напряжение на выходе выпрямителя и ток, снимаемый с выпрямителя (мгновенные значения);

- коэффициентом пульсаций выходного напряжения

$$\varepsilon = \frac{U_m}{U_{cp}}, \text{ или } \varepsilon\% = \varepsilon \cdot 100\%, \quad (6.6)$$

где  $U_m$  - амплитуда первой гармоники, разложение в ряд Фурье функции  $u_d(t)$ .

При выборе диодов для выпрямителя учитывают величину обратного напряжения  $U_{d\max}$  и тока  $I_{d\max}$ , протекающего через диод в открытом его состоянии.

Чаще всего выпрямители классифицируют по мощности, по напряжению, по числу фаз, по схеме выпрямления. По числу фаз выпрямители подразделяются на однофазные, трехфазные и многофазные. По схеме выпрямления различают выпрямители однофазные од-

нополупериодные, однофазные двухполупериодные со средним выводом трансформатора, однофазные двухполупериодные мостовые, однофазные управляемые, трехфазные с нейтральным выводом трансформатора, трехфазные мостовые.

### 1.2.1. Однофазный однополупериодный выпрямитель

Простейший выпрямитель с одним диодом приведен на рис. 6.5а. Ток  $I_n$  через нагрузку в нем равен току  $I_d$ , протекающему через диод. Этот ток протекает лишь в течение одного полупериода входного синусоидального напряжения, когда диод VD1 открыт.

Из приведенных выше определений следует, что этот тип выпрямителя характеризуется следующими параметрами:

$$\left. \begin{aligned} U_{cp} &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,45 U_2, \text{ или } U_2 = 2,22 U_{cp} \\ I_{cp} &= \frac{U_{cp}}{R_n}; \quad \varepsilon = \frac{\pi}{2} = 1,57 \\ U_{обр. max} &= \sqrt{2} U_2 = \pi U_{cp}; \quad I_{d. cp} = I_{cp} \\ I_{d. max} &= \frac{\sqrt{2}}{R_n} U_2 = \pi I_{cp} \end{aligned} \right\} (6.7)$$

Такой выпрямитель находит ограниченное применение в мало-мощных источниках питания.

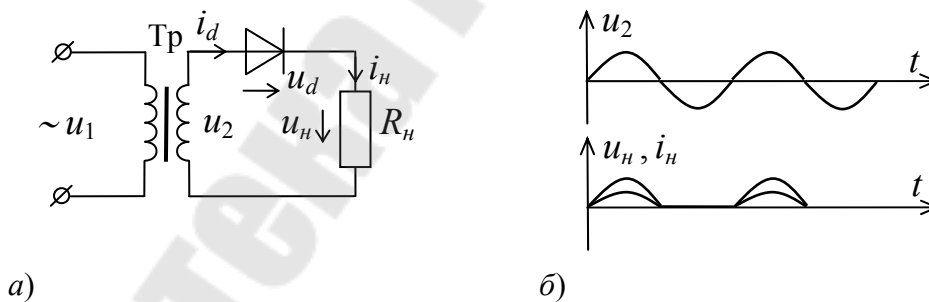


Рис. 6.5. Схема (а) и временные диаграммы (б) напряжений и токов

### 1.2.2. Однофазный двухполупериодный мостовой выпрямитель

На рис. 6.6а приведен выпрямитель на четырех диодах, включенных по мостовой схеме, в одну диагональ которого подключена вторичная обмотка трансформатора, а в другую – нагрузка. Диоды в этой схеме включаются (открываются) и выключаются (закрываются) парами.

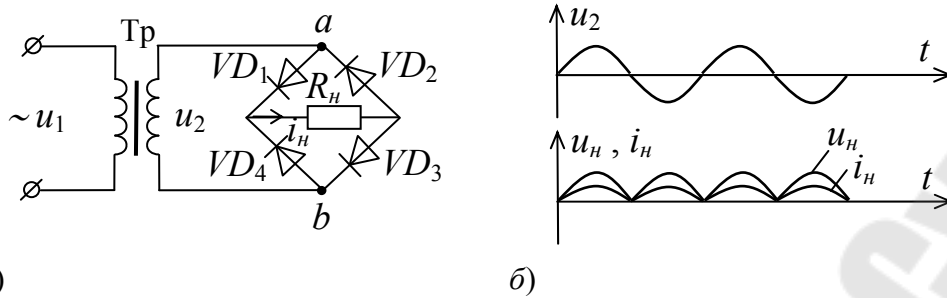


Рис. 6.6. Схема (а) и временные диаграммы (б) напряжений и токов

В течение первого полупериода, когда потенциал точки “а” положителен, ток протекает от точки “а” через диод VD1, нагрузку  $R_n$  и диод VD3. При этом к нагрузке приложено напряжение  $u_2$ . Во второй полупериод, когда потенциал точки b положителен, ток протекает через диод VD4, нагрузку  $R_n$  и диод VD2. Таким образом, ток  $i_n$  через нагрузку  $R_n$  протекает все время в одном направлении.

Выпрямитель характеризуется следующими параметрами

$$\left. \begin{aligned}
 U_{cp.n} &= 2 \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,9 U_2, \text{ или } U_2 = 1,1 U_{cp.n} \\
 I_{cp} &= \frac{U_{cp}}{R_n}; \quad \varepsilon = \frac{2}{3} \approx 0,67 \\
 U_{обр.max} &= \sqrt{2} U_2 = \frac{\pi}{2} U_{cp} = 1,57 U_{cp}; \quad I_{d.cp} = \frac{I_{cp}}{2} \\
 I_n = I_{cp} &= 2 I_{d.cp}; \quad I_{d.max} = \frac{\sqrt{2}}{R_n} U_2 = \frac{\pi}{2} I_{cp}
 \end{aligned} \right\} (6.8)$$

Этот тип выпрямителя характеризуется высокими технико-экономическими показателями и широко используется на практике.

### 1.2.3. Трехфазный выпрямитель с нулевым выводом

На рис. 6.7 приведена схема и временная диаграмма напряжений трехфазного выпрямителя с нулевым выводом вторичной обмотки трансформатора. Коэффициент пульсаций  $\varepsilon = 0,25$ , что значительно ниже в сравнении с двухполупериодным однофазным выпрямителем ( $\varepsilon = 0,67$ ).

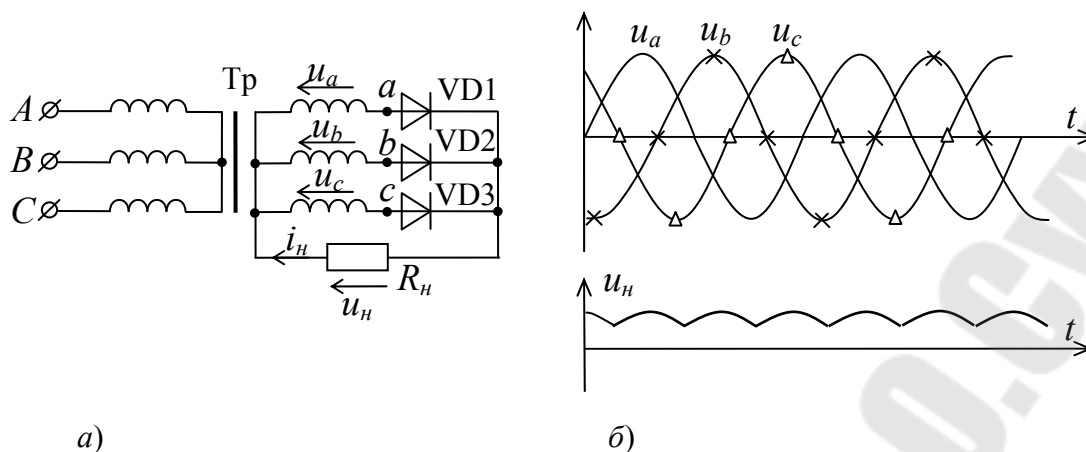


Рис. 6.7. Схема (а) и временные диаграммы (б) напряжений

Частота пульсаций в трехфазном выпрямителе в три раза выше частоты питающей сети. Каждый диод открыт в течение одной трети периода. Ток нагрузки не падает до нуля. Ток через каждый диод (в его открытом состоянии)  $I_{d.нр} = I_n / 3$ .

Закрытый диод включен на линейное напряжение

$$U_{d.обр.max} = \sqrt{3} U_{2ф} \sqrt{2} = 2,09 U_n.$$

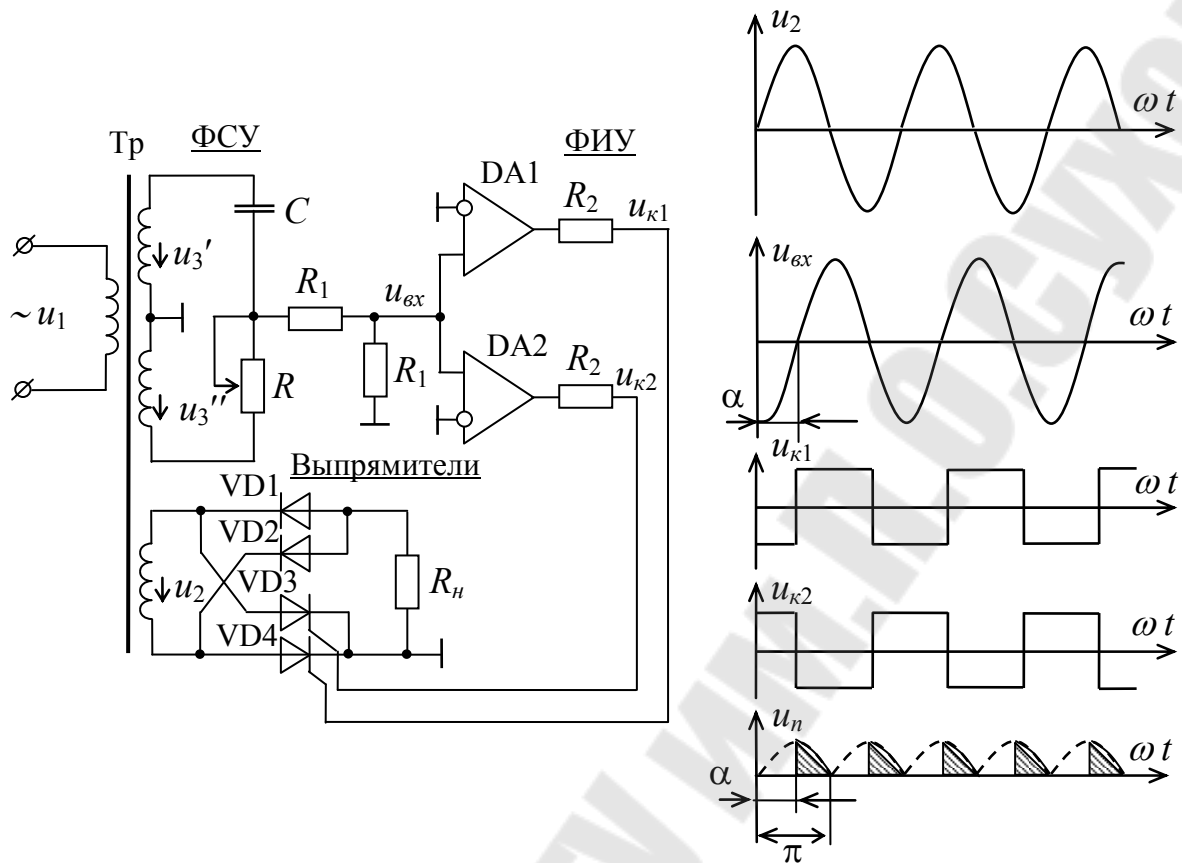
Этот тип выпрямителя применяется для выпрямления низких напряжений.

#### 1.2.4. Управляемый однофазный выпрямитель

В неуправляемых выпрямителях изменение величины выпрямленного напряжения  $U_n$  можно осуществлять с помощью автотрансформатора в цепи переменного тока на входе выпрямителя, либо с помощью потенциометра в цепи постоянного тока на выходе выпрямителя. Недостатками таких способов регулирования является громоздкость, дороговизна, низкий КПД, инерционность, невозможность автоматического управления величиной  $U_n$ .

Для управления средним значением  $U_{ср.н}$  широко используются управляемые выпрямители на тиристорах рис.6.8а, в которых регулируется время протекания тока через открытый тиристор путем изменения угла закрывания тиристора.





а)

б)

Рис. 6.8. Схема (а) и временные диаграммы (б) напряжений однофазного управляемого выпрямителя

Такой метод обеспечивает широкий диапазон регулирования среднего значения выпрямленного напряжения, при высоком КПД и малом потреблении мощности в цепях управления, высоком быстродействии и возможностью автоматического управления величиной  $U_n$ .

Выпрямитель содержит силовую часть по мостовой схеме выпрямления на двух диодах VD1, VD2 и двух тиристорах VD3, VD4, нагрузку  $R_n$  и фазоимпульсную схему управления, состоящую из фазосдвигающего устройства (ФСУ) и формирователя импульсов управления (ФИУ).

На рис.6.8б приведены временные диаграммы напряжений. Среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{ср.н}$  пропорционально заштрихованной части полусинусоиды для двухполупериодного выпрямления, в режиме холостого хода ( $R_n = \infty$ ).

$$U_{cp.n} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{m2} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2}{\pi} U_{m2} \frac{1 + \cos \alpha}{2} = U_{cp.o} \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \quad (6.9)$$

где  $U_{cp.o} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,9 U_2$  - среднее значение выпрямленного напряжения при  $\alpha = 0^\circ$  и  $R_n = \infty$ .

Зависимость  $U_{cp} = f(\alpha)$ , снятая при  $R_n = \infty$ , т.е. в режиме холостого хода выпрямителя, приведена на рис. 6.9 и называется регулировочной характеристикой управляемого выпрямителя, где

$U'_{cp} = \frac{U_{cp}}{U_{cp.o}}$  - нормированное среднее значение напряжения на выходе

выпрямителя. Угол закрывания  $\alpha$  тиристоров в устройстве рис. 6.8а регулируется изменением сопротивления  $R$  резистора фазосдвигающего устройства ( $\alpha = 0$  при  $R = \infty$  и  $\alpha = 180^\circ$  при  $R = 0$ ).

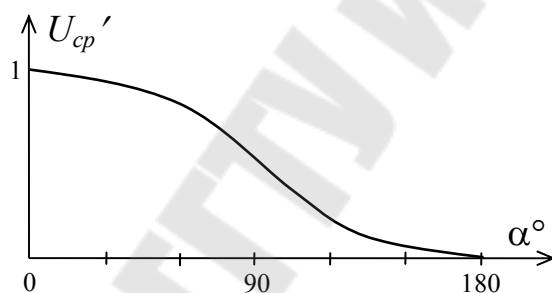


Рис. 6.9. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя

## 1.2. Сглаживающие фильтры

На выходе выпрямителя получается пульсирующее напряжение. Его можно разложить в ряд Фурье на постоянную составляющую и гармоники, частоты которых кратны частоте питающей сети.

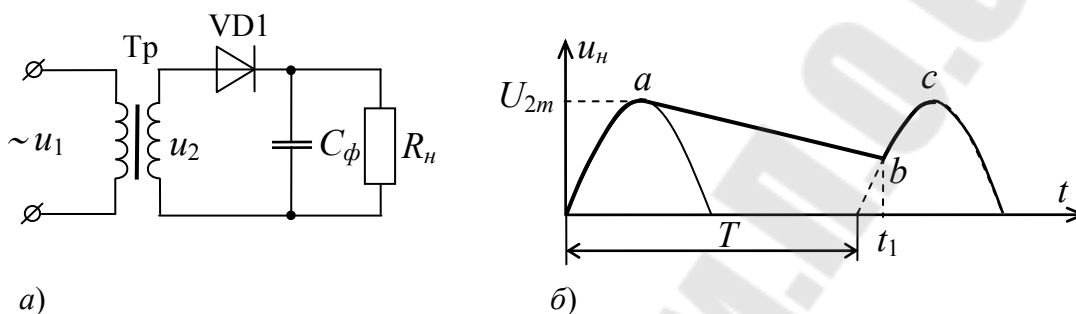
Для нормальной работы большинства электронных устройств требуется, чтобы коэффициент пульсаций  $\varepsilon$  был не более  $10^{-2} \div 10^{-6}$ . По этой причине на выходе большинства выпрямителей включают сглаживающие фильтры, которые уменьшают амплитуду переменной составляющей выпрямленного напряжения.

Эффективность работы фильтра оценивается коэффициентом сглаживания

$$S = \frac{q_1}{q_2}, \quad (6.10)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  - значение коэффициентов пульсаций без фильтра и с фильтром соответственно.

Фильтры строятся с использованием реактивных ( $L$ ,  $C$ ) элементов. Простой емкостный фильтр представляет собой конденсатор, включенный параллельно нагрузке рис. 6.10а.



а) б)  
Рис. 6.10. Схема (а) и диаграмма (б) напряжения на выходе однофазного однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром

Работа фильтра поясняется диаграммой рис. 6.10б. При включении схемы под напряжение, в течение первой четверти периода  $t = 0 \div \frac{T}{4}$  конденсатор  $C_\phi$  заряжается до  $U_{2m}$ . После этого  $u_2$  становится меньше, чем  $u_c = U_{2m}$ , вентиль (диод VD1) закрывается и конденсатор разряжается через нагрузку  $R_n$ , поддерживая в нем ток. При  $t \approx T$  потенциал анода диода начнет возрастать и в момент  $t_1$ , соответствующий точке  $b$  диод снова откроется, а конденсатор снова подзарядится до  $u_c = U_{2m}$ .

При  $\tau = R_n C_\phi > 10T$  коэффициент сглаживания такого фильтра

$$S = 2\pi f_1 m R_n C_\phi 10^{-6}, \quad (6.11)$$

где  $m$  - число пульсаций выпрямленного напряжения за период  $T$ ;  $C_\phi$  - емкость фильтра в мкФ.

Такой фильтр применяют в маломощных выпрямителях при больших  $R_n$ .

В мощных выпрямителях, при малых  $R_n$  находит применение простой индуктивный фильтр рис. 6.11.

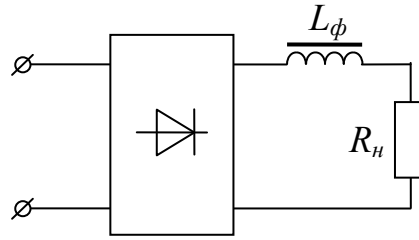


Рис. 6.11. Схема простого индуктивного фильтра

Он представляет собой катушку индуктивности с ферромагнитным сердечником, называемую дросселем. Дроссель не оказывает сопротивления постоянной составляющей тока, а переменная составляющая при  $X_\phi = 2\pi f L_\phi \gg R_n$  практически полностью теряется на дросселе и не выделяется на  $R_n$ . Для этого типа фильтра

$$S = \frac{2\pi f_1 m L_\phi}{R_n}. \quad (6.12)$$

Для увеличения  $S$  и уменьшения величины  $C_\phi$  и величины  $L_\phi$  часто применяют сложные Г-образные (рис. 6.12а) и П-образные (рис. 6.12б) фильтры.

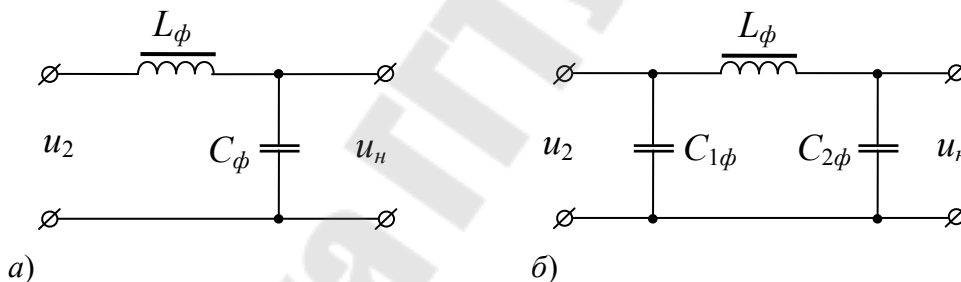


Рис. 6.12. Схемы Г-образного (а) и П-образного (б) фильтров на L, C-элементах

При малом токе нагрузки индуктивность  $L_\phi$  часто заменяют активным сопротивлением  $R_\phi$ .

### 1.3. Стабилизаторы напряжения

Стабилизатором напряжения называют устройство, предназначенное для автоматического поддержания напряжения на нагрузке при изменении напряжения питающей сети или тока нагрузки.

На входные клеммы стабилизатора подается напряжение с выхода сглаживающего фильтра, а к выходным – подключается нагрузка.

Основным параметром, характеризующим работу стабилизатора, является коэффициент стабилизации

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх} / U_{вх}}{\Delta U_{вых} / U_{вых}}. \quad (6.13)$$

При изменении тока нагрузки его влияние на выходное напряжение оценивается выходным сопротивлением

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta I_H} \quad (6.14)$$

Различают два типа стабилизаторов напряжения: параметрические и компенсационные.

В параметрических используются элементы с нелинейной вольтамперной характеристикой. В качестве таких элементов применяют полупроводниковые стабилитроны, у которых ампер-вольтная характеристика при обратном включении содержит участок, для которого относительно большое изменение тока дает малое изменение напряжения на стабилитроне рис. 6.13.

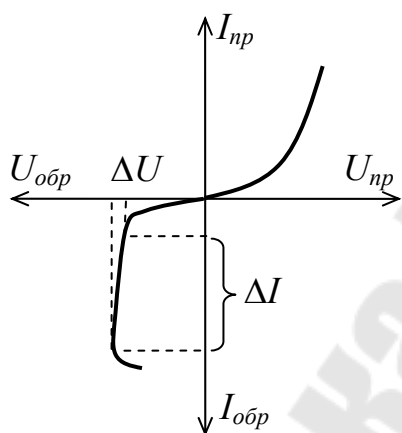


Рис. 6.13. Ампер-вольтная характеристика полупроводникового стабилитрона

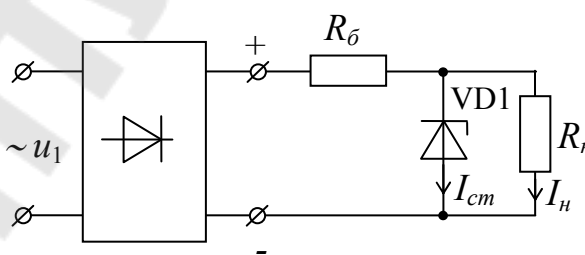


Рис. 6.14. Схема простейшего параметрического стабилизатора напряжения

Простейшая схема параметрического стабилизатора напряжения рис. 6.14 содержит стабилитрон VD1, включенный в режиме обратного смещения и  $R_б$ . При этом напряжение на нагрузке

$$U_H = U_{ст} = U_{\phi} - (I_{ст} + I_H)R_б, \quad (6.15)$$

где  $U_\phi$  - напряжение на выходе фильтра (на входе стабилизатора). При увеличении или уменьшении  $U_\phi$ , резко возрастает или убывает ток  $I_{ct}$ , что обеспечивает постоянство  $U_n$ .

Коэффициент стабилизации параметрических стабилизаторов составляет  $K_{ct} = 20 \div 50$ .

Компенсационные стабилизаторы имеют большие значения  $K_{ct}$ . Принцип их работы основан на автоматическом регулировании выходного напряжения.

## 2. Задание, выполняемое при самостоятельной подготовке

2.1. По конспекту лекций, разделу 1 данной работы и рекомендуемой литературе [1,2] изучить структурную схему, параметры и характеристики вторичного источника питания без преобразования частоты. Изучить также назначение, устройство, принцип работы, параметры и характеристики различных типов выпрямителей, сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения.

2.2. Заготовить отчет по требованиям раздела 5 данной работы.

## 3. Лабораторное задание

3.1. Исследуйте работу вторичного источника питания на базе однофазного мостового выпрямителя.

3.1.1. Соберите источник питания по схеме рис. 6.15.

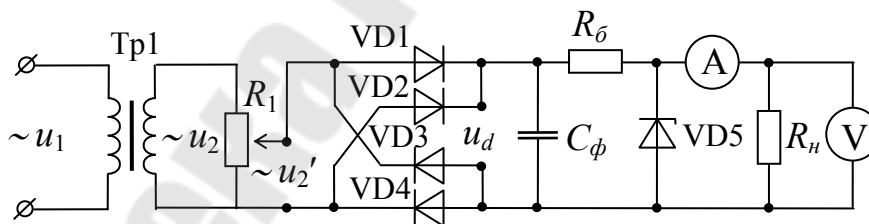


Рис. 6.15. Схема вторичного источника питания на базе однофазного мостового выпрямителя

При сборке примените: диоды VD1-VD4-KD-522; стабилитрон VD5-D-814A; резистор  $R_\phi = 200$  Ом; регулируемый резистор  $R_1 - 1$  кОм. Емкость конденсатора  $C_\phi$  выберите из таблицы 6.1.

Таблица 6.1

№ стенда	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_\phi$ , мкФ	5	10	20	50	5	10	20	50	5

В режиме амперметра А используйте блок АВ1, а в режиме вольтметра – блок АВ2 стенда. В качестве источника синусоидального напряжения  $u_2$  частоты  $f = 50$  Гц, подаваемого на делитель  $R_1$  используйте источник ИСН2.

3.1.2. Установите  $R_n = 10$  кОм. Подключите осциллограф к выходу делителя  $R_1$ . Установите переключатель амперметра АВ1 в положение 10 мА, а вольтметра АВ2 – в положение 10 В.

3.1.3. После проверки правильности сборки схемы преподавателем, включите питание стенда и осциллографа и потенциометром  $R_1$  установите амплитуду напряжения  $U'_{m2} = 10$  В, измеряя его по осциллографу в режиме внешней синхронизации сигналом  $u'_2$ . Зарисуйте в протокол осциллограммы напряжений  $u'_2$ ,  $u_d$  (в отсутствии  $C_\phi$  и VD5),  $u_\phi$  (в отсутствии только VD5) и  $u_n$  (при наличии всех элементов) в виде синхронизированных во времени диаграмм.

3.1.4. Изменяя  $U'_{m2}$  потенциометром от 15 В до 0 В через 2,5 В, снимите зависимость  $U_n$  (вольтметром АВ2) от  $U'_{m2}$  (осциллографом), заполнив таблицу 6.2.

Таблица 6.2

$U'_{m2}$ , В	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
$U_n$ , В							

3.1.5. Для  $U'_{m2} = 10$  В = const, изменяя  $R_n$  от 10к до 0,2к снимите зависимость  $U_n$  от  $I_n$ , заполнив таблицу 6.3. Выключите питание стенда и разберите схему.

Таблица 6.3

$R_n$ , к	10	5,1	2,0	1,0	0,51	0,2
$I_n$ , мА						
$U_n$ , В						

3.2. Исследуйте работу вторичного источника питания на базе трехфазного выпрямителя.

3.2.1. Соберите источник питания по схеме рис. 6.16. Подключите выпрямитель (диоды VD1, VD2, VD3) к выходам А, В и С трехфазного источника ГТН стенда, а нижнюю общую шину монтажной панели стенда подключите к выходу N источника ГТН.

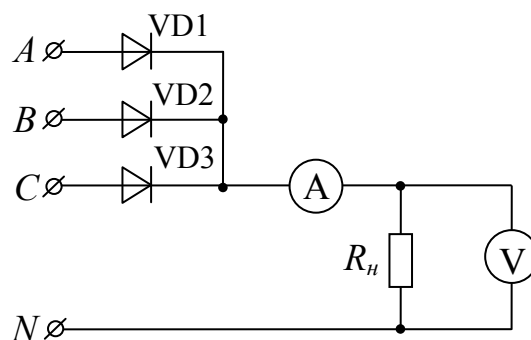


Рис. 6.16. Схема источника питания на базе трехфазного выпрямителя с нулевым выводом вторичной обмотки трехфазного трансформатора

3.2.2. После проверки правильности сборки схемы преподавателем, включите питание стенда, осциллографа и блока ГТН стенда и, подключив осциллограф к точкам А и N (короткий корпусной провод на шине N), установите ручкой “амплитуда” фазное напряжение  $U_{mA} = 5$  В. Перебрасывая сигнальный провод осциллографа на фазы В и С, установите  $U_{mB} = U_{mC} = 5$  В.

3.2.3. В режиме внешней синхронизации сигналом фазы AN зарисуйте в протокол осциллограммы напряжений  $u_{AN}$ ,  $u_{BN}$ ,  $u_{CN}$  и  $u_n$  по образцу рис. 6.7б. Укажите рядом значения масштабных множителей  $m_u$  и  $m_t$ .

3.2.4. Изменяя  $R_n$  от 10к до 0,2к, снимите зависимость  $U_n$  от  $I_n$ , заполнив таблицу 6.4, аналогичную таблице 6.3. Выключите питание блока ГТН и стенда и разберите схему.

3.3. Исследуйте работу однофазного управляемого выпрямителя.

3.3.1. Соберите однофазный управляемый выпрямитель по схеме рис.6.8а. При сборке примените диоды VD1, VD2-KD-522; тиристоры VD3, VD4-KY-101; конденсатор  $C = 0,47$  мкФ; регулируемый (переменный) резистор  $R - 22$  к; резисторы  $R_1 - 10$  к,  $R_2 - 3$  к; микросхему операционных усилителей DA1, DA2 - К157УД2.

3.3.2. Провода питания микросхемы К157УД2 подключите к источнику ИсН3 (красный провод +15В, а белый -15В). Фазосдвигающую цепочку RC подключите проводами к источнику ИсН1, а выпрямитель – к источнику ИсН2.

3.3.3. После проверки правильности сборки схемы преподавателем включите питание стенда, отключите провода от управляющих электродов тиристоров и с помощью осциллографа снимите (зарисуйте в протокол) форму напряжений  $u_2(t)$ ,  $u_{ex}(t)$ ,  $u_{k1}(t)$ ,  $u_{k2}(t)$ , в режи-



ме внешней синхронизации сигналом  $u_2(t)$ , представив эти сигналы в виде синхронизированных диаграмм по образцу рис. 6.8б.

3.3.4. Подключив далее провода от блока ФИУ к управляющим электродам тиристоров, дополните синхронизированную диаграмму сигналом  $u_n(t)$ .

3.3.5. Изменяя угол  $\alpha$  закрывания тиристора путем изменения  $R$ , наблюдайте изменение формы напряжения  $u_d(t)$  на нагрузке  $R_n$ . Определите диапазон изменения угла  $\alpha$  при помощи осциллографа.

3.3.6. Изменяя  $R_n$  в интервале от 10к до 0,2к, снимите зависимость  $U_d = f(I_n)$  для  $\alpha = 0$ ,  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = d_{max}$ , заполнив таблицы 6.5, 6.6, аналогичные таблице 6.3. Для этого используйте приборы АВ1, АВ2. Угол  $\alpha$  устанавливайте потенциометром и контролируйте осциллографом в режиме внешней синхронизации сигналом  $u_2(t)$ .

3.3.7. Для  $R_n = \infty$  снимите зависимость  $U_d = f(\alpha)$  при изменении  $\alpha$  от  $0^\circ$  до  $\alpha_{max}$ , заполнив таблицу 6.4.

Таблица 6.4

$\alpha$ , град	0					$\alpha_{max}$
$U_d$ , В						

Выключите питание стенда и осциллографа и разберите схему.

#### 4. Контрольные вопросы

4.1. Приведите структурную схему источника вторичного питания без преобразования частоты.

4.2. Укажите назначение функциональных блоков вторичного блока питания без преобразования частоты.

4.3. Перечислите основные параметры вторичного источника питания и дайте их определение.

4.4. Что понимается под внешней характеристикой вторичного источника питания?

4.5. Почему с ростом  $I_n$  напряжение на выходе вторичного источника питания уменьшается?

4.6. Приведите временные диаграммы напряжений на входах структурных элементов вторичного источника питания без преобразования частоты.

4.7. Перечислите применяемые на практике разновидности выпрямителей.

- 4.8. Какими параметрами характеризуется работа выпрямителя? Дайте определения этих параметров.
- 4.9. Приведите схему однофазного однополупериодного выпрямителя и укажите его основные параметры ( $U_{cp}$ ,  $I_{cp}$ ,  $U_{d.обр.max}$ ,  $I_{d.пр.max}$ ,  $\epsilon$ ).
- 4.10. Приведите схему однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя и укажите его основные параметры.
- 4.11. Приведите схему трехфазного выпрямителя с нулевым выводом вторичной обмотки трехфазного трансформатора и укажите его основные параметры.
- 4.12. Приведите схему однофазного управляемого выпрямителя и поясните принцип его работы по временным диаграммам напряжений.
- 4.13. Что понимается под регулировочной характеристикой управляемого выпрямителя?
- 4.14. С какой целью включают сглаживающий фильтр на выходе выпрямителя?
- 4.15. Каким параметром оценивается эффективность работы сглаживающего фильтра?
- 4.16. Приведите схему простейшего емкостного сглаживающего фильтра и поясните принцип его работы.
- 4.17. Какие функции выполняют стабилизаторы напряжения, устанавливаемые на выходе сглаживающего фильтра?
- 4.18. Дайте определение коэффициента стабилизации стабилизатора напряжения.
- 4.19. Приведите схему простейшего параметрического стабилизатора напряжения и поясните принцип его работы с помощью ампервольтной характеристики.
- 4.20. Какие типы стабилизаторов напряжения применяются на практике?

## 5. Требования к содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
  - цель работы;
  - краткие письменные ответы на контрольные вопросы;
  - раздел “Ход работы” с названиями пунктов 3.1, 3.2, 3.3;
- по пункту 3.1:
- схему рис.6.15 с указанием типов и параметров ее элементов;

- осциллограммы напряжений  $u'_2$ ,  $u_d$ ,  $u_\phi$  и  $u_n$  в виде синхронизированной временной диаграммы с указанием масштабных множителей  $m_u$  и  $m_t$ ;

- график зависимости  $U_n$  от  $U'_{m2} / \sqrt{2}$  по п.3.1.4;

- график внешней характеристики  $U_n = f(I_n)$  по п.3.1.5;

по пункту 3.2:

- схему рис.6.16 с указанием типов и параметров ее элементов;

- осциллограммы напряжений  $u_{AN}$ ,  $u_{BN}$ ,  $u_{CN}$  и  $u_n$  по п.3.2.3 по образцу рис. 6.7б;

- график внешней характеристики по п.3.2.4;

по пункту 3.3:

- схему рис. 6.8а однофазного управляемого выпрямителя с указанием типов и параметров его элементов;

- осциллограммы напряжений  $u_2$ ,  $u_{ex}$ ,  $u_{k1}$ ,  $u_{k2}$  и  $u_n$ , оформленные в виде синхронизированной временной диаграммы (друг под другом) с указанием значений масштабных множителей  $m_u$  и  $m_t$  по п. 3.3.3 и п. 3.3.4;

- диапазон изменения  $\alpha$  по п. 3.3.5;

- внешние характеристики  $U_n = f(I_n)$  (для  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = \alpha_{max}$ ) по п. 3.3.6;

- регулировочную характеристику  $U_d = f(\alpha)$  (график) по п.3.3.7;

раздел “Анализ результатов экспериментальных исследований и выводы по цели работы”:

- протокол экспериментальных данных, подписанный преподавателем.

## Лабораторная работа № 7

### Полупроводниковые логические элементы

#### Цели работы:

- изучить назначение, разновидности и маркировку полупроводниковых логических элементов в интегральном исполнении;
- изучить логику работы элементов И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ на основе практической проверки таблиц истинности.

#### 1. Краткие теоретические сведения

##### 1.1. Назначение и разновидности логических элементов

Дискретное (цифровое) устройство, реализующее одну из логических операций, называют логическим элементом. Логические элементы предназначены для логического преобразования информации, представляемой в виде двоичных сигналов (чисел). Логический элемент может иметь один или несколько входов “А,В,С...” или “ $X_1, X_2, X_3...$ ” и один выход “Q” или “Y”.

По виду реализуемой логической операции (функции) логические элементы подразделяются на:

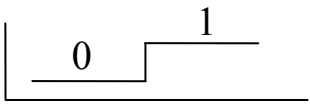
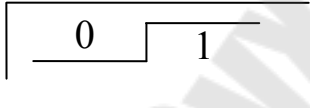
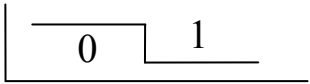

- элементы, реализующие операцию “логическое умножение” – конъюнкцию (конъюнкторы, элементы И, схемы совпадения);
- элементы, реализующие операцию “логическое сложение” – дизъюнкцию (дизъюнкторы, элементы ИЛИ, схемы собирания);
- элементы, реализующие операцию “логическое отрицание” – инверсию (инверторы, элементы НЕ);
- элементы, реализующие универсальные логические функции (элементы И-НЕ, элементы ИЛИ-НЕ).

По типу логики (по технологическим особенностям производства, по особенностям схемотехники и применяемым компонентам) наибольшее применение находят логические элементы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ), эмиттерно-связной логики (ЭСЛ), интегральной инжекционной логики (ИЗЛ) и МДП-логики.

По полярности логики различают элементы положительной (позитивной) и отрицательной (негативной) логики.

Виды кодирования двоичных сигналов с учетом полярности логики, положения нулевого уровня и полярности питающего напряжения представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Виды логики	Полярность напряжения питания	
	Положительная	Отрицательная
Положительная		
Отрицательная		

По способу питания логические элементы делятся на элементы с потенциальным питанием и с импульсным питанием. В элементах с потенциальным питанием питание осуществляется от стабилизированных источников постоянного тока. В элементах с импульсным питанием в качестве источников питания используются специальные генераторы импульсов.

### 1.2. Маркировка полупроводниковых логических элементов

Условное обозначение (маркировка) логических элементов (как и всех интегральных цифровых микросхем) состоит из четырех знаков (ГОСТ 18682-72. Микросхемы интегральные. Классификация и системы условных обозначений).

Первый знак – цифра, указывающая вид микросхемы:

- 1, 5, 7 – полупроводниковые;
- 2, 4, 6, 8 – гибридные;
- 3 – прочие (пленочные, вакуумные, керамические).

Второй знак – две-три цифры, указывающие порядковый номер разработки данной серии.

Первый и второй знаки, составленные из 3-4 цифр, определяют номер серии интегральных схем.

Третий знак – две буквы, указывающие подгруппу (первая буква) и вид (вторая буква). Подгруппа и вид образуют понятие “типономинал”. В таблице 7.2 приведена классификация логических элементов по третьему знаку условного обозначения.

Четвертый знак – одна или несколько цифр, указывающие порядковый номер разработки ИС в данной серии.

Таблица 7.2

Подгруппа		Вид		Типо- номи- нал
Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначе- ние	
Логические элементы	Л	И-НЕ	А	ЛА
		ИЛИ-НЕ	Е	ЛЕ
		И	И	ЛИ
		ИЛИ	Л	ЛЛ
		НЕ	Н	ЛН
		И-ИЛИ	С	ЛС
		И-НЕ/ИЛИ-НЕ	Б	ЛБ
		И-ИЛИ-НЕ	Р	ЛР
		И-ИЛИ-НЕ/И- ИЛИ	К	ЛК
		ИЛИ-НЕ/ИЛИ	М	ЛМ
		Расширители	Д	ЛД
		Прочие	П	ЛП

Кроме того, используются дополнительные буквы, указывающие материал корпуса (П-пластиковый, К-керамический и т.д.)

Например, КМ155ЛА3 означает микросхему широкого применения (буква М), в керамическом корпусе (буква К), 155-й серии, логический элемент И-НЕ, третий номер разработки в данной серии.

### 1.3. Конъюнктор (элемент И)

Конъюнктор – двоичный элемент, реализующий операцию конъюнкция (логическое умножение). Это элемент, единица на выходе которого имеет место в случае, если имеется единица на всех входах одновременно.

На рис. 7.1а показано условное графическое обозначение этого элемента, на рис.7.1б – временная диаграмма, поясняющая принцип работы трехвходового элемента 3И, а на рис. 7.1в – схема конъюнктора на основе многоэмиттерного транзистора положительной логики, с положительным питанием.

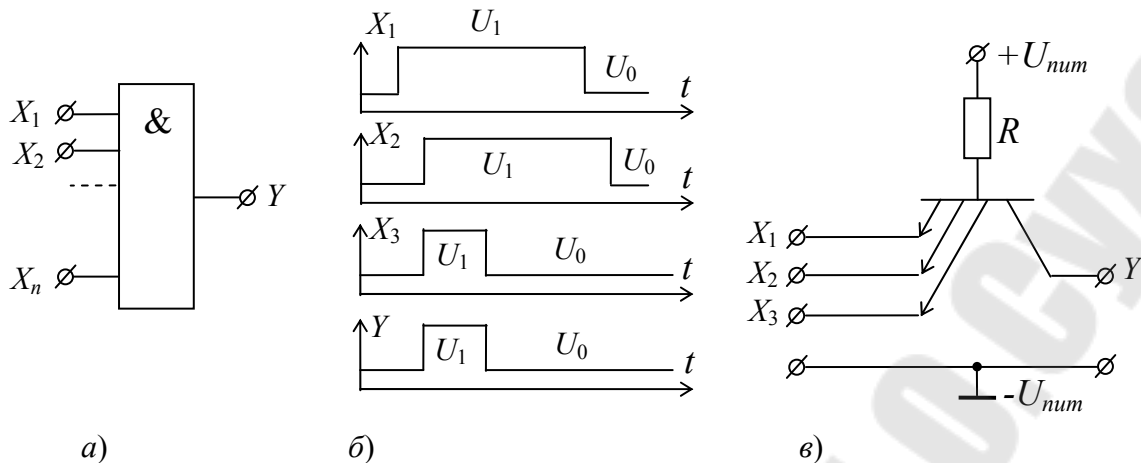


Рис. 7.1. Условное графическое обозначение (а), временные диаграммы сигналов на входах (б) и пример практической реализации (в) конъюнктора

Логика работы конъюнктора на три входа представлена таблицей 7.3, называемой таблицей состояний или таблицей истинности.

Таблица 7.3

$X_3$	$X_2$	$X_1$	$Y$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Логическое уравнение работы конъюнктора имеет вид

$$Y = X_1 X_2 \dots X_n \text{ или } Y = X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_n$$

Из временных диаграмм рис. 7.3б следует, что если на входы конъюнктора поступают сигналы в разные моменты времени и разной длительности, то сигнал на выходе  $Y$  определяется как результат пересечения входных сигналов  $Y = \prod_{i=1}^n X_i$ .

С точки зрения физической реализуемости конъюнкторы могут быть выполнены на диодах, транзисторах и других элементах. На рис.7.1в приведен пример практической реализации трехвходового конъюнктора на основе многоэмиттерного транзистора положительной логики с положительным питанием.

### 1.4. Дизъюнктор (элемент ИЛИ)

Дизъюнктор – логический элемент, реализующий операцию дизъюнкция (логическое сложение). Сигнал единица на выходе дизъюнктора имеет место в тех случаях, если имеется единица хотя бы на одном из входов.

На рис. 7.2а показано условное графическое обозначение этого элемента, на рис. 7.2б – временные диаграммы, поясняющие принцип работы трехвходового дизъюнктора, а на рис. 7.2в – пример практической реализации дизъюнктора на два входа.

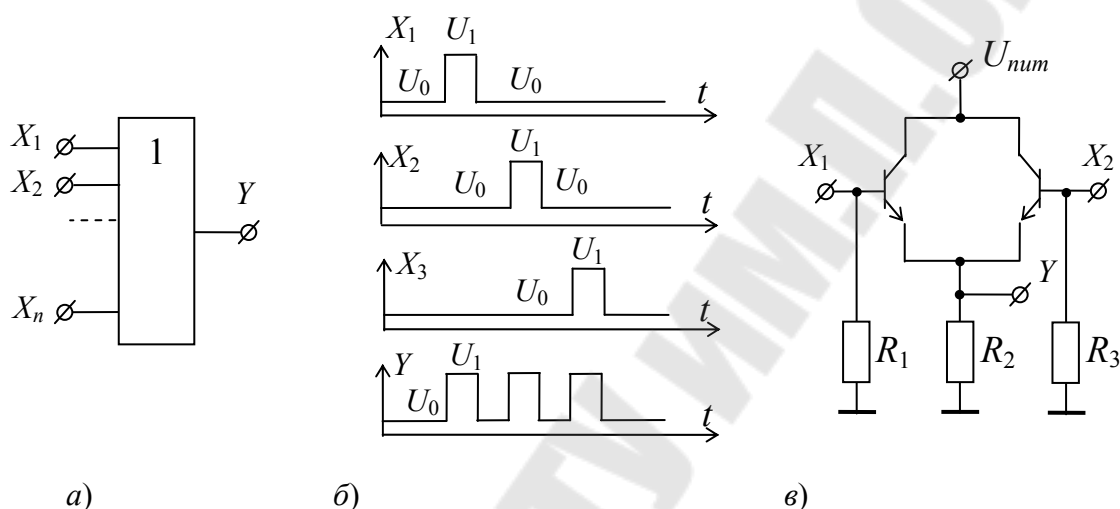


Рис. 7.2. Условное графическое обозначение (а), временные диаграммы сигналов на входах (б) и пример практической реализации (в) дизъюнктора

Логика работы дизъюнктора на три входа представлена таблицей истинности табл. 7.4.

Таблица 7.4

$X_3$	$X_2$	$X_1$	$Y$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Логическое уравнение работы дизъюнктора имеет вид  
 $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$  или  $Y = X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_n$ .



Из временных диаграмм рис. 7.2б следует, что если на входы дтзъюнктора поступают сигналы в разные моменты времени и разной длительности, то сигнал на выходе определяется как результат объединения входных сигналов  $Y = \bigcup_{i=1}^n X_i$ .

### 1.5. Инвертор (элемент НЕ)

Инвертор – двоичный логический элемент, реализующий операцию “логическое отрицание”. Это элемент, единица на выходе которого имеет место в случае, если на входе логический нуль.

На рис. 7.3а показано условное обозначение этого элемента. На рис. 7.3б приведена временная диаграмма, поясняющая работу инвертора, а на рис. 7.3в приведен пример практической реализации инвертора.

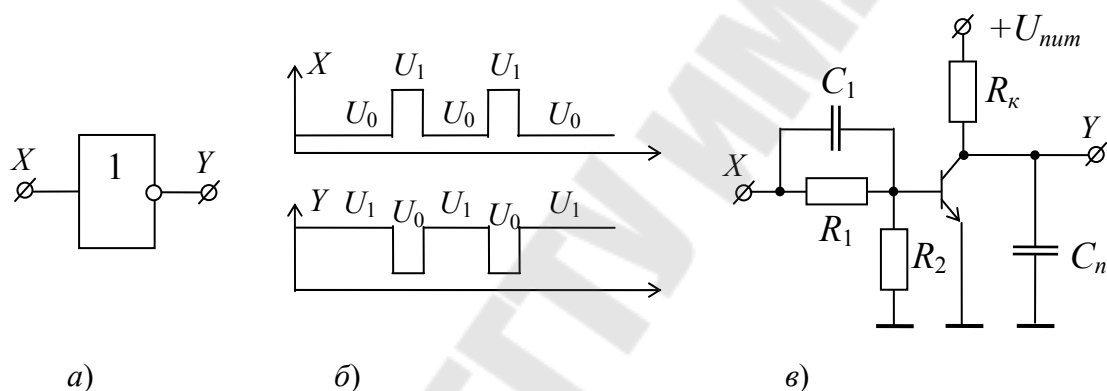


Рис. 7.3. Условное графическое обозначение (а), временные диаграммы (б) и пример практической реализации (в) инвертора

Логика работы инвертора отображается таблицей истинности

7.5. Логическое уравнение работы инвертора имеет вид

$$Y = \bar{X}.$$

Таблица 7.5

X	Y
0	1
1	0

Из временных диаграмм следует, что если на входе инвертора  $U_{вх} = U_0$ , то транзистор рис. 7.3в закрыт, и на выходе инвертора  $U_{вых} = U_1$  (уровень логической единицы). Если же  $U_{вх} = U_1$ , то транзистор открывается и на выходе инвертора  $U_{вых} = U_0$  (уровень логического нуля).

### 1.6. Элемент И-НЕ

Элемент И-НЕ – двоичный логический элемент, реализующий операцию “логическое умножение с отрицанием”. Это элемент, на выходе которого устанавливается уровень логической единицы ( $U_{вых} = U_1$ ) всегда, кроме случая, когда на все его входы подаются сигналы логической единицы.

На рис. 7.4а показано условное обозначение этого элемента. На рис.7.4б приведена временная диаграмма, поясняющая его работу, а на рис. 7.4в приведена схема трехвходового элемента 3И-НЕ, на элементах 3И и инверторе.

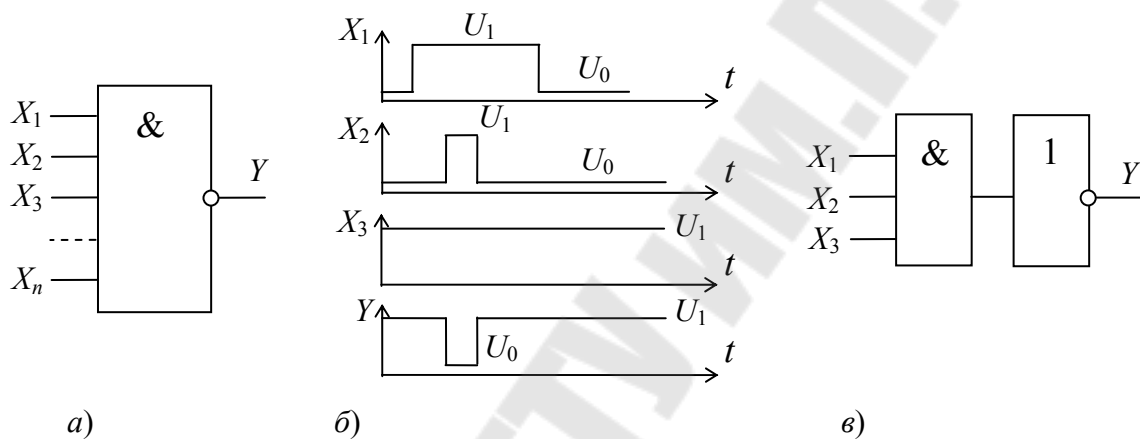


Рис. 7.4. Условное обозначение (а), временные диаграммы (б), реализация на элементах 3И и НЕ (в) логического элемента И-НЕ

Логика работы этого элемента с тремя входами отображается таблицей истинности 7.6.

Таблица 7.6

$X_3$	$X_2$	$X_1$	$Y$
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Таблица 7.7

$X_3$	$X_2$	$X_1$	$Y$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

Логическое уравнение работы этого элемента с  $n$ - входами имеет вид  $Y = \overline{X_1 X_2 \dots X_n}$  или  $Y = \overline{X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_n}$ .

Из этого уравнения следует, что элемент И-НЕ можно реализовать по схеме рис. 7.4в.

Элемент И-НЕ обладает функциональной полнотой, т.е. применяя только эти элементы, можно реализовать логические устройства, реализующие логические операции И, ИЛИ, НЕ рис. 7.5.

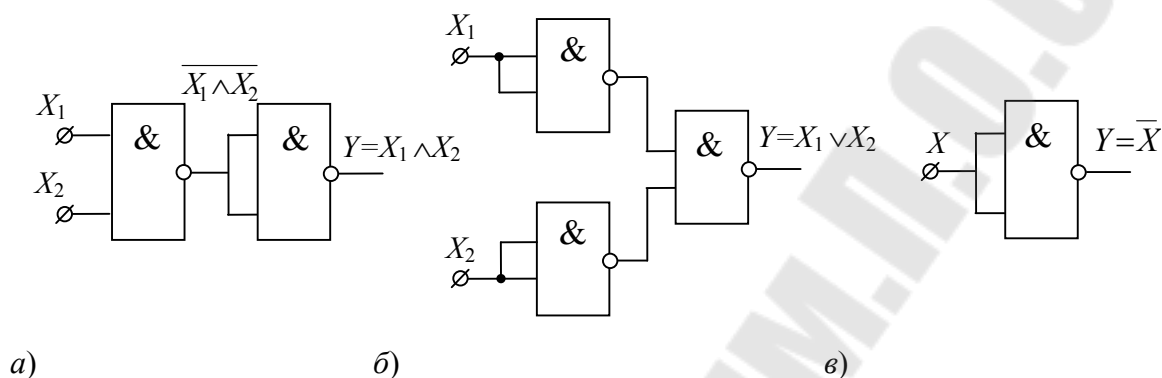


Рис. 7.5. Реализация логических операций И (а), ИЛИ (б), НЕ (в) на базе элемента И-НЕ

### 1.7. Элемент ИЛИ-НЕ

Элемент ИЛИ-НЕ – двоичный (цифровой) логический элемент, реализующий операцию “логическое сложение с отрицанием”. Это элемент, на выходе которого устанавливается уровень логической единицы ( $U_{вых} = U_1$ ) только в том случае, когда на все его входы одновременно подаются сигналы логического нуля.

На рис. 7.6а показано условное обозначение этого элемента. На рис. 7.6б приведена временная диаграмма, поясняющая его работу, а на рис. 7.6в приведена схема трехвходового элемента ЗИЛИ-НЕ на элементах ЗИЛИ и инверторе.

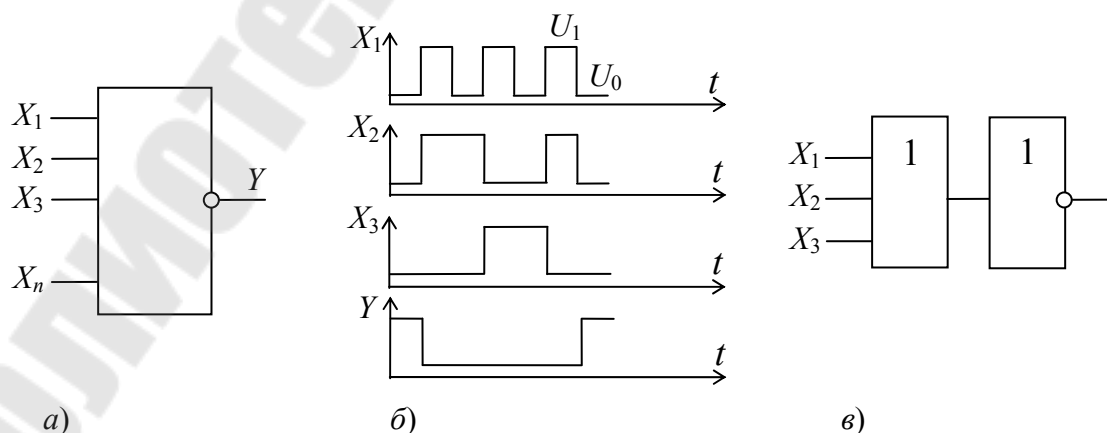


Рис. 7.6. Условное обозначение (а), временные диаграммы (б), реализация на элементах ЗИЛИ-НЕ (в) логического элемента ИЛИ-НЕ

Логика работы элемента ИЛИ-НЕ с тремя входами отображается таблицей истинности 7.7.

Логическое уравнение работы этого элемента с  $n$ -входами имеет вид

$$Y = \overline{X_1 + X_2 + \dots + X_n} \text{ или } Y = \overline{X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_n}.$$

Из этого уравнения следует, что элемент ИЛИ-НЕ можно реализовать по схеме рис. 7.6в.

Элемент ИЛИ-НЕ также обладает функциональной полнотой, т.е. применяя только эти элементы, можно реализовать логические операции И, ИЛИ, НЕ рис. 7.7.

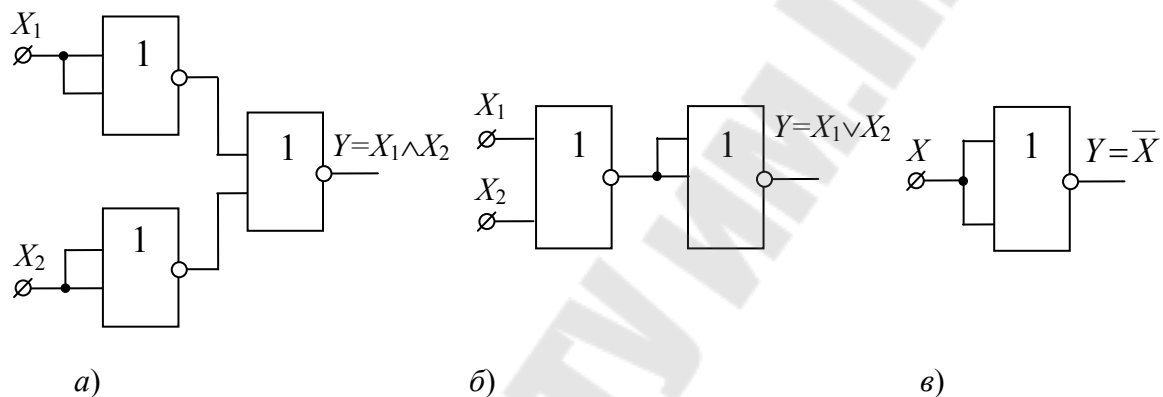


Рис. 7.7. Реализация логических операций И (а), ИЛИ (б), НЕ (в) на базе элемента ИЛИ-НЕ

## 2. Задание, выполняемое при самостоятельной подготовке

2.1. По конспекту лекций, разделу 1 данной работы и рекомендуемой литературе [3,4] изучить назначение, разновидности и маркировку полупроводниковых логических элементов в интегральном исполнении, изучить логику работы элементов И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ.

2.2. Из [5] выписать цоколевку и обозначение всех микросхем по разделу 3.

2.3. Начертить схему, реализующую логическую функцию, заданную таблицей 7.8.

Таблица 7.8

№ на бо ра	№ подгруппы			1							2						
	№ бригады			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
	Входные			Выходная логическая функция													
	$X_3$	$X_2$	$X_1$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$
0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
2	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	
3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	
4	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
5	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	
6	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	
7	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	

*Примечание:* пункт 2.3 выполнить с помощью преподавателя.

2.4. Заготовить отчет по требованиям раздела 5 данной работы.

### 3. Лабораторное задание

3.1. Исследуйте работу логического элемента И на основе микросхемы К155ЛИ1. Для этого:

3.1.1. Установите микросхему в одну из панелек модуля для сборки цифровых узлов и подведите к ней питание  $\pm 5\text{В}$  от источника ГН1, соблюдая полярность и цоколевку.

3.1.2. Вывод 3 микросхемы соедините со светодиодом и, включив питание стенда, установите напряжение источника ГН1 5V, контролируя вольтметром АВ1.

3.1.3. Устанавливая значения входных переменных  $X_1$  и  $X_2$  по таблице 7.9 и контролируя сигнал на выходе  $Y$  светодиодом, заполните строку “ $Y$ ” в таблице 7.9. Сигналы  $X_1$  и  $X_2$  равны нулю, при соединении выводов 1 и 2 микросхемы с шиной  $-5\text{В}$  и равны 1, если выводы соединены с шиной  $+5\text{В}$  через токоограничивающий резистор  $R = 10\text{к}$ .

Таблица 7.9

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

3.1.4. Исследуйте работу элемента 4И, выполнив соединение элементов микросхемы К155ЛИ1 по схеме рис. 7.8.

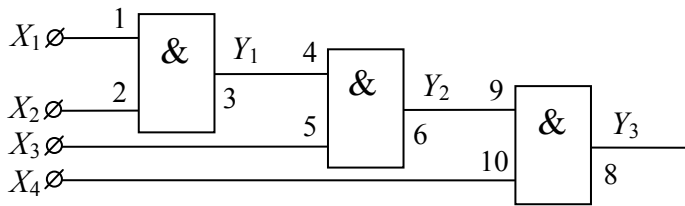


Рис. 7.8. Реализация элемента 4И цепочным соединением элементов 2И

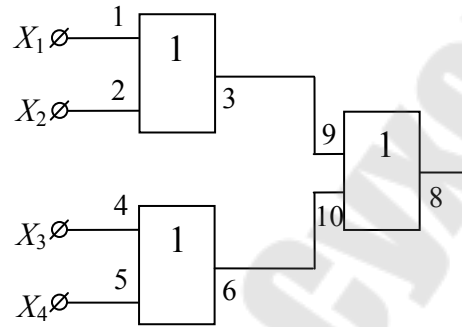


Рис. 7.9. Реализация элемента 4ИЛИ бинарным соединением элементов 2ИЛИ

Выходы  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  присоедините к светодиодам. Заполните таблицу 7.10.

Таблица 7.10

$X_1$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$X_2$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
$X_3$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
$X_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$Y_1$																
$Y_2$																
$Y_3$																

3.2. Исследуйте работу элемента ИЛИ на основе микросхемы К155ЛЛ1.

3.2.1. Установите микросхему в одну из панелек модуля для сборки цифровых узлов и подведите к ней питание  $\pm 5V$  от источника ГН1, соблюдая полярность и цоколевку.

3.2.2. Исследуйте логику работы одного из двухвходовых элементов, используя к примеру выводы 1,2 и 3 микросхемы. Заполните таблицу истинности, аналогичную таблице 7.9.

3.2.3. Исследуйте логику работы четырехвходового элемента 4ИЛИ, выполнив соединение элементов микросхемы К155ЛЛ1 по схеме рис. 7.9. Заполните таблицу, аналогичную таблице 7.10.

3.3. Исследуйте логику работы вентиля НЕ на основе микросхемы К155ЛН1.

3.3.1. Установите микросхему К155ЛН1 в одну из панелек модуля для сборки цифровых узлов и подведите к ней питание  $\pm 5V$ , соблюдая полярность.

3.3.2. Подключив выход 2 к светодиоиду и подавая на вход 1 логический 0 или 1, убедитесь в инвертирующих свойствах элемента, заполнив таблицу состояний.

3.4. Исследуйте логику работы элемента И-НЕ на основе микросхемы К155ЛА3.

3.4.1. Установите микросхему в панельку модуля и, подав питание  $\pm 5V$ , заполните таблицу состояний, аналогичную таблице 7.9.

3.4.2. Убедитесь в функциональной полноте элемента И-НЕ, собрав схемы рис. 7.5 и исследуя логику их работы.

3.5. Исследуйте логику работы элемента ИЛИ-НЕ на основе микросхемы К155ЛЕ1.

3.5.1. Установите микросхему К155ЛЕ1 в панельку модуля для сборки цифровых узлов и, подав на нее питание, исследуйте логику работы одного двухвходового элемента 2ИЛИ-НЕ. Заполните таблицу истинности.

3.5.2. Убедитесь в функциональной полноте элемента ИЛИ-НЕ, собрав схемы рис. 7.8 и исследуя логику их работы.

#### **4. Контрольные вопросы**

4.1. Дайте определение логического элемента.

4.2. Перечислите критерии классификации логических элементов.

4.3. Как обозначаются (маркируются) логические элементы (по ГОСТ 18682-73) в интегральном исполнении?

4.4. Приведите условные графические обозначения и таблицы истинности основных логических элементов.

4.5. Запишите логические уравнения работы основных логических элементов.

4.6. Приведите схемы логических элементов И, ИЛИ, НЕ на базе элементов 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ.

4.7. Как записать логическое уравнение по таблице истинности?

#### **5. Требование к содержанию отчета**

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие ответы на контрольные вопросы;
- результаты выполнения задания по п. 2.2, 2.3 раздела домашней подготовки в виде графических обозначений всех микросхем, используемых в лабораторном задании с указанием номеров выводов (цоко-

левки) и в виде схемы логического устройства, реализующего логическую функцию по таблице 7.8;

- результаты выполнения лабораторного задания в виде схем исследуемых логических устройств и их таблиц истинности;
- анализ результатов работы и выводы по цели работы.



## Лабораторная работа № 8

### Цифровые устройства комбинационного типа

#### Цели работы:

- изучить назначение, принцип работы, разновидности и условные обозначения комбинационных устройств;
- приобрести навыки экспериментального исследования работы КЦУ.

#### 1. Краткие теоретические сведения

##### 1.1. Общие сведения

Работа цифровых устройств, несмотря на многообразие задач, решаемых с их помощью, в конечном счете сводится к записи, хранению дискретной информации и выполнению определенного круга логических операций. Эти операции выполняются едиными методами и осуществляются с помощью однотипных для всех устройств логических схем. Поэтому различные по назначению цифровые устройства содержат в своем составе однотипные цифровые узлы (блоки, модули).

Эти узлы (блоки, модули) делятся на два класса: комбинационные и последовательностные.

Комбинационные цифровые узлы (КЦУ), как правило, состоят из одних лишь логических элементов. В таких устройствах значение выходной переменной зависит только от комбинации значений входных переменных в данный момент времени.

К цифровым узлам комбинационного типа относятся сумматоры, цифровые компараторы, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры и демультимплексоры.

##### 1.2. Шифратор (кодер)

Шифратор служит для преобразования единичного сигнала (унитарный код 1 из 10) в  $n$ -разрядный двоичный код. Наибольшее применение шифраторы находят в устройствах ввода информации для преобразования десятичных чисел в двоичный код. Как следует из таблицы состояний 8.1, в таком устройстве должно быть 10 входов и 4 выхода. На выходе  $Y_1$  единица появляется при нажатии нечетных клавиш устройства ввода, т.е. при подаче единичного сигнала хотя бы на одну из нечетных входных шин.

Таблица 8.1

Десятичное число	Двоичный код				Десятичное число	Двоичный код			
	$Y_4$	$Y_3$	$Y_2$	$Y_1$		$Y_4$	$Y_3$	$Y_2$	$Y_1$
0	0	0	0	0	5	0	1	0	1
1	0	0	0	1	6	0	1	1	0
2	0	0	1	0	7	0	1	1	1
3	0	0	1	1	8	1	0	0	0
4	0	1	0	0	9	1	0	0	1

Следовательно, выходу  $Y_1$  отвечает переключательная (булева) функция вида

$$Y_1 = X_1 \vee X_3 \vee X_5 \vee X_7 \vee X_9 \text{ или } Y_1 = X_1 + X_3 + X_5 + X_7 + X_9.$$

Для остальных выходов булевы функции имеют вид

$$Y_2 = X_2 \vee X_3 \vee X_6 \vee X_7; Y_3 = X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee X_7; Y_4 = X_8 \vee X_9$$

Из этой системы уравнений следует, что схема шифратора содержит один пятиходовый элемент ИЛИ, два четырехходовых и один двухходовый элемент ИЛИ.

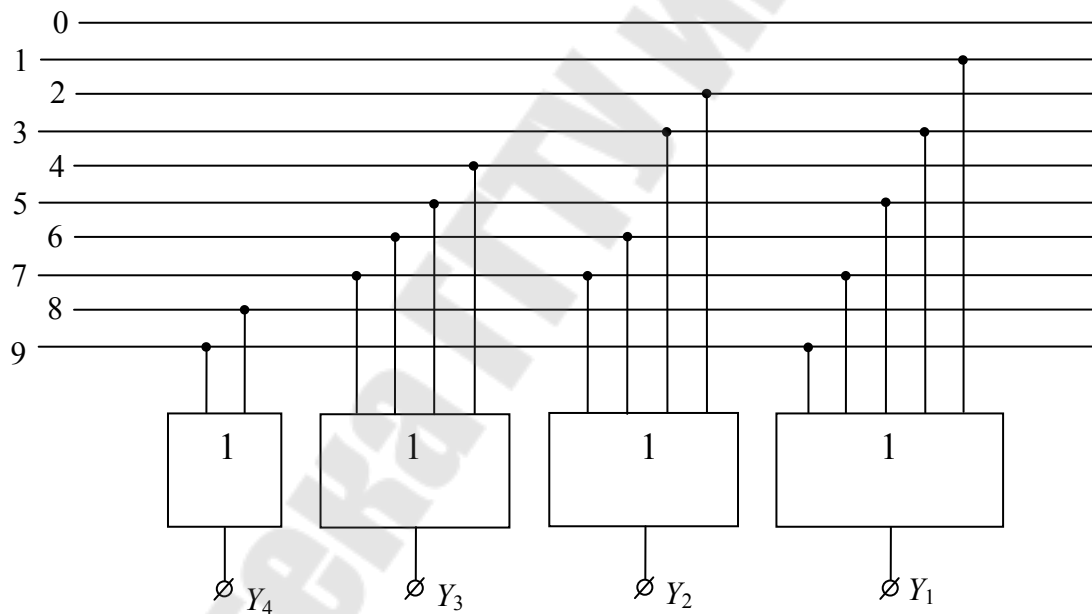


Рис. 8.1. Схема шифратора (кодера) для преобразования десятичных чисел в двоичный код

Условное обозначение шифратора на функциональных схемах приведено на рис. 8.2.

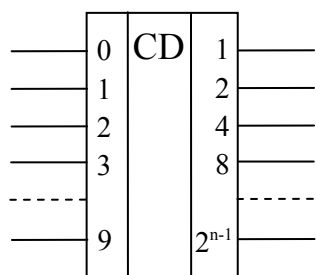


Рис. 8.2. Условное обозначение шифратора

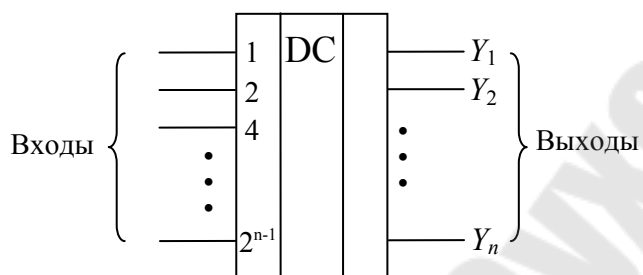


Рис. 8.3. Условное обозначение дешифратора

В серии отечественных микросхем шифраторы обозначаются буквами ИВ, например К155ИВ1.

### 1.3. Дешифратор (декодер)

Дешифратор предназначен для распознавания различных кодовых комбинаций. Он преобразует код, поступающий на его входы, в сигнал только на одном из его выходов. Условное обозначение дешифратора на функциональных схемах приведено на рис. 8.3.

Число входов  $m$  дешифратора определяет максимальное число разрядов двоичного кода, который можно преобразовать данным дешифратором. В зависимости от значения двоичного числа на входах, сигнал логической единицы появляется только на одной определенной шине. Таким образом, для  $m$  входов требуется  $n = 2^m$  выходных шин.

Дешифраторы входят во многие серии микросхем ТТЛ и КМДП-логики. Например, К155ИД4 (два дешифратора в одном корпусе) преобразуют двоичный код в код 1 из четырех; дешифраторы К155ИД1 и К176ИД1 – в код 1 из десяти; дешифратор К155ИД3 – в код 1 из шестнадцати.

### 1.4. Мультиплексор

Мультиплексором называют управляемый кодом коммутатор нескольких входов на один выход. Мультиплексор имеет несколько информационных входов ( $D_0, D_1 \dots$ ), адресные входы ( $A_0, A_1 \dots$ ), вход для стробирующего (разрешающего) сигнала  $C$  и один выход  $Q$ . На рис. 8.4 показано графическое обозначение мультиплексора с четырьмя информационными входами. Каждому информационному входу присваивается номер, называемый адресом. Когда на стробирующем входе сигнал логического нуля ( $C = 0$ ), связь между выходом  $Q$  и информационными входами отсутствует ( $Q = 0$ ).

При наличии стробящего сигнала ( $C = 1$ ), на выход  $Q$  передается логический уровень того информационного входа, номер которого в двоичном коде задан на адресных входах. Логика работы мультиплексора отображается таблицей истинности 8.2.

Таблица 8.2

$A_1$	$A_0$	$C$	$Q$
*	*	0	0
0	0	1	$D_0$
0	1	1	$D_1$
1	0	1	$D_2$
1	1	1	$D_3$

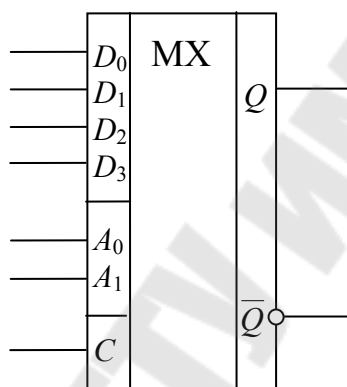


Рис. 8.4. Условное обозначение мультиплексора

Из таблицы 8.2 следует, что

$$Q = D_0 \bar{A}_1 \bar{A}_0 + D_1 \bar{A}_1 A_0 + D_2 A_1 \bar{A}_0 + D_3 A_1 A_0.$$

При увеличении числа информационных входов увеличивается разрядность адреса.

В интегральном исполнении выпускаются мультиплексоры на 2, 4, 8 и 16 информационных входов.

В тех случаях, когда требуется передавать на выходы многоразрядные входные данные в параллельной форме, используется параллельное включение мультиплексоров по числу разрядов, передаваемых данных. В сериях отечественных микросхем мультиплексоры обозначаются буквами КП. Например, К555КП2, К564КП1.

### 1.5. Демультимплексор

Демультимплексором называется управляемый кодом коммутатор одного входа на один из нескольких выходов. Графическое обозначение демультимплексора на четыре выхода приведено на рис. 8.5.

Таблица 8.3

$A_1$	$A_0$	$Y_3$	$Y_2$	$Y_1$	$Y_0$
0	0	0	0	0	D
0	1	0	0	D	0
1	0	0	D	0	0
1	1	D	0	0	0

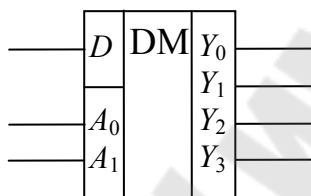


Рис. 8.5. Условное обозначение демультимплексора

Работа демультимплексора отображается таблицей состояний 8.3.

Сигнал со входа  $D$  передается на один из выходов  $Y_0, Y_1, Y_2, Y_3$ , по коду, заданному на адресных входах  $A_0, A_1$ .

Таблице 8.3 отвечает система логических уравнений (функций)

$$Y_0 = D\bar{A}_1\bar{A}_0; Y_1 = D\bar{A}_1A_0; Y_2 = DA_1\bar{A}_0; Y_3 = DA_1A_0.$$

В сериях отечественных микросхем демультимплексоры могут отсутствовать, а их функции могут выполняться дешифратором со входом разрешения  $E$ , если на вход подавать информационный сигнал.

### 1.6. Преобразователь двоичного кода в код семисегментного индикатора

Числа на табло индицируются, как правило, в десятичном коде. Для этого можно использовать дешифратор (например, К155ИД1) совместно с газоразрядными индикаторами. Но в этом случае необходим высоковольтный источник питания постоянного тока.

В настоящее время широкое применение получили семисегментные светодиодные и жидкокристаллические индикаторы, которые работают при тех же напряжениях, что и микросхемы. В них индикация осуществляется с помощью семи отдельных сегментов, расположенных на схеме рис. 8.6.

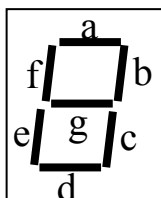


Рис. 8.6. Схема расположения сегментов семисегментного индикатора

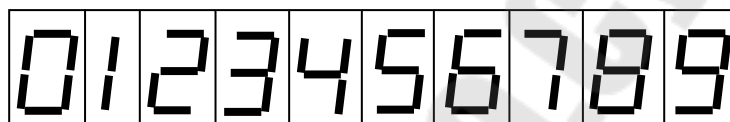


Рис. 8.7. Стилизованное изображение цифр в семисегментном индикаторе

Подавая управляющее напряжение на отдельные элементы, можно формировать изображение десятичных цифр от 0 до 7.

Таблица 8.4 отображает логику работы преобразователя кодов.

Таблица 8.4

Цифры	Двоичный код				a	b	c	d	e	f	g
	8	4	2	1							
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

Таблице 8.4 отвечает стилизованное изображение цифр рис. 8.7.

Примером преобразователя (дешифратора) кода 8421 в семисегментный являются микросхемы К514ИД1 (КР514ИД1), К514ИД2 (КР514ИД2), условное обозначение и цоколевка которых приведена на рис. 8.8.

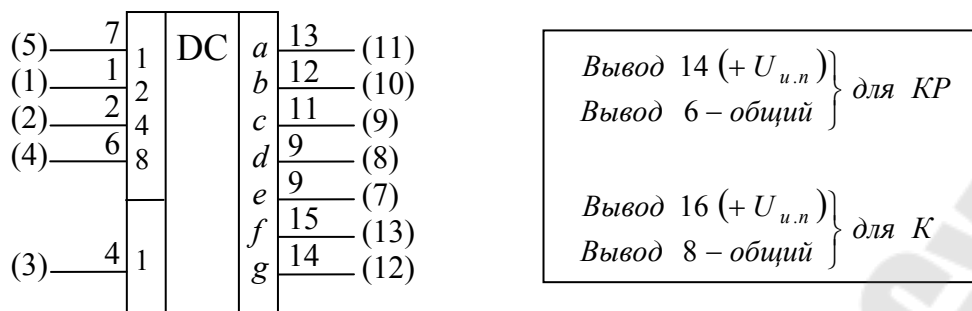


Рис. 8.8. Условное обозначение и цоколевка микросхем К514ИД1, К514ИД2 (КР514ИД1, КР514ИД2)

Сигнал Г служит для гашения индикации (сигналом низкого уровня). Дешифратор К514ИД1 работает со светодиодными индикаторами, имеющими отдельные аноды, а К514ИД2 – отдельными катодами. Дешифратор К514ИД2 подключают к индикаторам через токоограничивающие резисторы ( $200 \div 500$ ) Ом, а К514ИД1 имеет такие резисторы в своем корпусе.

## 2. Задание, выполняемое при самостоятельной подготовке

2.1. По конспекту лекций, разделу 1 данной работы и рекомендуемой литературе [7-10] изучить назначение, разновидности, принцип работы и условные обозначения преобразователей кодов. По справочнику [5] ознакомиться с назначением, параметрами и цоколевкой микросхем, используемых в экспериментальной части работы (выписать в отчет обозначение и цоколевку этих микросхем).

2.2. Заготовить отчет по требованиям раздела 5 данной работы.

## 3. Лабораторное задание

3.1. Исследуйте работу преобразователя единичных сигналов в четырехразрядный двоичный код (шифратора), собранного по схеме рис. 8.1. Для этого:

3.1.1. Установите плату шифратора в разъем модуля и подключите питание  $\pm 5В$ , соблюдая цоколевку и полярность.

3.1.2. Подключите выходы  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  шифратора к светодиодным индикаторам ( $2^0$  к  $Y_1, 2^1$  к  $Y_2, 2^2$  к  $Y_3$  и  $2^4$  к  $Y_4$ ) и заполните таблицу 8.1 двоичными кодами, подавая поочередно сигнал логической единицы на каждую из входных шин  $X_0 \div X_9$ . Выключите питание стенда и уберите провода и плату из модуля.

3.2. Исследуйте работу дешифратора К155ИДЗ в режиме преобразования двоичного трехфазного кода в код 1 из десяти. Для этого:

3.2.1. Установите микросхему в соответствующую панель модуля, соблюдая цоколевку. Подключите проводами гнезда 24 и 12 к источнику питания  $\pm 5\text{В}$  (+5 к 24-му и  $-5$  - к 12-му гнезду).

3.2.2. Присоедините входы разрешения дешифрации (гнезда 18, 19) к общей шине модуля и заполните таблицу состояний 8.5.

Таблица 8.5

Двоичный код на входе дешифратора				Код 1 из 10 на выходе дешифратора									
$2^3$	$2^2$	$2^4$	$2^0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0										
0	0	0	1										
0	0	1	0										
0	0	1	1										
0	1	0	0										
0	1	0	1										
0	1	1	0										
0	1	1	1										
1	0	0	0										
1	0	0	1										

Уровень сигнала на выходах дешифратора измеряйте с помощью осциллографа в режиме открытого входа. Входные двоичные коды подавайте с выходов генератора кодов, соблюдая разрядность. Выключите питание стенда и уберите провода и микросхему из модуля.

3.3. Исследуйте возможность применения селектора данных (мультиплексора) для построения комбинационных логических схем. Для этого:

3.3.1. Установите микросхему К155КП5 в соответствующую панель модуля, соблюдая цоколевку. Подключите питание (+5В к гнезду 14, а  $-5\text{В}$  – к гнезду 7). Подключите проводом вывод 6 микросхемы к светодиодному индикатору.

3.3.2. Подайте на информационные входы  $I_0 \div I_7$  сигналы логических уровней 0 или 1, отвечающие значениям логической функции, заданной в таблице 7.8, воспользовавшись генератором кодов, соблюдая разрядность.

3.3.3. Подавая на селекторные (адресные) входы  $S_0, S_1, S_2$  двоичные коды входных сигналов  $X_1, X_2, X_3$  (по строкам таблицы 7.8), запишите значения логической функции  $Y$  в виде таблицы истинно-



сти, с учетом инверсии на выходе мультиплексора. Выключите питание стенда и уберите провода и микросхему из модуля.

3.4. Исследуйте работу дешифратора КР514ИД1 совместно светодиодными семисегментными индикаторами АЛС324А с общим катодом (раздельными анодами). Нумерация выводов дешифратора приведена на рис. 8.8 в скобках. Нумерация сегментов индикатора приведена на рис. 8.9.

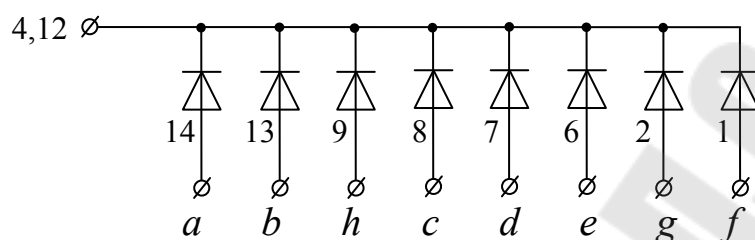


Рис. 8.9. Нумерация сегментов индикатора АЛС324А с раздельными анодами

3.4.1. Установите микросхему КР514ИД1 и семисегментный индикатор АЛС324А в соответствующие панели модуля, соблюдая цоколевку.

3.4.2. Присоедините выходы микросхемы КР514ИД1 к соответствующим сегментам индикатора АЛС324А, а шину общих катодов индикатора присоедините к общей шине модуля. Подключите питание  $\pm 5\text{В}$  к гнездам 14 и 6 микросхемы КР514ИД1.

3.4.3. Подавая двоичные четырехразрядные коды с генератора кодов, заполните таблицу 8.4. Выключите питание модуля и уберите провода и микросхемы.

#### 4. Контрольные вопросы

- 4.1. Перечислите типы комбинационных цифровых устройств, применяемых в цифровой электронике.
- 4.2. Приведите условные графические обозначения КЦУ на функциональных схемах.
- 4.3. Приведите примеры обозначений КЦУ на принципиальных схемах, на корпусах микросхем КЦУ.
- 4.4. Что представляют собой шифраторы (кодеры) и где они применяются?
- 4.5. Укажите назначение, принцип работы и применение дешифраторов (декодеров).

4.6. Что представляет собой селектор данных (мультиплексор), как он работает и где находит применение?

4.7. Какие типы индикаторов применяются для отображения информации в цифровой электронике?

4.8. Приведите типы дешифраторов различных серий, предназначенных для работы с семисегментными индикаторами.

## 5. Требования к содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие ответы на контрольные вопросы;
- результаты выполнения задания по пункту 2.1 раздела домашней подготовки в виде графических обозначений всех микросхем, используемых в лабораторном задании с указанием цоколевки (нумерации выводов);
- результаты выполнения лабораторного задания в виде схем исследуемых устройств и их таблиц состояний;
- анализ результатов экспериментальных исследований;
- выводы по цели работы.

## Лабораторная работа №9

### Цифровые устройства последовательностного типа

#### Цели работы:

- изучить назначение, классификацию, условное обозначение, маркировку и принцип работы триггеров, регистров, счетчиков;
- приобрести навыки экспериментального исследования работы триггеров, регистров, счетчиков.

#### 1. Краткие теоретические сведения

##### 1.1. Общие сведения

В цифровых устройствах последовательностного типа кроме логических элементов обязательно содержатся элементы (ячейки) памяти, способные хранить установленные состояния как минимум до последующего такта. При этом под тактом понимается промежуток времени, в течение которого значения входных и выходных сигналов не изменяются. Наличие элементов памяти придает этим устройствам новые свойства. В них значения выходных сигналов в данный момент времени зависит не только от комбинации входных сигналов, но и от внутреннего состояния устройства, зафиксированного элементами памяти. Это внутреннее состояние определяется, в свою очередь, исходным состоянием элементов памяти и последовательностью входных сигналов в предыдущие моменты времени (такты).

К цифровым устройствам последовательностного типа относятся триггеры, регистры, счетчики импульсов.

##### 1.2. Триггеры

Триггером называется цифровое устройство, обладающее двумя состояниями устойчивого равновесия и способное под воздействием внешнего управляющего сигнала переходить скачком из одного состояния в другое.

Триггер, выполняя функцию памяти, является неотъемлемой частью регистров и счетчиков. Триггер способен хранить один бит (*binary digit* – двоичный разряд) информации.

В основе любого триггера находится регенеративное кольцо из двух инверторов, охваченных глубокой положительной обратной связью (ПОС). По этой причине переход из одного состояния в другое происходит лавинообразно за очень короткое время.

По способу организации логических связей триггеры подразделяются на 4 основных типа:

- триггеры с отдельным запуском или триггеры с установочными входами (RS-триггеры);
- триггеры со счетным входом (Т-триггеры);
- триггеры с приемом информации по одному входу (D-триггеры);
- универсальные (JK-триггеры).

Триггеры могут быть синхронизируемыми (синхронными) и несинхронизируемыми (асинхронными). В синхронизируемых - изменение состояния возможно только в момент действия синхронизирующего (тактирующего) импульса, подаваемого на специальный вход.

Если источники входных сигналов непосредственно связаны с транзисторами триггера, то его входы называют статическими и обозначают по рис. 9.1.



Рис. 9.1. Обозначение асинхронных RS-триггеров с прямыми (а) и инверсными (б) входами

При наличии в составе триггера разделительных или дифференцирующих RC-цепей, импульсных трансформаторов, включаемых между генератором и транзисторами триггера, он может реагировать лишь на перепады входного напряжения. Такие входы называют динамическими и обозначают по рис. 9.2.

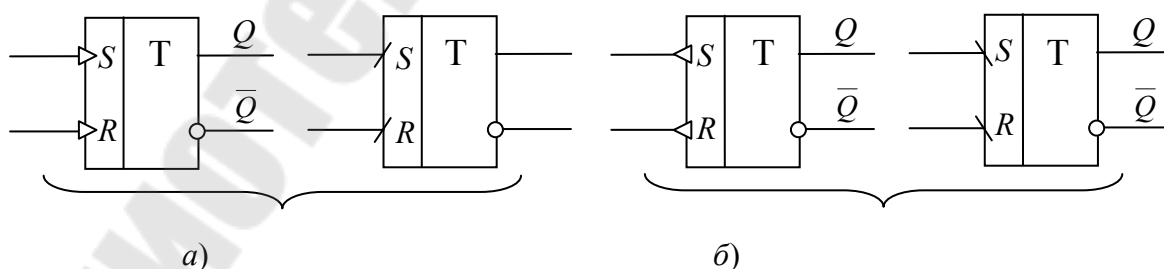


Рис. 9.2. Обозначение асинхронных RS-триггеров с прямыми (а) и инверсными (б) динамическими входами

Назначение входов триггера определяется их условными обозначениями:

$S$  – отдельный вход установки триггера в единичное состояние по прямому выходу  $Q$  (*Set* - установка),  $Q = 1$ ;

$R$  – отдельный вход установки триггера в нулевое состояние (*Reset* - сброс),  $Q = 0$ ;

$J$  – вход установки универсального JK-триггера в состояние “1” (*Jerk* – резко включить),  $Q = 1$ ;

$K$  – вход установки универсального JK-триггера в состояние “0” (*Kill* – резко выключить),  $Q = 0$ ;

$D$  – информационный вход переключения триггера в состояние, соответствующее логическому уровню на этом входе (*Delay* - задержка, *Data input* – ввод информации);

$T$  – счетный вход (*Teggle* - переключатель);

$C$  – синхронизирующий вход (*Clock*);

$Q$  – прямой выход;

$\overline{Q}$  – инверсный выход.

Микросхемы, составляющие подгруппу триггеров, имеют в маркировке букву  $T$ .

Функциональное назначение микросхем триггеров определяется двумя буквами:

ТВ-JK-триггеры; TD- динамические; ТК – комбинированные (DT, RST и др.); ТЛ – триггеры Шмита; ТМ – с задержкой (типа D); ТР – с отдельным запуском (тип RS); ТТ – счетные (тип T); ТП – прочие.

Например, К1533ТМ8; 564ТВ1 и т.д.

По характеру процесса переключения триггеры делятся на одноступенчатые и двухступенчатые (MS).

### 1.2.1. RS-триггеры

Закон функционирования триггера удобно описывать таблицей переходов. К примеру, такая таблица для асинхронного RS-триггера, реализуемого на элементах ИЛИ-НЕ рис.9.3 имеет вид табл. 9.1.

Таблица 9.1

$R^t$	$S^t$	$Q^t$	$Q^{t+1}$	Режим
0	0	0	0	Хранение
0	0	1	1	Хранение
0	1	0	1	Установка 1
0	1	1	1	Установка 1
1	0	0	0	Установка 0
1	0	1	0	Установка 0
1	1	0	*	Неопределенность
1	1	1	*	Неопределенность

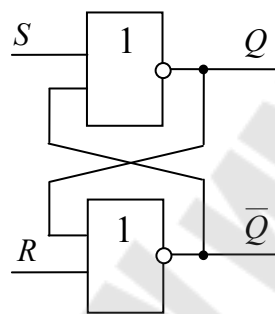


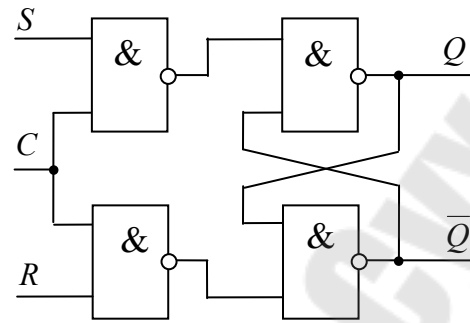
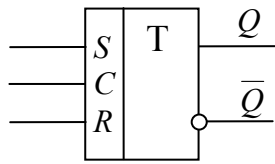
Рис. 9.3. Схема асинхронного RS-триггера на элементах 2ИЛИ-НЕ

Комбинацию входных сигналов  $S^t = 1$ ,  $R^t = 0$  называют запрещенной, т.к. в этом случае предсказать состояние триггера невозможно – такую комбинацию следует избегать.

На рис. 9.4 приведено условное обозначение и вариант исполнения синхронизируемого RS-триггера. В отличие от асинхронного, этот триггер на каждом входе имеет логический элемент 2И-НЕ, на которые поступают тактирующие сигналы (вход  $C$ ). Он функционирует в соответствии с таблицей 9.2.

Таблица 9.2

$C$	$R^t$	$S^t$	$Q^t$	$Q^{t+1}$	Режим
0	0	0	0	0	Хранение
0	0	0	1	1	Хранение
0	0	1	0	0	Хранение
0	0	1	1	1	Хранение
1	1	0	0	0	Установка 0
1	1	0	1	1	Установка 1
1	1	1	0	*	Неопределенность
1	1	1	1	*	Неопределенность



а)

б)

Рис. 9.4. Обозначение (а) и исполнение (б) синхронного RS-триггера

### 1.2.2. Универсальные JK-триггеры

Этот тип триггера относится к двухвходовым двухступенчатым устройствам и функционирует в соответствии с таблицей 9.3.

Таблица 9.3

Такт $t$			$Q^{t+1}$
$Q^t$	$J^t$	$K^t$	
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

Таблица 9.4

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	$J^t$	$K^t$
0→0	0	*
0→1	1	*(1)
1→0	*(1)	1
1→1	*	0

Из таблицы 9.3 следует, что при комбинации сигналов J и K, соответствующей конъюнкции  $JK = 1$ , триггер инвертирует предыдущее состояние. В остальных случаях JK-триггер функционирует как RS-триггер. При этом вход J эквивалентен входу S, а вход K – входу

R. Коммутацией внешних выводов JK-триггер можно превратить в RS-, D- и T-триггер рис. 9.5.

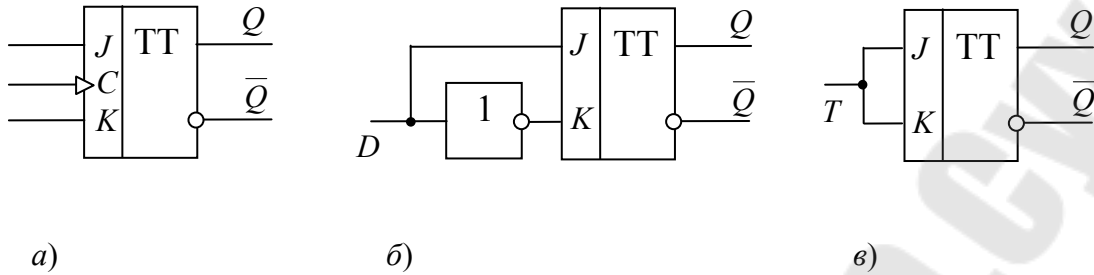


Рис. 9.5. Условное обозначение JK-триггера (а) и преобразование его в D-триггер (б) и T-триггер (в)

Таблица 9.4 отображает переходы в JK-триггере.

### 1.2.3. Триггеры Шмита

У этого типа триггера один вход и один выход. Триггер рис. 9.6а состоит из двух инверторов, охваченных ПОС. Характеристика передачи триггера Шмита рис. 9.6б имеет гистерезис (отставание), что обуславливает наличие двух пороговых уровней срабатывания  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$  при изменении уровня входного сигнала. При достижении  $U_1 = U_{n1}$  триггер скачком переходит в высокоуровневое состояние, а при уменьшении  $U_1$  до  $U_{n2}$  триггер возвращается в исходное низкоуровневое состояние.

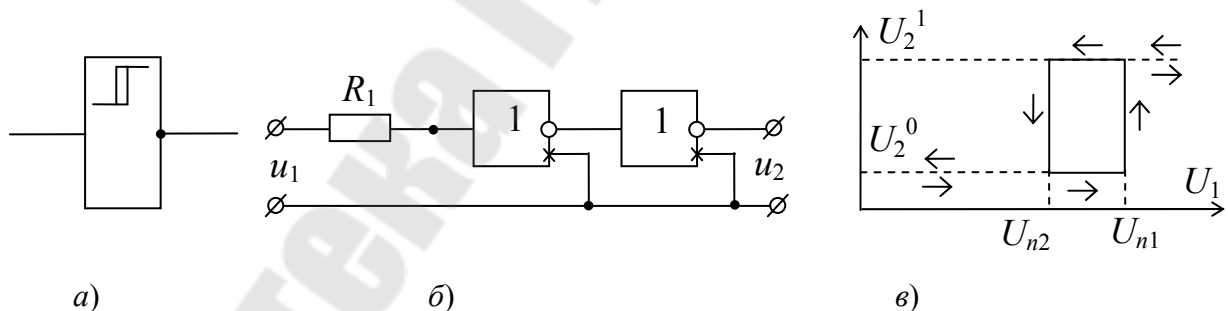


Рис. 9.6. Условное обозначение (а), реализация на инверторах (б) и характеристика передачи (в) триггера Шмита

Такие свойства триггера Шмита позволяют использовать его в качестве формирователя прямоугольных импульсов из входных колебаний произвольной формы, в схемах одновибраторов, реле времени и т.п. Выполнять функции элемента памяти триггер Шмита не может.

### 1.3. Счетчики импульсов



Последовательностное цифровое устройство, предназначенное для хранения слова информации и выполнения над ним микрооперации счета, называется счетчиком. Счетчики относятся к весьма распространенным цифровым устройствам, так как кроме подсчета и хранения кода числа импульсов используются в делителях частоты и в распределителях импульсов.

Простейшим счетчиком является триггер, осуществляющий подсчет и хранение не более двух импульсов. Соединяя несколько триггеров между собой, можно получить счетчик, подсчитывающий число  $K_{сч}$  входных импульсов. Счетчик, состоящий из  $m$  триггеров, может иметь  $K_{сч} \leq 2^m$  состояний, каждое из которых определяется комбинацией состояний всех триггеров. Переход счетчика из одного состояния в другое происходит при подаче на вход очередного входного импульса. Определяя состояние всех триггеров счетчика на их прямых выходах, можно выразить число сосчитанных импульсов (от 0 до  $K_{сч} - 1$ ) – в виде  $m$ -разрядного двоичного кода.

Существуют различные схемы счетчиков, отличающиеся назначением, типом и количеством триггеров, организацией связей между триггерами, порядком смены состояний и другими особенностями структуры и режимов.

Рассмотрим принцип работы, параметры и примеры реализации двоичных счетчиков с естественным порядком счета, в которых значение кода каждого последующего состояния отличается на единицу от кода предыдущего состояния. Такие счетчики подразделяются на суммирующие, вычитающие и реверсивные.

### 1.3.1. Основные параметры счетчиков

Число различных устойчивых состояний, в котором может находиться счетчик, называют его емкостью, модулем счета или коэффициентом пересчета. После поступления на вход счетчика  $K_{сч}$  импульсов, он возвращается в исходное состояние.

Счетчики характеризуются также быстродействием, которое определяется разрешающей способностью  $t_p = 1 / f_{сч}$  и временем установки кода  $t_{уст}$  счетчика, где  $t_p$  - минимально допустимый интервал времени между двумя входными импульсами, при котором не происходит потеря счета;  $t_{уст}$  - интервал времени между моментом поступления входного сигнала и моментом завершения перехода счетчика в новое устойчивое состояние.

### 1.3.2. Суммирующие двоичные счетчики

На рис. 9.7 приведена схема трехразрядного суммирующего двоичного счетчика на основе универсальных тактируемых JK-триггеров.

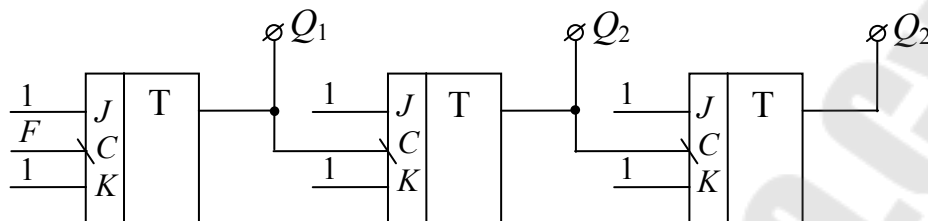


Рис. 9.7. Трехразрядный суммирующий двоичный счетчик на JK-триггерах микросхемы К155ТВ1

На все входы J и K поданы уровни логической единицы. На рис.9.8 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие работу счетчика. Состояние левого триггера соответствует младшему разряду двоичного числа, а правого – старшему разряду. Каждый триггер меняет свое состояние лишь в тот момент, когда на него действует со стороны входа отрицательный перепад напряжения.

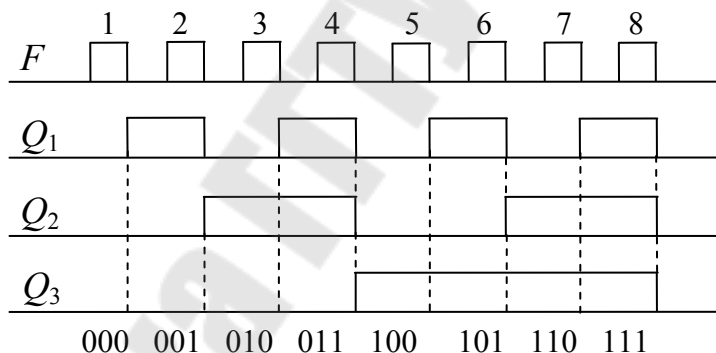


Рис. 9.8. Временные диаграммы работы суммирующего счетчика

Из диаграмм рис. 9.8 следует, что частота переключений каждого последующего триггера в два раза меньше, чем предыдущего, т.е. каждый триггер делит частоту входного сигнала в два раза.

### 1.3.3. Вычитающие счетчики

На рис.9.9 приведена схема трехразрядного вычитающего двоичного счетчика на основе JK-триггеров. Каждый из JK-триггеров работает в режиме T-триггера со счетным входом.

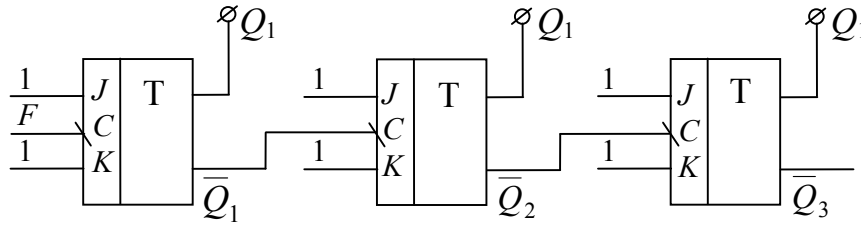


Рис. 9.9. Трехразрядный вычитающий двоичный счетчик

В начале работы в счетчик заносится двоичное число 111 (десятичное число 7) и далее на вход  $C$  синхронизации первого (левого) триггера подаются импульсы.

Коды на выходах  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  счетчика для каждого входного импульса приведены на рис. 9.10.

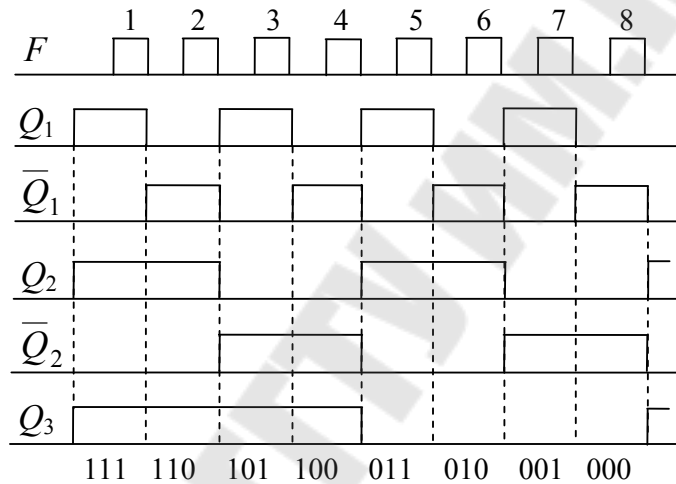


Рис. 9.10. Временные диаграммы работы вычитающего счетчика

#### 1.3.4. Реверсивные счетчики

В качестве примера рассмотрим принцип работы реверсивных счетчиков типа К155ИЕ6, К155ИЕ7 рис. 9.11. В отечественных сериях микросхем счетчики определяются по буквам ИЕ.

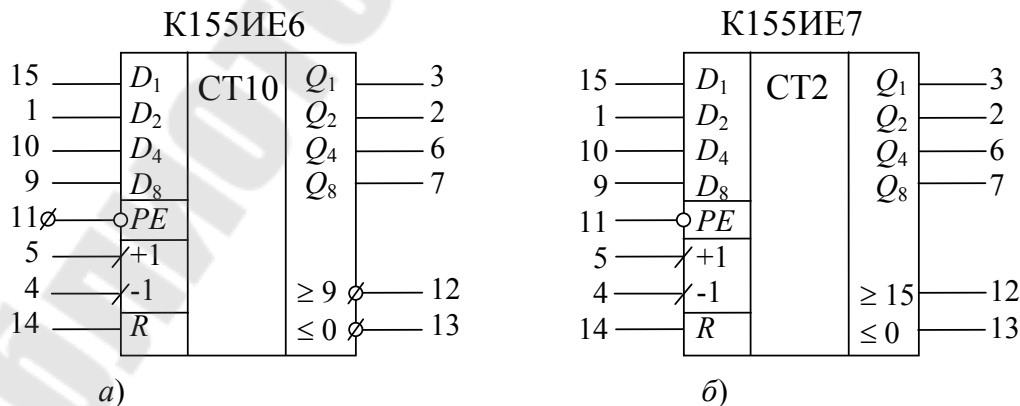


Рис. 9.11. Микросхемы реверсивных счетчиков: двоично-десятичный (а) и двоичный (б)

Направление счета определяется тем, на какой вход +1 или –1 подается сигнал (на 5 или на 4). Входы 15, 1, 10, 9 – информационные, а вход 11 используется для предварительной записи. Подаются данные на информационные входы, а затем импульс записи низкого уровня – на вход 11, и счетчик запомнит число. Вход 14 – для установки в нуль при подаче сигнала высокого уровня. Выводы 12 и 13 – для построения счетчиков большой разрядности.

#### 1.4. Регистры

Регистром называется цифровое устройство последовательностного типа, предназначенное для приема (записи), хранения, вывода и выполнения логических преобразований над n-разрядным двоичным словом (от англ. *Register*).

В состав регистра, как правило, входит КЦУ для выполнения логических операций и управления работой триггеров. В регистрах выполняются следующие операции:

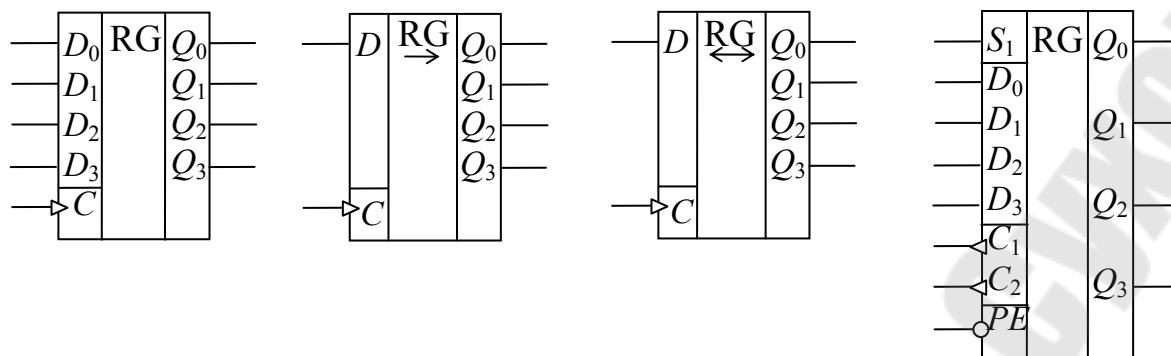
- прием (ввод) слова из другого ПЦУ и передача (вывод) хранимой информации в другие ПЦУ;
- поразрядные логические операции;
- сдвиг хранимой информации влево или вправо на определенное число разрядов;
- преобразование кода числа последовательного в параллельный и наоборот;
- установка в начальное состояние (сброс).

По способу ввода и вывода информации различают следующие виды регистров:

- с параллельным приемом и выдачей информации;
- с последовательным приемом и выдачей информации;
- с параллельным приемом и последовательной выдачей информации;
- с последовательным приемом и параллельной выдачей информации.

Сдвиговые регистры могут быть однонаправленными (сдвиг только в одном направлении) и двунаправленными (с переключением направления сдвига).

В отечественных сериях микросхем регистры определяют по буквам ИР. На функциональных схемах регистры обозначают буквами RG рис. 9.12.



а) б) в) г)  
 Рис. 9.12. Обозначение резисторов на функциональных схемах:  
 а) четырехразрядный параллельный регистр на D-триггерах; б) регистр сдвига вправо;  
 в) двунаправленный сдвиговый регистр;  
 г) универсальный четырехразрядный сдвиговый регистр К155ИР1

Микросхема К155ИР1 – четырехразрядный универсальный сдвиговый регистр рис. 9.12г. Каждый разряд образован синхронным RS-триггером, включенным по схеме D-триггера. Он имеет 4 параллельных входа записи  $D_0...D_3$  и один последовательный вход данных  $S_1$ , а также 4 выхода  $Q_0...Q_3$  от каждого из триггеров. Регистр имеет два тактовых входа  $\overline{C}_1$ ,  $\overline{C}_2$ , управляемых спадом тактового импульса, и вход разрешения параллельной загрузки  $\overline{PE}$ , который служит для выбора режима работы регистра. Если на входе  $\overline{PE}$  высокий уровень, то разрешается работа по входу  $\overline{C}_2$ . В момент прихода на этот вход отрицательного напряжения импульса, в регистр загружаются данные со входов  $D_0...D_3$  (режим параллельного ввода). Если на входе  $\overline{PE}$  низкий уровень, то разрешается работа по входу  $\overline{C}_1$ . С приходом отрицательного перепада тактового импульса на  $\overline{C}_1$ , данные последовательно сдвигаются от входа  $S_1$  на выход  $Q_0$ , затем на  $Q_1$  и т.д. (сдвиг вправо).

## 2. Задание, выполняемое при самостоятельной подготовке

2.1. По разделу 1 и рекомендуемой литературе [10,11] изучите назначение, классификацию, принцип работы и условные обозначения триггеров, регистров и счетчиков электрических импульсов.

2.2. Из справочника [5] выпишите условные обозначения и цоколевку микросхем триггеров, регистров и счетчиков, исследуемых в экспериментальной части работы.

2.3. Заготовьте отчет по требованиям раздела 5.

### 3. Лабораторное задание

3.1. Снимите передаточную характеристику триггера Шмита. Для этого:

3.1.1. Установите микросхему К155ТЛ2 в одну из панелей модуля и подключите питание  $\pm 5\text{В}$  к шинам модуля и к гнездам 14 и 7 микросхемы, соблюдая полярность.

3.1.2. Установите на монтажное устройство стенда переменный резистор  $R = 22\text{кОм}$  и подайте на него напряжение  $5\text{В}$  от источника Гн1.

3.1.3. Подключите выход потенциометра к одному из элементов триггера согласно цоколевке, а выход этого же элемента подключите ко входу осциллографа. Выход потенциометра подключите также к вольтметру постоянного тока с пределом -  $5\text{В}$ .

3.1.4. Установите начальное входное напряжение  $U_{\text{вх}} = 0\text{В}$  (потенциометром по показаниям вольтметра) и с помощью осциллографа в режиме открытого входа определите и запишите  $U_{\text{вых}}$ , В.

3.1.5. Медленно увеличивая  $U_{\text{вх}}$ , зафиксируйте момент скачкообразного уменьшения напряжения на выходе и запишите  $U_{\text{вых}}$ , В и  $U_{\text{вх}}$ , В.

3.1.6. Продолжая увеличивать  $U_{\text{вх}}$  до  $2,5\text{В}$ , убедитесь в неизменной величине  $U_{\text{вых}}$  и запишите  $U_{\text{вх}} = 2,5\text{В}$  и  $U_{\text{вых}}$ .

3.1.7. Медленно уменьшая  $U_{\text{вх}}$ , зафиксируйте момент скачкообразного увеличения  $U_{\text{вых}}$  и запишите  $U_{\text{вх}}$  и  $U_{\text{вых}}$ .

3.1.8. Продолжая уменьшать  $U_{\text{вх}}$  до  $0\text{В}$ , убедитесь в неизменном значении  $U_{\text{вых}}$ . Постройте график передаточной характеристики по образцу рис. 9.6в. Выключите питание и уберите провода и микросхему из модуля.

3.2. Исследуйте работу асинхронного RS-триггера на логических элементах 2ИЛИ-НЕ. Для этого:

3.2.1. Установите в соответствующую панель модуля микросхему К155ЛЕ1 и подведите питание  $5\text{В}$  к выводам 14 и 7 микросхемы, соблюдая полярность.

3.2.2. Соберите схему рис.9.3. Коммутируя сигналы на входах триггера, определите сигналы  $Q$  и  $\bar{Q}$  на выходах и заполните таблицу

переключений 9.1. Выключите питание и уберите провода и микросхему из модуля.

3.3. Исследуйте работу синхронного RS-триггера. Для этого:

3.3.1. Установите микросхему K155ЛА3 в соответствующую панель модуля и соберите схему по рис. 9.4б. Подключите к гнездам 14 и 7 через общие шины модуля питания  $\pm 5\text{В}$ . Снимите таблицу 9.2. Убедитесь, что при  $C = 0$  триггер не реагирует на изменения сигналов на входах  $R$  и  $S$ . Выключите питание и разберите схему.

3.4. Используя справочную информацию, исследуйте работу универсального сдвигового регистра K155ИР1 в различных режимах. Для этого:

3.4.1. Установите микросхему K155ИР1 в соответствующую панель модуля и подключите питание  $\pm 5\text{В}$  к гнездам 14 и 7 через общие шины модуля.

3.4.2. Подведите к информационным входам  $D_0, D_1, D_2, D_3$  четырехразрядный код, а вход  $\overline{PE}$  подключите к шине  $+5\text{В}$  через токоограничивающий резистор  $10\text{кОм}$ . Подайте на вход  $C_2$  тактовый импульс (импульс считывания) от генератора одиночных импульсов (ГОИ) и убедитесь, что с приходом отрицательного перепада этого импульса (т.е. при отпускании кнопки ГОИ) код с информационных входов поступает на выходы  $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3$  из регистра. Выходы должны быть подключены к светодиодным индикаторам модуля.

3.4.3. Подайте на вход  $\overline{PE}$  сигнал логического нуля, а тактовые импульсы - на вход  $C_1$ , и, подавая импульсы от ГОИ, убедитесь в сдвиге данных от  $S_1$  к  $Q_0$ , от  $Q_0$  к  $Q_1$  и т.д. (сдвиг вправо). Составьте таблицу кодов в зависимости от номера импульса.

3.4.4. Соедините  $Q_3$  с  $D_2$ ,  $Q_2$  с  $D_1$  и  $Q_1$  с  $D_0$  и, подавая тактовые импульсы на вход  $C_1$ , при логическом нуле на входе  $\overline{PE}$ , наблюдайте сдвиг данных по регистру влево. Выключите питание и разберите схему.

3.5. Исследуйте работу реверсивного счетчика электрических импульсов. Для этого:

3.5.1. Установите микросхему K155ИЕ6 и микросхему K155ЛА3 в соответствующие панели модуля и соберите устройство по рис. 9.13. Подайте питание  $\pm 5\text{В}$  через общие шины модуля и подключите гнездо 1 микросхемы K155ЛА3 к выходу ГОИ.

3.5.2. Заполните таблицу 9.5 состояний выходов счетчика при нажатой кнопке  $K_n$ , подавая на вход устройства импульсы от ГОИ

путем нажатия кнопки этого генератора до повторного появления на выходе счетчика исходного кода 0000.

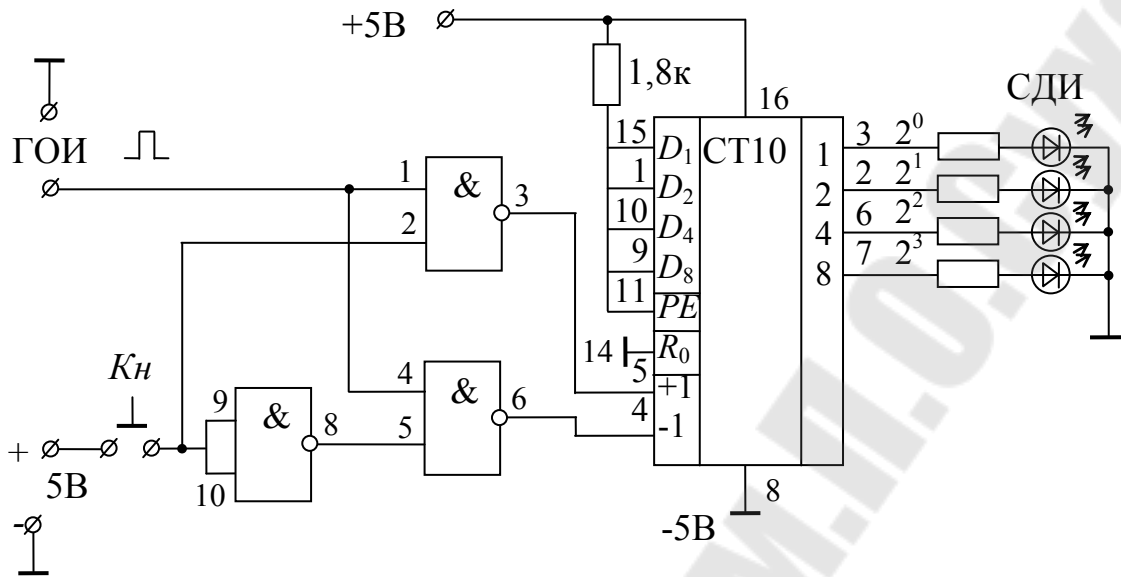


Рис. 9.13. Схема для исследования работы реверсивного счетчика К155ИЕ6

Таблица 9.5

№ импульса	Код на выходе счетчика (кнопка нажата)				Код на выходе счетчика (кнопка отпущена)			
	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
0	0	0	0	0	1	0	0	1
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

3.5.3. Повторите п.3.52 при отпущенной кнопке (цепь разомкнута), предварительно путем нажатия кнопки ГОИ установив исходный код 1001. Выключите питание и разберите схему.

#### 4. Контрольные вопросы

- 4.1. Чем отличаются цифровые узлы последовательного типа ПЦУ от узлов комбинационного типа КЦУ?
- 4.2. Какие устройства относятся к ПЦУ?
- 4.3. Чем отличается работа асинхронных и синхронных ПЦУ?



- 4.4. Дайте определение триггерного устройства.
- 4.5. Как можно задать правила функционирования триггера?
- 4.6. Приведите схемы простейших синхронного и асинхронного триггеров на логических элементах.
- 4.7. Поясните принцип работы триггера Шмита.
- 4.8. Дайте определение регистра и приведите классификацию регистров по способу ввода-вывода информации.
- 4.9. Какие операции реализуются с помощью регистров?
- 4.10. Дайте определение счетчика электрических импульсов.
- 4.11. Укажите назначение счетчиков.
- 4.12. Приведите классификацию счетчиков.
- 4.13. Что представляет собой таблица функционирования счетчика?
- 4.14. Как обозначаются триггеры, регистры и счетчики на принципиальных схемах? (Приведите примеры обозначений).

## **5. Требования к содержанию отчета**

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие ответы на контрольные вопросы;
- результаты выполнения лабораторного задания в виде схем, таблиц состояний.

## **Лабораторная работа №10**

### **Аналоговые компараторы, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи**

#### **Цели работы:**

- изучить назначение, разновидности, принцип работы и условные обозначения аналоговых компараторов, ЦАП и АЦП;
- приобрести навыки сборки и экспериментального исследования работы простейших схем ЦАП и АЦП.

#### **1. Краткие теоретические сведения**

##### *1.1. Общие сведения*

В электронных системах одинаково часто применяется обработка информации, представленной в аналоговой и цифровой формах. Это обусловлено тем, что первичная информация о различных физических величинах и процессах носит, как правило, аналоговый характер. Обработку же этой информации удобнее выполнять в цифровой форме. Использование полученных после обработки результатов также в большинстве случаев требует их аналогового представления. Следовательно, любая электронная система, использующая цифровые методы обработки информации, содержит устройства взаимного преобразования аналоговых и цифровых сигналов. Роль таких устройств выполняют аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи.

##### *1.2. Аналоговые компараторы*

При практической реализации АЦП применяются устройства сравнения аналоговых сигналов (аналоговые компараторы). Один из сигналов называют опорным ( $U_{on}$ ), а другой – измеряемым или входным ( $U_x$ ).

В момент равенства сигналов, напряжение на выходе компаратора резко изменяется. Обычно после компаратора включается цифровой логический элемент, на вход которого можно подавать напряжения двух уровней. Один уровень должен соответствовать логической единице, а другой – логическому нулю. К примеру, для ТТЛ микросхем уровень логического нуля соответствует  $(-0,5 \div -1,4)$ В, а логической единицы  $(3 \div 5)$ В.

Один из возможных вариантов двухвходового компаратора на основе ИОУ, применяемый для работы с цифровыми микросхемами ТТЛ-логики, приведен на рис.10.1а.

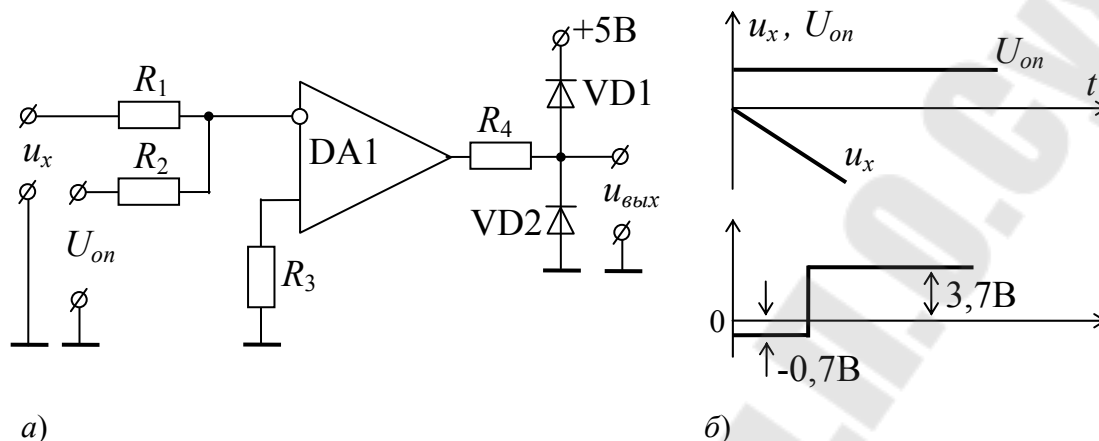


Рис.10.1. Схема двухвходового компаратора для ТТЛ-микросхем (а) и временные диаграммы напряжений на его входах и выходе (б)

Амплитуда сигнала  $u_{\text{вых}}$  на выходе такого устройства ограничена диодами VD1 и VD2 (рис.10.1б) на уровне логического нуля и логической единицы, в то время как на выходе операционного усилителя DA1 сигнал изменяется в пределах  $\pm U_{\text{нас}}$ , недопустимых для подачи на вход ТТЛ микросхем.

Более высоким быстродействием и точностью сравнения обладают специализированные интегральные схемы аналоговых компараторов. Такие микросхемы состоят из входного дифференциального усилителя, промежуточного усилителя с большим коэффициентом усиления и выходным формирователем уровня, обеспечивающим на выходе напряжение логической единицы и логического нуля той или иной серии микросхем. На рис. 10.2, к примеру, приведена схема включения интегрального компаратора К554СА3 с однополярным питанием.

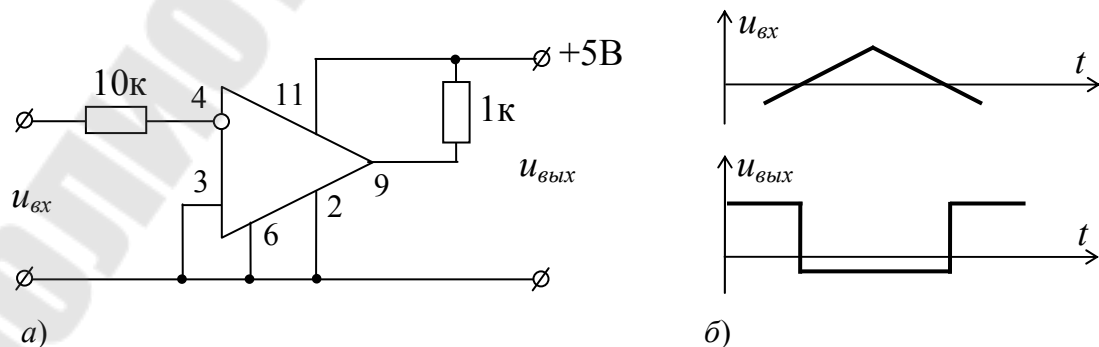


Рис.10.2. Схема включения интегрального компаратора К554СА3

с однополярным питанием (а) и диаграмма напряжений на его входе и выходе (б)

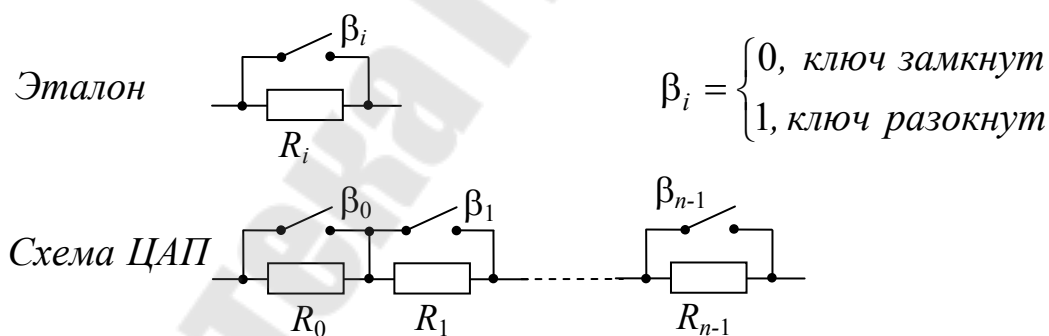
Устройство рис. 10.2а позволяет преобразовывать периодические двухполярные сигналы произвольной формы в однополярные импульсы с крутыми фронтами, т.е. является нуль-компаратором.

### 1.3. Цифро-аналоговые преобразователи

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) – устройство, предназначенное для преобразования входной величины, представленной цифровым кодом, в эквивалентное значение той или иной физической величины. В качестве аналоговой физической величины могут фигурировать: угол поворота, линейное перемещение, давление жидкости или газа, напряжение или ток и т.д.

Все ЦАП можно разделить на несколько классов в зависимости от способа представления величин в цифровой форме, физической природы аналоговой величины, структурной схемы преобразователя, характера зависимости входных и выходных величин.

Метод построения ЦАП, при котором выходная величина имеет ту же физическую природу, что и эталоны, используемые в схеме, называется прямым методом. На рис.10.3 приведен пример такого ЦАП в виде управляемого цифровым кодом электрического сопротивления  $R$ .



Уравнение работы ЦАП :  $R = \beta_0 R_0 + \beta_1 R_1 + \dots + \beta_{n-1} R_{n-1}$

Соотношение :  $R_i = R_0 2^{-i}$

Рис. 10.3. Схема ЦАП код-сопротивление

Если ЦАП должен работать на переменную нагрузку или обеспечивать входной сигнал большой мощности, то схему ЦАП допол-

няют операционным усилителем и называют такую схему активным ЦАП. Структурная схема активного ЦАП приведена на рис. 10.4.

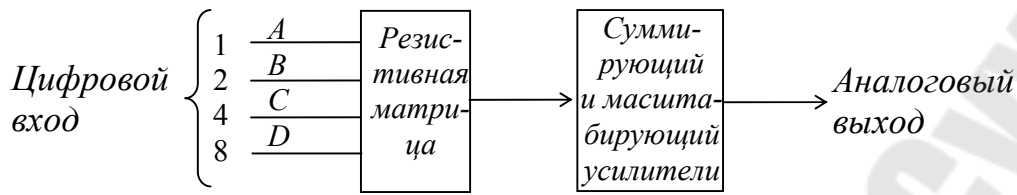


Рис. 10.4. Структурная схема активного ЦАП  
На функциональных схемах ЦАП обозначаются по рис. 10.5.

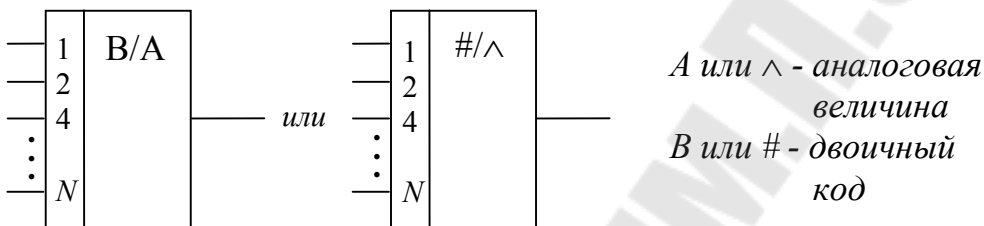


Рис. 10.5. Обозначение ЦАП на функциональных схемах

Работа ЦАП может быть описана с помощью таблицы истинности, представляющей собой зависимость значения аналоговой величины на выходе (например, напряжения в вольтах) от цифрового кода на входе ЦАП.

Наиболее часто в ЦАП применяются резистивные матрицы лестничного типа с двоично-взвешенными резисторами ( $R-2R$ ) рис. 10.6.

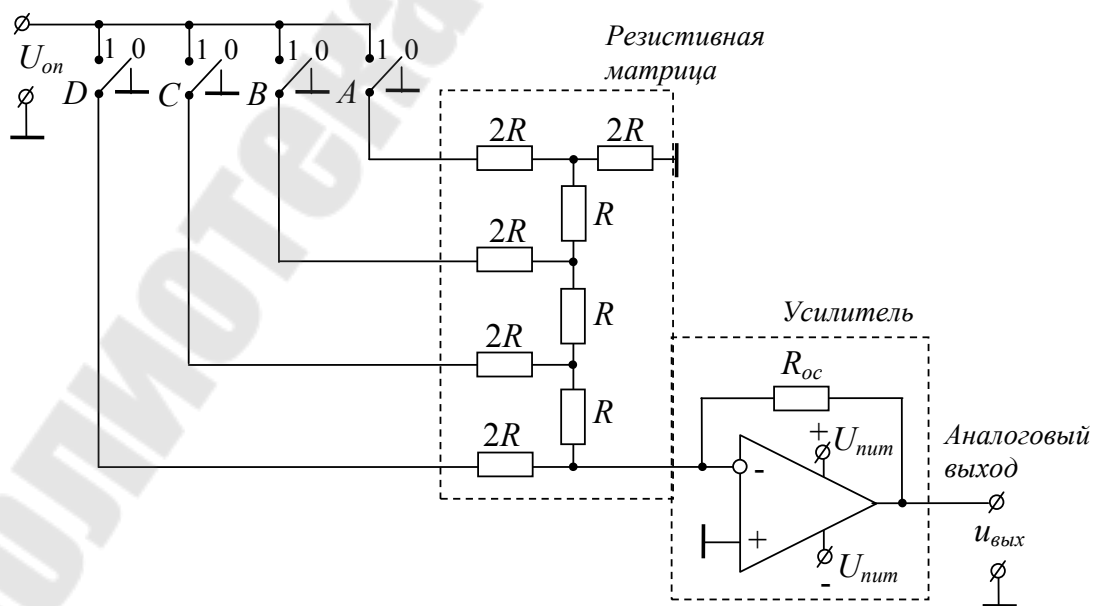


Рис. 10.6. Схема активного ЦАП с резистивной матрицей R-2R

Напряжение на выходе такого ЦАП определяется выражением:

$$U_{вых} = \Delta U(8\beta_D + 4\beta_C + 2\beta_B + 1\beta_A), \quad (10.1)$$

где  $\Delta U$  - минимальная ступенька напряжения (шаг квантования), зависящая от  $U_{on}$ , числа разрядов  $N$  и параметров элементов схемы  $R$  и  $R_{oc}$  по соотношению

$$\Delta U = \frac{U_{on} R_{oc}}{2^N R}. \quad (10.2)$$

Если, к примеру, принять  $U_{on} = 3,75$  В,  $R_{oc} = 10,666$  кОм,  $R = 10$  кОм, то

$$\Delta U = \frac{3,75 \cdot 10,666}{16 \cdot 10} = 0,25 \text{ В.}$$

При этом выражению 10.1 будет отвечать таблица истинности 10.1.

Таблица 10.1

Цифровой вход				Аналоговый выход, В
D	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0,25
0	0	1	0	0,5
0	0	1	1	0,75
0	1	0	0	1,00
0	1	0	1	1,25
0	1	1	0	1,50
0	1	1	1	1,75
1	0	0	0	2,00
1	0	0	1	2,25
1	0	1	0	2,50
1	0	1	1	2,75
1	1	0	0	3,00
1	1	0	1	3,25
1	1	1	0	3,50
1	1	1	1	3,75

Если микросхема ИОУ питается напряжением  $U_{num} = \pm 13$  В, то  $U_{on}$  не должно превышать  $U_{num}$ . Входы А, В, С, D данного ЦАП (рис.10.6) можно непосредственно подключать к выходу интегральных схем ТТЛ-логики (например, к выходам двоичного счетчика).

Промышленностью выпускаются микросхемы, представляющие собой преобразователи входного кода в ток. В состав таких микросхем входит резистивная матрица, генератор тока с устройством

управления, обеспечивающие точное поддержание токов, токовые ключи с устройством управления, коммутирующие в соответствии с входным кодом цепи резистивной матрицы. В устройство управления может входить схема согласования входа ЦАП с цифровыми микросхемами ТТЛ, ЭСЛ, КМДП и др.

Для выполнения функций преобразования код-напряжение необходим еще источник опорного напряжения и операционный усилитель, преобразующий ток в напряжение. Эти два узла часто представляют собой отдельную микросхему.

К примеру, микросхема К572ПА1 представляет собой преобразователь двоичного кода в ток. Он содержит резистивную матрицу  $R - 2R$ , токовые ключи и устройство управления. Для преобразования кода в напряжение на выходе микросхемы устанавливается операционный усилитель.

Микросхема согласована по логическим уровням входов с КМДП ИС, при  $U_{пит} = 15\text{ В}$ . Непосредственное согласование с ИС ТТЛ возможно при  $U_{пит} = 5\text{ В}$ .

#### 1.4. Аналого-цифровые преобразователи

АЦП служат для преобразования входных аналоговых величин в цифровой код. По типу преобразуемой величины АЦП делятся на прямые преобразователи (напряжение-код, фаза-код, RLC-параметры-код, частота-код и др.) и на АЦП с промежуточным преобразованием (напряжение-временной интервал-код, частота-напряжение-код, фаза-временной интервал-код и др.)

Задача аналого-цифрового преобразования состоит в нахождении ближайшего к аналоговой величине отсчета цифрового эквивалента, который может быть предоставлен в любой системе счисления. Если АЦП используются в цифровых измерительных приборах, показания которых считываются человеком, то применяется десятичная система счисления. При работе АЦП с ЭВМ удобна двоичная система счисления.

Основным критерием классификации АЦП является алгоритм его работы (АЦП последовательного счета, АЦП поразрядного уравнивания, АЦП непосредственного считывания). При этом алгоритм включает в себя совокупность последовательных операций, посредством которых устанавливается однозначное соответствие между входной аналоговой величиной и эталонами.

##### 1.4.1. Метод последовательного уравнивания

Этот метод преобразования (называемый также методом последовательного счета, методом единичных приращений, числовым методом) является наиболее простым. Процедура преобразования в этом методе занимает длительное время. АЦП такого типа отличается простотой и надежностью. Процесс преобразования состоит в следующем.

Входная аналоговая величина  $U_x$  сравнивается с суммой  $n$  одинаковых минимальных эталонов  $\Delta U$ , называемых квантами. Создается последовательность вида  $n_U - \Delta U$ . В момент времени  $t_U$  (время измерения), когда значение элемента последовательности  $n_U - \Delta U$  отличается от величины  $U_x$  меньше, чем на  $\Delta U$ , число квантов  $n_U$  преобразуется в выходной код рис. 10.7.

Сравнение величины  $U_x$  с  $n_U \Delta U$  производится в данном типе АЦП с помощью одного сравнивающего устройства (аналогового компаратора). Количество шагов  $n_U = \frac{U_x}{\Delta U}$ .

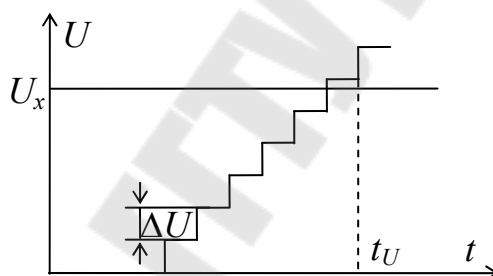


Рис. 10.7. К пояснению алгоритма работы АЦП последовательного счета

На рис. 10.8 приведена принципиальная схема АЦП последовательного уравнивания. Это, по сути дела, цифровая следящая система, которая непрерывно “следует” за всеми изменениями входного напряжения. При этом код на выходе АЦП (на выходе реверсивного двоичного счетчика DD2) всегда пропорционален напряжению  $U_x$  на входе АЦП.



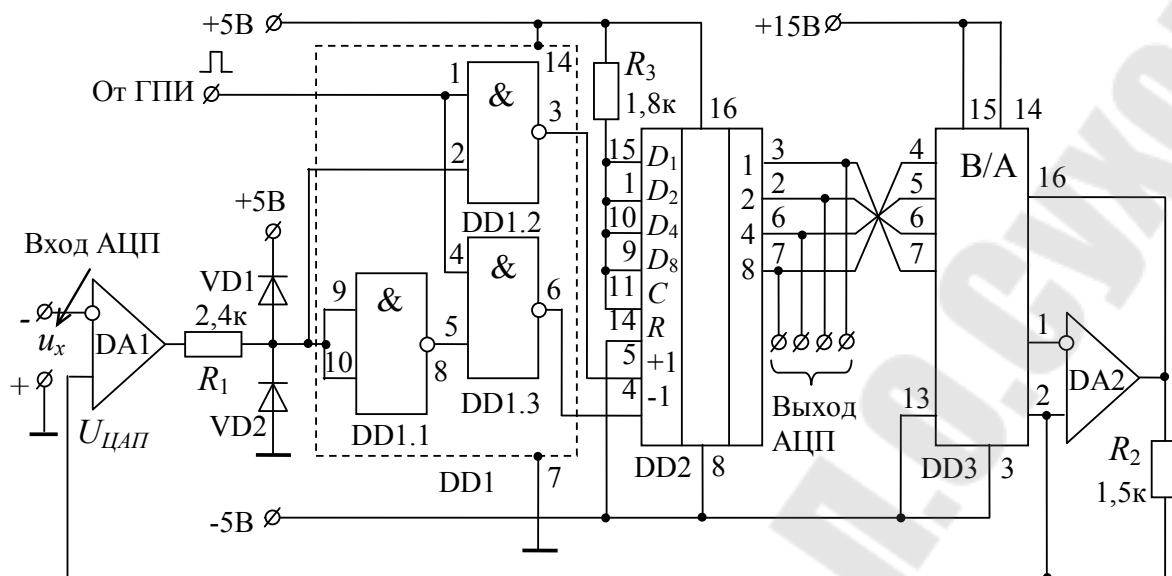


Рис. 10.8. Схема АЦП последовательного уравнивания: DA1, DA2 – К157УД2; DD1 – К155ЛА3; DD2 – К155ИЕ6; DD3 – КР572ПА1; VD1, VD2 – КД-522

Входное напряжение  $U_x$  подается от источника постоянного тока, а на один из входов (суммирующий +1, либо вычитающий -1) счетчика поступают тактовые импульсы от генератора прямоугольных импульсов ГПИ через блок управления.

АЦП работает следующим образом. Пусть все разряды счетчика находятся в нулевом состоянии. При этом  $U_{ЦАП} = 0$ . При подаче  $|U_{вх}| > |U_{ЦАП}^{max}|$  на выходе компаратора DA1 будет положительное напряжение  $U_{нас}^+$ , которое через согласующую цепочку (преобразователь уровня)  $R_1, VD1, VD2$  подается на входы 2, 9, 10 микросхемы DD1. При этом на входе 5 DD1.3 будет нуль, а на входе 4 – уровень логической единицы. В этом случае тактирующие импульсы будут проходить через DD1.2 на суммирующий вход 5 DD2 и, следовательно, двоичный код и  $U_{ЦАП}$  будут возрастать по рис. 10.7.

Если  $|U_{вх}| < |U_{ЦАП}^{max}|$ , то в момент времени, когда  $U_{ЦАП}$  станет больше  $U_{вх}$ , компаратор скачком изменит выходное напряжение от  $U_{нас}^+$  до  $U_{нас}^-$ . В этом случае на вход 2 DD1.2 поступит логический нуль, а на вход 5 DD1.3 – логическая единица, и тактовые импульсы от генератора будут проходить через DD1.3 на вычитающий вход 4 DD2, в результате чего  $U_{ЦАП}$  уменьшится на  $\Delta U$ . Таким образом в

случае, когда  $|U_{вх}| < |U_{ЦАП}^{max}|$  на выходе ЦАП двоичный код будет всегда пропорционален  $U_x$  рис. 10.9а.

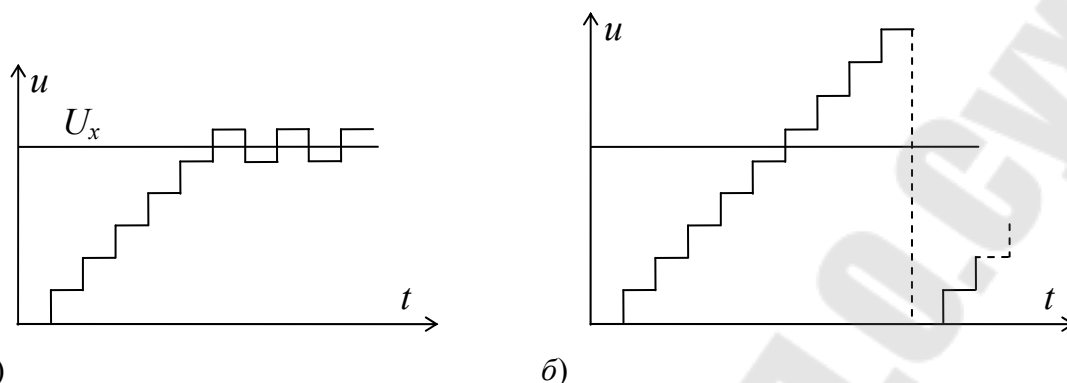


Рис. 10.9. Временные диаграммы работы АЦП последовательного уравнивания:

$$а) |U_x| < |U_{ЦАП}^{max}| ; \quad б) |U_x| > |U_{ЦАП}^{max}|$$

В случае, когда  $|U_x| > |U_{ЦАП}^{max}|$ , после подсчета  $K_{сч}$  импульсов, счетчик, а следовательно и  $U_{ЦАП}$  будут устанавливаться в исходное нулевое состояние и снова процесс накопления повторится рис.10.9б. Значение  $U_{ЦАП}^{max}$  зависит от разрядности счетчика и микросхемы преобразователя DD3, а также от величины  $\Delta U$ , и для заданной схемы рис.10.8 составляет  $U_{ЦАП}^{max} \approx -8В$ .

#### 1.4.2. Метод поразрядного уравнивания

Этот метод (называемый также методом поразрядного приближения или весовым методом) преобразования занимает промежуточное положение по быстродействию, сложности и надежности.

Входная аналоговая величина последовательно сравнивается с суммой эталонов, имеющих значение  $2^i$  квантов. При этом значения двух соседних эталонов отличается в два раза. Сравнение начинается с эталона, имеющего максимальное значение. В результате сравнения получается цифра старшего разряда цифрового эквивалента. Если эталон больше входной величины, то в старшем разряде ставится “0” (рис.10.10).

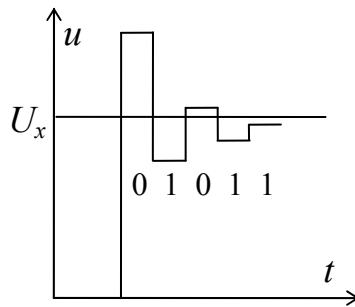


Рис. 10.10. К пояснению алгоритма работы АЦП поразрядного уравнивания

Далее сравнивается входная величина с эталоном вдвое меньше. По окончании уравнивания образуется код, являющийся цифровым эквивалентом суммы всех эталонов, которым отвечают единицы. В этом методе также применяется один компаратор, на один из входов которого подается  $U_x$ , а на другой – эталонные величины  $U$ .

Процесс преобразования заканчивается, когда эталон оказывается равным шагу квантования. Количество шагов  $N = \log_2 n$ , где  $n$  – количество квантов  $\Delta U$ , вмещающихся в  $U_x$ , т.е.  $n = \frac{U_x}{\Delta U}$  ( $N \ll n$ ).

#### 1.4.3. Метод параллельного уравнивания

Этот метод (называемый также методом параллельного кодирования, методом непосредственного считывания) является наиболее быстродействующим и наиболее сложным в аппаратной реализации, так как требует  $2^n - 1$  эталонов и компараторов. Младший из эталонов равен одному кванту, следующий – двум квантам, трем квантам и т.д. Входная величина одновременно сравнивается со всеми эталонами. Результатом является код в виде сигналов на выходах компараторов, который преобразуется в выходной код с помощью приоритетного шифратора, соответствующий самому старшему из всех сработавших компараторов. Время преобразования минимально и определяется временем срабатывания компараторов и задержкой шифратора.

## 2. Задание, выполняемое при самостоятельной подготовке

2.1. По разделу 1 и рекомендуемой литературе [11÷13] изучить назначение, разновидности и принцип работы аналоговых компараторов, ЦАП и АЦП.

2.2. Заготовить отчет по требованиям раздела 5.

### 3. Лабораторное задание

3.1. Исследуйте работу двухвходового компаратора на основе ИОУ с устройством преобразования уровня на полупроводниковых диодах. Для этого:

3.1.1. Соберите (под руководством преподавателя) устройство по рис.10.8. Подайте питание  $\pm 5\text{В}$  от источника ГН1 и  $\pm 15\text{В}$  от источника ИсНЗ стенда.

3.1.2. Подайте напряжение  $U_x = -5\text{В}$  от источника ГН2 стенда на вход компаратора (инвертирующий вход микросхемы DA1). На вход логического блока подайте прямоугольные импульсы частотой  $f = 500\text{Гц}$  максимальной амплитуды от генератора стенда.

3.1.3. В режиме внешней синхронизации развертки осциллографа снимите временные диаграммы напряжений на входе 1 микросхемы DD1, на выходе микросхемы DA1 и на входах 2, 9, 10 микросхемы DD1. Зарисуйте диаграммы в протокол друг под другом, с указанием масштабов  $m_U$  В/дел и  $m_t$  мс/дел.

3.2. Исследуйте работу цифро-аналогового преобразователя на базе микросхемы КР572ПА1. Для этого:

3.2.1. Подайте на инвертирующий вход DA1 напряжение  $U_x = -10\text{В}$  от ГН2 и получите на экране осциллограмму характеристику преобразования код-аналог ЦАП.

3.2.2. Отключите от входа 1 DD1 генератор стенда и подключите его к выходу генератора одиночных импульсов (ГОИ). К неинвертирующему входу DA1 подключите вольтметр АВ2 с пределом 10В.

3.2.3. Подавайте одиночные импульсы (нажимая на кнопку ГОИ) на вход и заполняйте таблицу 10.1. Четырехразрядный двоичный код на входе ЦАП считывайте с панели светодиодных индикаторов, а величину напряжения на выходе ЦАП определяйте по шкале вольтметра. Постройте характеристику преобразования по образцу рис. 10.9б.

3.3. Исследуйте работу устройства рис.10.8 в режиме АЦП. Для этого:

3.3.1. Подайте на неинвертирующий вход DA1 (вход АЦП) напряжение  $U_x < U_{\text{ЦАП}}^{\text{max}}$  и снимите таблицу 10.1, установив предварительно исходный код на выходе счетчика 0000. Постройте диаграмму работы АЦП по образцу рис. 10.9а.

3.3.2. Подключите на вход 1 вместо ГОИ генератор прямоугольных импульсов и отснимите осциллограммы напряжений на выходе генератора (на входе 1 DD1), на входе 5 счетчика и на входе 4 счетчи-

ка К155ИЕ6 для  $U_x = 0$  и для  $U_x = 10\text{В}$ . Постройте характеристики в виде временных синхронизированных диаграмм (друг под другом), указав значения масштабных множителей. Выключите питание стенда и осциллографа и разберите схему.

#### 4. Контрольные вопросы

- 4.1. Дайте определение аналогового компаратора.
- 4.2. Приведите схему двухвходового компаратора на основе ИОУ, приемлемого для работы с ТТЛ-микросхемами.
- 4.3. Приведите примеры маркировки серийно выпускаемых интегральных компараторов.
- 4.4. Дайте определение цифро-аналогового преобразователя ЦАП.
- 4.5. Чем отличаются пассивные и активные ЦАП?
- 4.6. Приведите структурную схему активного ЦАП.
- 4.7. Что представляет собой таблица истинности ЦАП?
- 4.8. Приведите принципиальную схему активного ЦАП с резистивной матрицей R-2R.
- 4.9. От чего зависит значение шага квантования в активных ЦАП?
- 4.10. Дайте определение АЦП.
- 4.11. Что понимается под алгоритмом функционирования ЦАП?
- 4.12. Поясните принцип работы АЦП последовательного уравнивания.
- 4.13. Поясните принцип работы АЦП поразрядного уравнивания.
- 4.14. Поясните принцип работы АЦП параллельного уравнивания.
- 4.15. Дайте сравнительную оценку достоинств и недостатков различных схем АЦП.

#### 5. Требования к содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие ответы на контрольные вопросы;
- результаты выполнения лабораторного задания в виде схемы рис. 10.8, временных диаграмм, таблиц состояний, характеристик преобразования;
- анализ результатов экспериментальных исследований;
- выводы по цели работы.

## Рекомендуемая литература

1. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника /Ю.С. Забродин. – М.: Высш.шк., 1982. – 496с.
2. Горбачев, Г.Н. Промышленная электроника /Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Соломатин, Н.М. Логические элементы ЭВМ: практическое пособие для вузов/Н.М. Соломатин. – М.: Высш.шк., 1990. – 160с.
4. Князьков, О.М. Лабораторные работы по основам промышленной электроники /О.М. Князьков. – М.: Высш.шк., 1989. – 75с.
5. Богданович, М.И. Цифровые интегральные микросхемы: справочник /М.И. Богданович. – Мн.: Беларусь, 1991. – 493с.
6. Букреев, И.Н. Микроэлектронные схемы цифровых устройств /И.Н. Букреев.– М.: Радио и связь, 1990. – 416с.
7. Пухальский, Г.И. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах: справочник /Г.И. Пухальский. – М.: Радио и связь, 1990. – 304с.
8. Красноголовый, Б.Н. Преобразователи кодов /Б.Н. Красноголовый– Мн.: Изд-во БГУ, 1983. – 175с.
9. Мальцева, Л.А. Основы цифровой техники /Л.А. Мальцева. – М.: Радио и связь, 1987. – 128с.
10. Цифровая и вычислительная техника: учебник для вузов /под ред. Э.В. Евреинова. – М.: Радио и связь, 1991. – 464с.
11. Басилашвили, М.С. Лабораторный практикум по голографии и цифровой обработке информации/ М.С. Басилашвили. – Мн.: Университетское, 1989.
12. Вениаминов, В.Н. Микросхемы и их применение: справочное пособие/ В.Н. Вениаминов. – М.: Радио и связь, 1989.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №6. Структурные элементы вторичных источников питания без преобразования частоты .....	3
Лабораторная работа №7. Полупроводниковые логические элементы .....	20
Лабораторная работа №8. Цифровые устройства комбинационного типа .....	33
Лабораторная работа №9. Цифровые устройства последовательностного типа.....	43
Лабораторная работа №10. Аналоговые компараторы, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи .....	58
Рекомендуемая литература .....	70

**Тиличенко Михаил Павлович  
Изотов Петр Павлович**

**АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ  
ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА**

**Лабораторный практикум  
по курсу «Электротехника и электроника»  
для студентов неэлектротехнических специальностей  
дневной и заочной форм обучения В двух частях  
Часть 2**

Подписано в печать 02.07.10.

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

Ризография. Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 4,09.

Изд. № 248.

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

<http://www.gstu.by>

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

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

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.