

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра автоматизации технологических процессов

# ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторным работам

Составитель:  
Н.Г. РАССКАЗЧИКОВ

УДК 621.38  
ББК 32.973-01  
Э45

Рецензент  
Доктор технических наук, профессор  
Владимирского государственного университета  
*С.А. Сбитнев*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Владимирского государственного университета

**Электроника** : метод. указания к лабораторным работам / сост.  
Э45 Н.Г. Рассказчиков ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим.  
гос. ун-та, 2006. – 48 с.

Составлены в соответствии со стандартами специальностей 220301 – автоматизация технологических процессов и производств, 220401 – мехатроника, 200201 – лазерная техника и лазерные технологии. Обеспечивают изучение дисциплин «Электроника», «Общая электротехника и электроника», «Электроника и микропроцессорная техника». В ходе выполнения лабораторных работ студенты приобретают навыки исследования электронных устройств, применения измерительных приборов и пакетов прикладных программ для схемотехнического моделирования.

Предназначены для студентов дневного обучения специальностей 220301, 220401, 200201.

Табл. 10. Ил. 32. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.38  
ББК 32.973-01

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторные занятия по электронике входят в состав учебно-методического комплекса изучения дисциплин «Общая электротехника и электроника», «Электроника», «Электроника и микропроцессорная техника» в соответствии со стандартами специальностей 220301, 220401, 200201. Они играют важную роль при изучении современной электроники, составляющей основу схемотехнического обеспечения систем управления, дают студентам наглядное представление о работе отдельных элементов и устройств, при этом осуществляется один из важнейших моментов учебного процесса – связь теории с практикой, в результате чего студент приобретает необходимые знания, умения и навыки в организации и проведении опытов и исследований с самостоятельной оценкой полученных результатов.

В ходе выполнения лабораторных работ решаются следующие задачи:

- углубленное изучение прослушанного на лекциях и приобретенного в результате самостоятельной работы теоретического материала;
- развитие практических навыков расчета, построения и наладки электронных схем, их экспериментального исследования;
- приобретение опыта в оформлении отчетной документации в соответствии с нормативными документами по составлению и оформлению технической документации.

В основу выполнения лабораторных работ положен фронтальный метод, по которому экспериментальные исследования проводятся после того, как материал данной темы изложен на лекции.

## Часть 1. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА

Логические элементы и устройства относятся к классу цифровой техники, и используются в различных системах импульсного и цифрового действия. Целью цикла лабораторных работ, выполняемых на стенде УМ-11, является изучение типовых логических элементов, триггеров и узлов на их основе.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя универсальный стенд типа УМ-11, выполненный на элементах ТТЛ-логики. Стенд имеет наборное поле, в состав которого входят:

- 2-, 3-, 4- и 8-входные логические элементы И-НЕ (2И-НЕ, 3И-НЕ, 4И-НЕ, 8И-НЕ);
- логические элементы И-ИЛИ-НЕ (2И-2И-ИЛИ-НЕ, 2И-2И-2И-3И-ИЛИ-НЕ);
- функциональные расширители ИЛИ;
- триггеры *D*- и *JK*-типов;
- тумблерный регистр для задания логических уровней восьми разрядов;
- генераторы, вырабатывающие две серии, синхроимпульсов СИ1 и СИ2, сдвинутых на полпериода друг относительно друга, частотой 1 МГц и 500 кГц;
- генератор синхроимпульсов частотой 1 МГц;
- синхронизируемый генератор одиночных импульсов;
- регулируемый элемент задержки;
- гнезда подключения осциллографа;
- светодиодные индикаторы уровня сигнала.

Стенд выполнен на микросхемах серии К155:

- напряжение питания элементов, В :  $+5 \pm 0,25$ ;
- логический уровень единицы, В не менее :  $+2,4$ ;
- логический уровень нуля, В, не более :  $+0,4$ .

Каждому элементу стенда соответствует условное графическое обозначение на лицевой панели. Входы и выходы элементов выведены на

гнезда рядом с обозначениями. Коммутация элементов и осциллографа выполняется гибкими проводниками со штеккерами.

Включение стенда производится тумблером "СЕТЬ", расположенным на его задней стенке. При этом загорается светодиод, расположенный в правом верхнем углу наборного поля.

В состав лабораторной установки входит двухлучевой осциллограф С1-55 для наблюдения процессов во времени.

## **Лабораторная работа № 1** **ЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И ЭЛЕМЕНТЫ**

**Цель работы:** изучение основного элементного базиса логических устройств.

### **Общие сведения**

*Логическими элементами* называют устройства дискретного действия, характеризующиеся чаще всего двумя устойчивыми состояниями, которым соответствуют выходные сигналы высокого (логическая 1) и низкого (логический 0) уровней. Логические элементы бывают комбинационные и последовательностные. У первых выходные координаты однозначно определяются набором входных переменных, а у вторых – не только комбинацией входных переменных, но и предшествующим состоянием элемента. Зависимость выходного сигнала от сочетания входных определяется логической функцией.

*Логической функцией* называется функция  $f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$ , которая, как и ее аргументы  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ , принимает только два значения: логические 0 и 1. Логические функции задаются либо математическими формулами, либо в виде таблиц истинности. Математическое описание и преобразование логических функций выполняется с помощью аппарата алгебры логики (алгебра Буля).

### **Законы алгебры логики**

Законы алгебры логики вытекают из логических аксиом и имеют две формы выражения: для логического сложения (дизъюнкции) и логического умножения (конъюнкции):

- закон нулевого множества:  $X + 0 = X$ ,  $X \cdot 0 = 0$ ;

- закон универсального множества:  $X + 1 = 1$ ,  $X \cdot 1 = X$ ;
- закон повторения:  $X + X = X$ ,  $X \cdot X = X$ ;
- закон двойной инверсии:  $\overline{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} = X$ ;
- закон дополнительности:  $X + \overline{X} = 1$ ,  $X \cdot \overline{X} = 0$ ;
- переместительный закон:  $X_1 + X_2 = X_2 + X_1$ ,  $X_1 \cdot X_2 = X_2 \cdot X_1$ ;
- сочетательный закон:

$$X_1 + (X_2 + X_3) = (X_1 + X_2) + X_3 = X_1 + X_2 + X_3,$$

$$X_1 (X_2 \cdot X_3) = (X_1 \cdot X_2) X_3 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

- распределительный закон:

$$X_1 + X_2 \cdot X_3 = (X_1 + X_2) \cdot (X_1 + X_3),$$

$$X_1 \cdot (X_2 + X_3) = X_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot X_3;$$

- закон поглощения:

$$X_1 + X_1 \cdot X_2 = X_1, \quad X_1 (X_1 + X_2) = X_1,$$

$$X_1 + \overline{X_1} \cdot X_2 = X_1 + X_2, \quad X_1 (\overline{X_1} + X_2) = X_1 \cdot X_2;$$

- закон склеивания:

$$(X_1 + X_2)(X_1 + \overline{X_2}) = X_1, \quad X_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot \overline{X_2} = X_1;$$

- закон инверсии (закон де Моргана):

$$\overline{X_1 + X_2} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}, \quad \overline{X_1 \cdot X_2} = \overline{X_1} + \overline{X_2}.$$

Законы алгебры логики позволяют упрощать логические выражения и соответственно схемы логических устройств.

### Типовые логические элементы

Типовыми, или базисными, называют логические элементы, реализующие следующие простейшие логические функции:

- функцию НЕ :  $Y = \overline{X}$ ;
- функцию ИЛИ :  $Y = X_1 + X_2$ ;
- функцию И :  $Y = X_1 \cdot X_2$ ;
- функцию ИЛИ-НЕ :  $Y = \overline{X_1 + X_2}$ ;
- функцию И-НЕ :  $Y = \overline{X_1 \cdot X_2}$ .

Из этих простейших функций с использованием законов алгебры логики может быть получена любая сколь угодно сложная логическая функция, поэтому базисные элементы составляют основу выпускаемых серий интегральных микросхем, так как на них может быть создано логическое устройство любой сложности.

Условные графические обозначения типовых логических элементов даны на рис.1, а.

Для вычислительных узлов большое значение имеют логические функции НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ и РАВНОЗНАЧНОСТЬ:

$$Y = X_1 \oplus X_2 = X_1 \cdot \bar{X}_2 + \bar{X}_1 \cdot X_2 = (X_1 + X_2) \cdot \overline{(X_1 \cdot X_2)},$$

$$Y = X_1 \sim X_2 = X_1 \cdot X_2 + \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2 = (X_1 \cdot X_2) + \overline{(X_1 + X_2)}.$$

Схемы и условные обозначения комбинационных логических элементов, реализующих эти функции, представлены на рис.1, б.

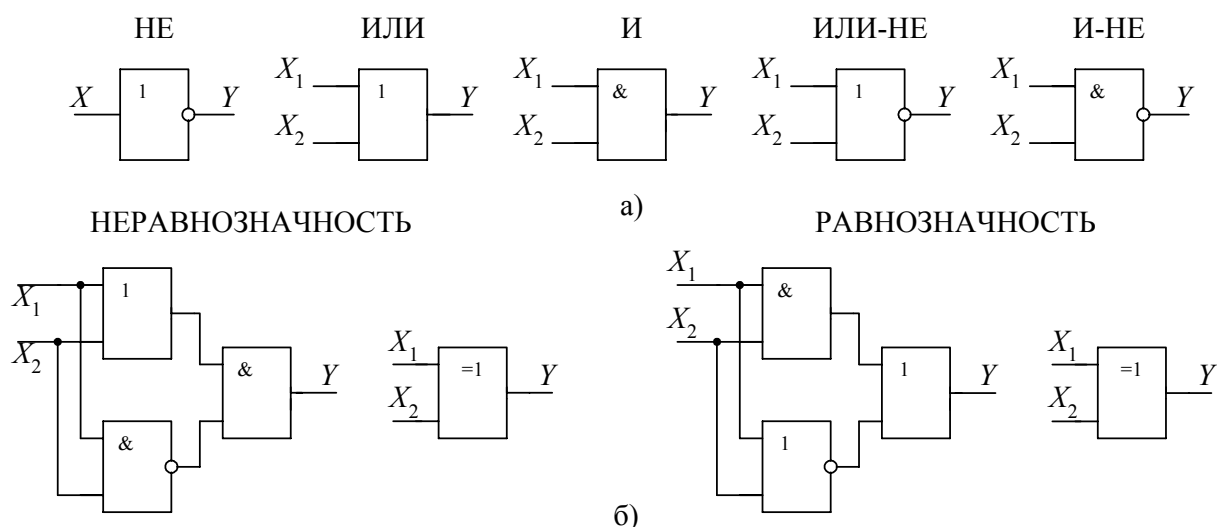


Рис.1. Схемы и условные графические обозначения типовых (а) и простейших комбинационных (б) логических элементов

## Порядок выполнения работы

### 1. Экспериментальное определение таблиц истинности.

Для экспериментального определения таблиц истинности логической схемы, заданной преподавателем, ее входы подключают к выходам тумблерного регистра, а выход – к светодиоду. Задавая тумблерами различные комбинации входных сигналов и наблюдая за уровнем выходного сигнала, составляют таблицу истинности.

### 2. Синтез логической схемы.

Заданную логическую функцию упрощают, применяя законы алгебры логики, и приводят ее к виду, удобному для реализации на элементах

И-НЕ, ИЛИ-НЕ. Далее согласно п. 1 проверяют на соответствие таблицам истинности исходную и синтезированную функции.

### Контрольные вопросы

1. Понятие логической функции нескольких переменных.
2. Способы задания функций.
3. Законы алгебры логики.
4. Типовые логические функции.
5. Реализация функций на логических элементах И-НЕ.
6. Реализация функций на логических элементах ИЛИ-НЕ.

## Лабораторная работа № 2 СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ

**Цель работы:** изучение принципов работы, методов синтеза и особенностей основных типов комбинационных схем, приобретение навыков реализации их на реальных интегральных элементах.

### Общие сведения

#### Формы логических функций

Элементарная конъюнкция – *минтерм* – образуется логическим умножением переменных и их отрицаний:  $P = x \cdot y \cdot \bar{z}$ ;  $Q = \bar{x} \cdot y \cdot \bar{z}$ .

Элементарная дизъюнкция – *макстерм* – образуется логическим сложением переменных и их отрицаний:  $P = x + y + \bar{z}$ ;  $Q = \bar{x} + \bar{y} + z$ .

Число переменных, составляющих минтерм или макстерм, называется *рангом*.

$P = x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 \cdot x_4$  – элементарная конъюнкция четвертого ранга.

$M = x_1 + \bar{x}_2 + x_3$  – элементарная дизъюнкция третьего ранга.

Функция в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ) является логической суммой элементарных конъюнкций:

$$P = \bar{x} \cdot y + x \cdot \bar{y} + x \cdot y \cdot z + \bar{x} \cdot y \cdot \bar{z}.$$

Функция в конъюнктивной нормальной форме (КНФ) является логическим произведением элементарных дизъюнкций:

$$P = (x + y) \cdot (x + \bar{y}) \cdot (\bar{x} + y + z).$$



Если в состав логической формулы входят наборы аргументов одинакового ранга, то такая форма называется *совершенной* (СКНФ и СДНФ).

Требования к совершенной форме:

1. В функции не должно быть двух одинаковых конъюнкций (дизъюнкций).
2. Ни одна конъюнкция (дизъюнкция) не содержит двух одинаковых двоичных переменных.
3. Ни одна конъюнкция (дизъюнкция) не содержит двоичную переменную вместе с ее отрицанием.
4. Все конъюнкции (дизъюнкции) одного ранга.

Синтез логических устройств состоит из нескольких этапов:

1. Формируются логические условия работы схемы в виде таблицы истинности.
2. Составляется СДНФ (или СКНФ) логической функции.
3. Производится минимизация логической функции.
4. Строится функциональная схема устройства.
5. Разрабатывается принципиальная схема с минимальным числом элементов или на указанной элементной базе.

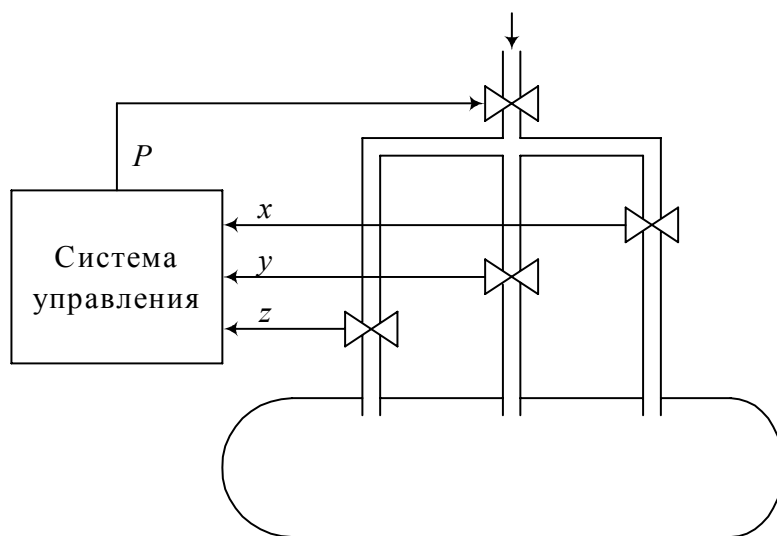
### **Формирование логических условий работы**

Рассмотрим пример. Имеется резервуар с тремя впускными клапанами. По условию работы резервуар можно наполнять только в том случае, если открыт только один впускной клапан (рис. 2).

Необходимо сформировать логическую функцию  $P$ , удовлетворяющую заданным условиям работы. Аргументами функции являются переменные  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , которые информируют о состоянии впускных клапанов. Функция  $P$  равна единице только тогда, когда только один из аргументов равен единице.

Составим таблицу истинности (табл. 1). Число возможных комбинаций состояний аргументов равно  $2^n$ , где  $n$  – число аргументов. Функция  $P$  имеет три аргумента. Следовательно, в нашем примере число комбинаций равно  $2^3 = 8$ . В первом столбце таблицы записывается десятичный эквивалент (ДЭ) состояний аргументов. Например, ДЭ = 6, что соответствует состоянию аргументов 110 – числу шесть, записанному в двоичной системе счисления ( $x = 1, y = 1, z = 0$ ). В столбце  $P$  записывается значение функции.

Функция  $P = 1$ , если один из аргументов равен нулю, что соответствует десятичным эквивалентам 1, 2 и 4. В остальных случаях функция равна нулю.



*Рис.2. Устройство управления*

*Таблица 1*

### Таблица истинности

| ДЭ | $x$ | $y$ | $z$ | $P$ |
|----|-----|-----|-----|-----|
| 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 1  | 0   | 0   | 1   | 1   |
| 2  | 0   | 1   | 0   | 1   |
| 3  | 0   | 1   | 1   | 0   |
| 4  | 1   | 0   | 0   | 1   |
| 5  | 1   | 0   | 1   | 0   |
| 6  | 1   | 1   | 0   | 0   |
| 7  | 1   | 1   | 1   | 0   |

## Составление СДНФ (или СКНФ) логической функции

## Правила образования СДНФ:

1. По каждому набору двоичной переменной, при котором функция принимает значение равное 1, составляется элементарная конъюнкция.
2. Логические переменные записываются инверсными, если они заданы нулем.

3. Элементарные конъюнкции объединяются дизъюнкцией.

Правила образования СКНФ:

1. По каждому набору двоичной переменной, при котором функция принимает значение равное 0, составляется элементарная дизъюнкция.

2. Логические переменные записываются инверсными, если они заданы единицей.

3. Элементарные дизъюнкции объединяются конъюнкцией.

В табл. 2 записаны СКНФ и СДНФ логической функции.

Таблица 2

Таблица истинности функции

| ДЭ | $x$ | $y$ | $z$ | $P$ | СДНФ                            | СКНФ                          |
|----|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|-------------------------------|
| 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | —                               | $x + y + z$                   |
| 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | $\bar{x} \cdot \bar{y} \cdot z$ | —                             |
| 2  | 0   | 1   | 0   | 1   | $\bar{x} \cdot y \cdot \bar{z}$ | —                             |
| 3  | 0   | 1   | 1   | 0   | $x \cdot \bar{y} \cdot \bar{z}$ | $x + \bar{y} + \bar{z}$       |
| 4  | 1   | 0   | 0   | 1   | —                               | —                             |
| 5  | 1   | 0   | 1   | 0   | —                               | $\bar{x} + y + \bar{z}$       |
| 6  | 1   | 1   | 0   | 0   | —                               | $\bar{x} + \bar{y} + z$       |
| 7  | 1   | 1   | 1   | 0   | —                               | $\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}$ |

В результате получены:

СДНФ:  $P = \bar{x} \cdot \bar{y} \cdot z + \bar{x} \cdot y \cdot \bar{z} + x \cdot \bar{y} \cdot \bar{z}.$

СКНФ:  $P = (x + y + z)(x + \bar{y} + \bar{z})(\bar{x} + y + \bar{z})(\bar{x} + \bar{y} + z)(\bar{x} + \bar{y} + \bar{z}).$

### Способы минимизации логических функций

Полученное логическое выражение в ряде случаев можно значительно упростить, или минимизировать. Для этого используется несколько методов.

**Метод непосредственных преобразований.** При этом методе используются законы алгебры логики.

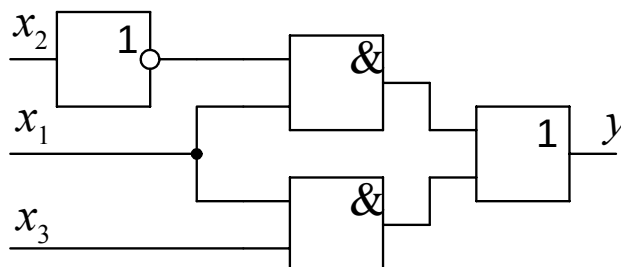
*Пример 1.* Пусть дана логическая функция трех переменных

$y = f(x_1, x_2, x_3)$ , записанная в виде выражения  $y = (x_1 + x_3)(x_1 + \bar{x}_3) \times (\bar{x}_2 + x_3)$ . Выполним преобразования функции с целью ее минимизации, используя законы алгебры логики:

$$\begin{aligned} y &= (x_1 + x_3)(x_1 + \bar{x}_3)(\bar{x}_2 + x_3) = (x_1 + x_3 \cdot \bar{x}_3)(\bar{x}_2 + x_3) = \\ &= (x_1 + 0)(\bar{x}_2 + x_3) = x_1 \cdot (\bar{x}_2 + x_3) = x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_3. \end{aligned}$$

Очевидно, что полученное выражение значительно проще исходного. Построим структурную схему на логических элементах, реализующую данную функцию.

Аргумент  $\bar{x}_2$  получается при использовании элемента логическое НЕ (инвертор). Операции конъюнкции  $x_1 \cdot \bar{x}_2$  и  $x_1 \cdot x_3$  выполняются с помощью элемента И. Наконец, операция дизъюнкции выполняется на элементе ИЛИ. Структурная схема имеет следующий вид:



### Пример 2

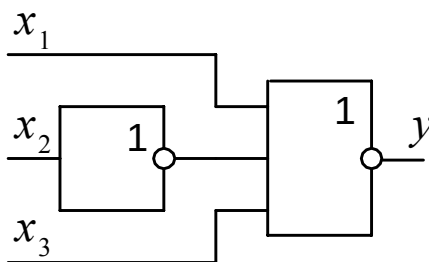
$$y = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3.$$

Выполним преобразования, используя законы алгебры логики:

$$\begin{aligned} y &= \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3 = \bar{x}_2(\bar{x}_1 + x_1) + x_2(x_1 + x_3) = \\ &= \bar{x}_2 + x_2(x_1 + x_3). \end{aligned}$$

Далее используем закон исключенного третьего  $x + \bar{x} \cdot y = x + y$ .

Обозначим  $x$  как  $\bar{x}_2$ , а  $y$  как  $x_1 + x_3$  и подставим эти значения в выражение. В соответствии с правой частью закона получилось итоговое выражение  $y = \bar{x}_2 + x_1 + x_3$  и структурная схема, реализующая эту функцию.

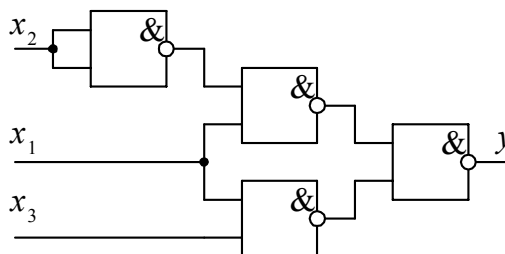


Часто необходимо формировать логическую схему на элементах только одного типа, например 2И–НЕ. Преобразуем выражение, рассмотренное в первом примере, используя формулы де Моргана, чтобы исключить:

а) Операцию логического ИЛИ и реализовать схему на элементах 2И–НЕ (цифра 2 обозначает, что элемент имеет два входа).

Преобразуем формулу де Моргана  $\bar{x} + \bar{y} = \overline{x \cdot y}$ , используя следующие обозначения:  $x$  обозначим как  $\bar{x}$ , а  $y$  как  $\bar{y}$ . Тогда формула де Моргана запишется в следующем виде:  $x + y = \overline{\bar{x} \cdot \bar{y}}$ . Используя полученное выражение, выполним преобразование логической функции путем подстановки:  $x = x_1 \cdot \bar{x}_2$ ,  $y = x_1 \cdot x_3$ . Тогда получим  $x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_3 = \overline{\overline{x_1 \cdot \bar{x}_2} \cdot \overline{x_1 \cdot x_3}}$ . Аргумент  $\bar{x}_2$  можно записать в виде  $\bar{x}_2 = \overline{x_2 \cdot x_2}$ . Конечное выражение записывается в виде  $\overline{\overline{x_1 \cdot (x_2 \cdot x_2)} \cdot \overline{x_1 \cdot x_3}}$ .

Получаем структурную схему, реализованную только на элементах И–НЕ, имеющих по два входа:

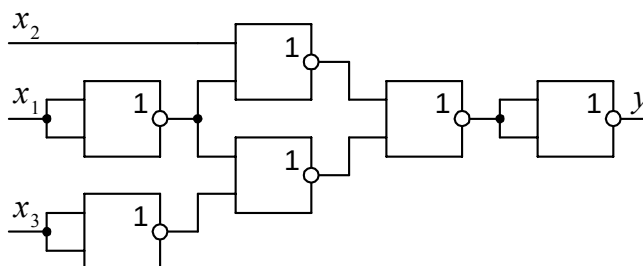


б) Операцию логического И (на элементах 2ИЛИ–НЕ).

Выполним аналогичные преобразования формулы де Моргана  $\bar{x} \cdot \bar{y} = \overline{x + y}$ . Обозначим  $x$  как  $\bar{x}$ , а  $y$  как  $\bar{y}$ . Формула де Моргана запишется в виде  $x \cdot y = \overline{\bar{x} + \bar{y}}$ . Выполнив соответствующие подстановки и преобразования, получим:

$$x_1 \cdot \bar{x}_2 + x_1 \cdot x_3 = \overline{\bar{x}_1 + x_2} + \overline{\bar{x}_1 + \bar{x}_3} = \overline{\overline{(x_1 + x_1)} + x_2} + \overline{\overline{(x_1 + x_1)} + (x_3 + x_3)}.$$

Получаем структурную схему, заменив  $\bar{x}_1 = \overline{x_1 + x_1}$  и  $\bar{x}_3 = \overline{x_3 + x_3}$  :



Метод непосредственных преобразований применяется в том случае, если логическая функция задана небольшим количеством аргументов, обычно 2 – 3 аргументами. Если число аргументов больше, то это становится трудоемким. Поэтому применяют такие методы минимизации, как метод Квайна, Квайна – Мак-Класки, Петрика, карт Вейча, карт Карно и другие.

**Метод с использованием карт Карно.** Сущность метода заключается в следующем.

1. По таблице истинности (см. табл. 2) составляется карта состояний логических переменных. Количество клеток в карте равно числу всех возможных наборов значений аргументов  $2^n$  ( $n$  – число аргументов функции). Аргументы функции делятся на две группы, комбинации значений одной группы приписываются столбцам карты, а другой группы – строкам. Строки и столбцы обозначаются комбинациями, соответствующими последовательностям чисел в коде Грея. То есть соседние строки и столбцы не должны отличаться более чем на одно значение. На рис. 3 приведены примеры карт для трех и четырех аргументов.

| $x_1, x_2$<br>$x_3$ | 0 0 | 0 1 | 1 1 | 1 0 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| 0                   |     |     |     |     |
| 1                   |     |     |     |     |

| $x_1, x_2$<br>$x_3, x_4$ | 0 0 | 0 1 | 1 1 | 1 0 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 0 0                      |     |     |     |     |
| 0 1                      |     |     |     |     |
| 1 1                      |     |     |     | 1   |
| 1 0                      |     |     |     |     |

2. Значение функции из таблицы истинности заносится в карту. Каждая клетка карты соответствует некоторому набору значений аргументов. Например, единица, стоящая в клетке, соответствует следующим значениям аргументов:  $x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 1, x_4 = 1$  (см. рис. 3).

3. Выделяются прямоугольные контуры по два, четыре, восемь и так далее единичных значений логической функции. Карту можно «сворачивать в трубочку».

4. Записывается конъюнкция для каждого контура. Если значение аргумента для всего контура равно нулю, то этот аргумент записывается с инверсией, а если единице, то без инверсии. Если аргумент принимает значение и нуля и единицы, то его нужно исключить из выражения конъюнкции.

5. Определяется минимальная функция дизъюнкцией конъюнкций.

*Пример.* Пусть задана логическая функция четырех переменных  $P = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ . Функция записывается в виде  $P = \{0, 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15\}$ .

Данная запись обозначает, что функция  $P$  равна единице при указанных значениях десятичных эквивалентов логических аргументов. В остальных случаях функция равна нулю. Приведем таблицу истинности данной функции (табл. 3).

После подстановки единичных значений функции в карту можно выделить четыре контура (рис. 4). Контуры I и II содержат по четыре единицы, а контуры III и IV – по две. Запишем конъюнкцию для первого контура  $k_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$ . Аргументы  $x_1$  и  $x_4$  в этом контуре принимают значения 0 и 1, поэтому их можно исключить из выражения.

Аргументы  $x_2$  и  $x_3$  принимают значение 1, и их записывают без инверсии. Если аргумент в контуре равен нулю, то его записывают с инвер-

|                                |    |    |    |    |
|--------------------------------|----|----|----|----|
| $x_1, x_2 \backslash x_3, x_4$ | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00                             | 1  | 1  |    | 1  |
| 01                             | 1  |    |    | 1  |
| 11                             |    | 1  | 1  |    |
| 10                             |    | 1  | 1  | 1  |

Рис 4. Карта Карно

сией. В итоге конъюнкция для первого контура запишется в виде  $k_I = x_2 \cdot x_3$ .

Таблица 3

Таблица истинности функции

| ДЭ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $P$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-----|
| 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 1   |
| 1  | 0     | 0     | 0     | 1     | 1   |
| 2  | 0     | 0     | 1     | 0     | 0   |
| 3  | 0     | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 4  | 0     | 1     | 0     | 0     | 1   |
| 5  | 0     | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 6  | 0     | 1     | 1     | 0     | 1   |
| 7  | 0     | 1     | 1     | 1     | 1   |
| 8  | 1     | 0     | 0     | 0     | 1   |
| 9  | 1     | 0     | 0     | 1     | 1   |
| 10 | 1     | 0     | 1     | 0     | 1   |
| 11 | 1     | 0     | 1     | 1     | 0   |
| 12 | 1     | 1     | 0     | 0     | 0   |
| 13 | 1     | 1     | 0     | 1     | 0   |
| 14 | 1     | 1     | 1     | 0     | 1   |
| 15 | 1     | 1     | 1     | 1     | 1   |

Аналогично записываем конъюнкции для остальных контуров:  
 $k_{II} = \overline{x_2} \cdot \overline{x_3}$ ;  $k_{III} = x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_4}$ ;  $k_{IV} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}$ .

Минимальную функцию получаем дизъюнкцией полученных значений конъюнкций для каждого контура:

$$P_{\min} = x_2 \cdot x_3 + \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4}.$$

Функциональная схема устройства, соответствующая минимальной функции, приведена на рис. 5.

Следующим этапом разрабатывается принципиальная схема с минимальным числом элементов или на указанной элементной базе, например



на элементах И-НЕ. При этом выполняются преобразования логического уравнения с использованием формул де Моргана.

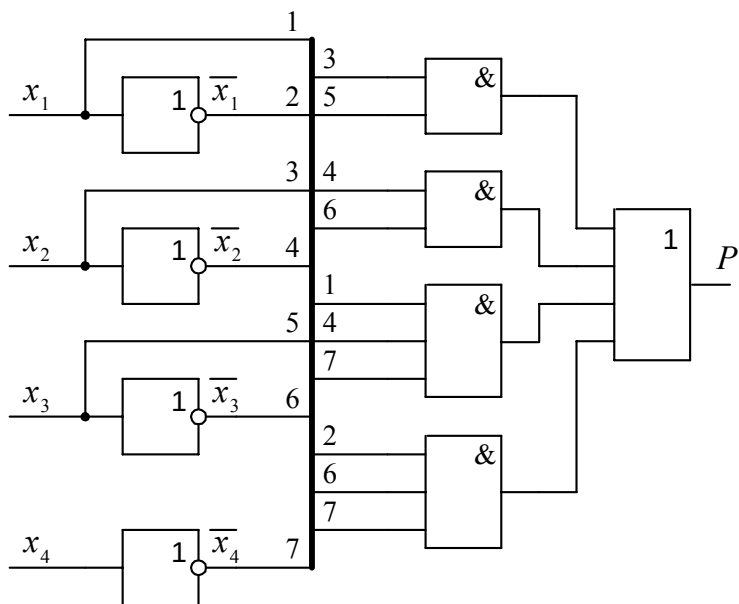


Рис. 5. Функциональная схема устройства

### Порядок выполнения работы

1. Синтезировать комбинационную схему по заданной функции с минимальным числом элементов (табл. 4).

Таблица 4

#### Варианты заданий

| Вариант | Функция                   | Вариант | Функция                 |
|---------|---------------------------|---------|-------------------------|
| 1       | 2, 4, 6, 7, 8             | 10      | 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 |
| 2       | 0, 1, 2, 3, 4, 6, 13      | 11      | 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8     |
| 3       | 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14  | 12      | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7     |
| 4       | 3, 4, 5, 6, 7, 8          | 13      | 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6     |
| 5       | 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15   | 14      | 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12   |
| 6       | 0, 4, 5, 6, 7, 8,         | 15      | 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14  |
| 7       | 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 | 16      | 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13   |
| 8       | 0, 4, 5, 6, 7, 8, 9,      | 17      | 3, 5, 7, 8, 11, 13, 15  |
| 9       | 8, 10, 11, 12, 13, 14     | 18      | 0, 1, 2, 3, 11, 12, 13  |

| Вариант | Функция                | Вариант | Функция                |
|---------|------------------------|---------|------------------------|
| 19      | 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6    | 25      | 0, 1, 2, 7, 13, 14, 15 |
| 20      | 0, 1, 2, 3, 7, 8, 9    | 26      | 1, 2, 5, 6, 7, 8, 15   |
| 21      | 0, 1, 2, 3, 8, 9, 10   | 27      | 1, 3, 4, 7, 8, 13      |
| 22      | 0, 1, 2, 3, 9, 10, 11  | 28      | 5, 9, 12, 13, 14, 15   |
| 23      | 0, 1, 2, 4, 10, 11, 13 | 29      | 3, 5, 7, 8, 9, 12, 14  |
| 24      | 0, 1, 2, 5, 12, 13, 15 | 30      | 0, 2, 7, 9, 11, 12, 13 |

2. Разработать и исследовать правильность работы схем, реализующих заданную функцию на элементах: а) И-НЕ; б) ИЛИ-НЕ.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные операции булевой алгебры. Как они описываются с помощью таблиц истинности; с помощью аналитических выражений?
2. Приведите пример описания функций алгебры логики в словесной форме в виде таблицы истинности; в виде аналитического выражения; в дизъюнктивной и конъюнктивной нормальной форме.
3. Как строится структурная схема логического устройства по заданному логическому выражению?
4. В чем заключается цель и принцип минимизации логической функции?
5. Представьте карты Карно для функции четырех, пяти и шести переменных.
6. Минимизировать методом непосредственных преобразований функцию  $y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_3$ .
7. Минимизировать методом карт Карно функцию пяти переменных  $P = \{0,1,2,3,7,8,15,16,17,18,19,28,29\}$ .

## Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ

**Цель работы:** изучение принципов работы триггеров, выполненных на логических элементах и в виде отдельных микросхем.

### Общие сведения

Триггеры являются последовательностными логическими элементами. Состояние триггера определяется характеристическим уравнением вида

$$Q^{t+1} = Q(X_1^t, \dots, X_N^t, Q^t),$$

где  $Q^{t+1}$  – значение выходной переменной на  $t+1$  такте работы;  $X_1^t, \dots, X_N^t$  и  $Q^t$  – значения входных и выходной переменных на предшествующем  $t$ -м такте.

Триггеры выполняют функцию хранения информации и являются ячейками памяти.

По принципу работы триггеры делятся на асинхронные и синхронные (тактируемые). В асинхронных триггерах изменение состояния происходит непосредственно при изменении сигналов на информационных входах. Синхронные триггеры, которые кроме информационных имеют еще и тактовый вход, изменяют свое состояние только при подаче тактирующих сигналов в соответствии со значениями сигналов на информационных входах.

Среди тактируемых триггеров различают триггеры, тактируемые уровнем (статическое управление), и триггеры, тактируемые перепадом сигнала (динамическое управление), причем первые срабатывают по уровню тактирующего сигнала, а вторые – по его перепаду из 0 в 1, или из 1 в 0.

Рассмотрим основные типы триггеров.

### **Асинхронный RS-триггер**

Триггер имеет два входа:  $S$  – установка (*Set*) и  $R$  – сброс (*Reset*), а также два выхода:  $Q$  – прямой и  $\bar{Q}$  – инверсный (*Quit* – выход), состояния которых всегда противоположны. Состояние триггера определяется по прямому выходу. Сигнал установки  $S$  записывает в триггер единицу, а сигнал сброса  $R$  – нуль.

$RS$ -триггер может быть реализован на элементах И-НЕ или ИЛИ-НЕ в соответствии с характеристическим уравнением

$$Q = \overline{\overline{S} \cdot \overline{Q} \cdot \overline{R}} = \overline{R + \overline{Q} + S}.$$

На рис. 6 приведены схемы, условные графические обозначения и диаграммы работы триггеров.

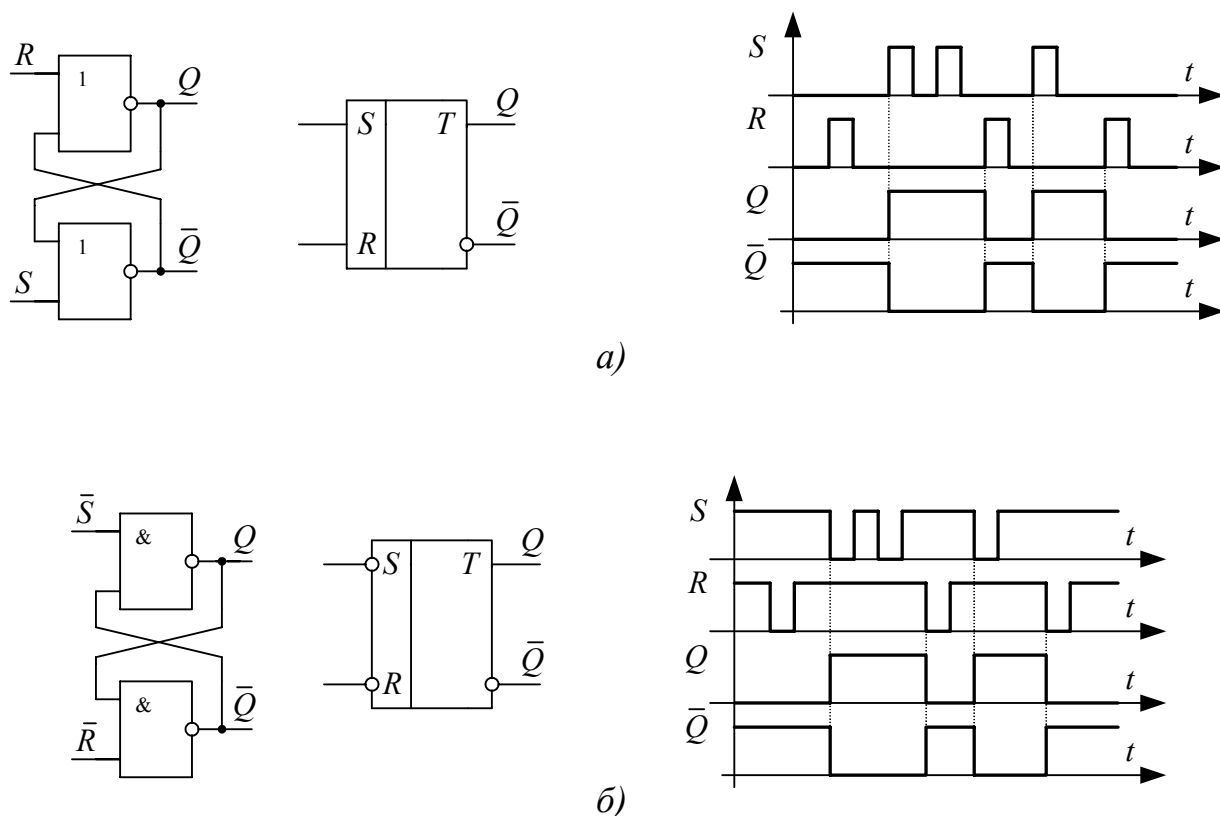


Рис. 6.  $RS$ -триггер на элементах ИЛИ-НЕ (а) и на элементах И-НЕ (б)

Из диаграмм и табл. 5 следует, что  $RS$ -триггер, выполненный на элементах ИЛИ-НЕ, управляется прямыми (единичными) сигналами, а триггер на элементах И-НЕ – инверсными (нулевыми) сигналами.

Если на оба входа  $R$  и  $S$  поданы нули (ИЛИ-НЕ) или единицы (И-НЕ), триггер переходит в режим хранения информации, сохраняя состояние, в которое он был приведен в предыдущем такте.

При подаче на оба входа  $R$  и  $S$  единиц (ИЛИ-НЕ) или нулей (И-НЕ), на выходах  $Q$  и  $\overline{Q}$  будут либо нули (ИЛИ-НЕ), либо единицы (И-НЕ) со-

ответственно. В этом режиме происходит разрыв триггерных связей и триггер представляет собой два инвертора

Таблица 5

Состояния асинхронного RS-триггера

| $R^t$ | $S^t$ | $Q^{t+1}$ | $\bar{Q}^{t+1}$ | Режим                    |
|-------|-------|-----------|-----------------|--------------------------|
| 0     | 1     | 1         | 0               | Запись 1                 |
| 1     | 0     | 0         | 1               | Запись 0                 |
| 0     | 0     | $Q^t$     | $Q^t$           | Хранение                 |
| 1     | 1     | 1         | 1               | Разрыв триггерных связей |

Если затем состояния входов изменить на противоположные (режим хранения), то состояние выходов будет неопределенным (либо 0 и 1, либо 1 и 0). Допустимость такой ситуации определяется в каждом конкретном случае.

### Синхронные RS-триггеры

Синхронный RS-триггер отличается от асинхронного тем, что изменение его состояния может происходить только при поступлении тактового импульса на синхронизирующий вход  $C$  (*Clock* – синхронизировать).

Характеристическое уравнение триггера имеет вид  $Q = \overline{\overline{S \cdot C} \cdot \overline{Q} \cdot \overline{R \cdot C}}$ .

Синтезированная по данному уравнению схема триггера (рис. 7) включает в себя асинхронный RS-триггер и элементы управления им. Схема на рис. 7 имеет также дополнительные входы начальной установки  $\bar{S}$  и  $\bar{R}$ .

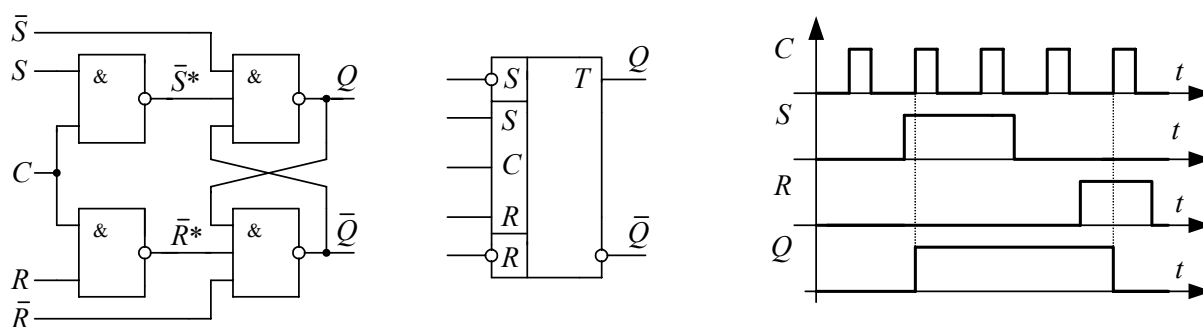


Рис. 7. Синхронный RS-триггер

Состояния синхронного  $RS$ -триггера даны в табл. 6 (символ  $\times$  обозначает произвольный сигнал).

Таблица 6

Состояния синхронного  $RS$ -триггера

| $C$ | $R^t$    | $S^t$    | $Q^{t+1}$ | Режим                    |
|-----|----------|----------|-----------|--------------------------|
| 0   | $\times$ | $\times$ | $Q^t$     | Хранение                 |
| 1   | 0        | 0        | $Q^t$     | Хранение                 |
| 1   | 1        | 0        | 0         | Запись 0                 |
| 1   | 0        | 1        | 1         | Запись 1                 |
| 1   | 1        | 1        | 1         | Разрыв триггерных связей |

Каждый из информационных входов связан с тактовой операцией И, поэтому информация в асинхронный триггер может быть передана только при  $C = 1$ . При  $C = 0$  промежуточные сигналы  $\bar{S}^* = \bar{R}^* = 1$ , триггер находится в режиме хранения информации, а состояние входов  $S$  и  $R$  безразлично. С приходом тактового импульса ( $C = 1$ ) единичный сигнал на входе  $S$  или  $R$  формирует нулевой промежуточный сигнал  $\bar{S}^*$  или  $\bar{R}^*$  соответственно и триггер переключается в надлежащее состояние. В результате информация с входов  $S$  и  $R$  переписывается на выходы  $Q$  и  $\bar{Q}$ , соответственно. По окончании тактового импульса ( $C = 0$ ) триггер переходит в режим хранения информации.

Комбинация входных сигналов  $S = R = 1$  при  $C = 1$  недопустима, так как промежуточные сигналы  $\bar{S}^* = \bar{R}^* = 0$  и происходит разрыв триггерных связей. В этом случае по окончании тактового импульса ( $C = 0$ ) состояние триггера будет неопределенным.

Данный  $RS$ -триггер является триггером со *статическим управлением*, в котором смена сигналов на информационных входах должна происходить только в паузах между тактовыми импульсами.

Дальнейшее развитие  $RS$ -триггеры получили в виде  $RS$ -триггеров с *динамическим управлением*, эквивалентная схема которых и условное графическое обозначение приведены на рис. 8. Они относятся к типу синхронных двухступенчатых  $MS$ -триггеров (*Master* – ведущий, *Slave* – ведомый).

мый). Эквивалентная схема (см. рис. 8) содержит ведущий  $M$  (с выходами  $Q^*$  и  $\bar{Q}^*$ ) и ведомый  $S$  (с выходами  $Q$  и  $\bar{Q}$ ) синхронные триггеры.

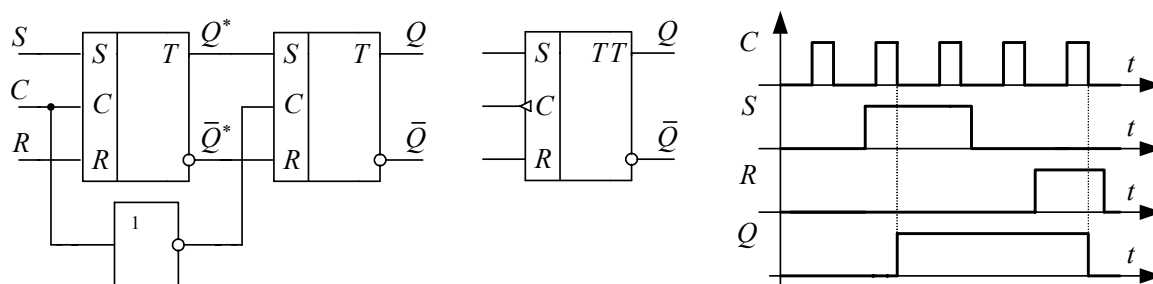


Рис. 8. Синхронный RS-триггер с динамическим управлением

Во время действия тактового импульса ( $C = 1$ ) входная информация записывается на выходы  $Q^*$  и  $\bar{Q}^*$  ведущего триггера, при этом ведомый триггер находится в режиме хранения информации предыдущего такта. По окончании тактового импульса ( $C = 0$ ) ведущий триггер переходит в режим хранения, а ведомый – в режим записи и информация с выходов  $Q^*$  и  $\bar{Q}^*$  записывается на выходы  $Q$  и  $\bar{Q}$ . Таким образом, изменение состояния выходов  $Q$  и  $\bar{Q}$  происходит по отрицательному перепаду тактового сигнала, то есть по переходу его из 1 в 0.

Поэтому в триггере с динамическим управлением смена информации на его входах может происходить как в паузах, так и во время действия тактовых сигналов.

### **D-триггеры**

D-триггер имеет два входа: информационный вход  $D$  (*Delay* – задержка) и синхронизирующий вход  $C$ . Особенность этого типа триггеров в том, что сигнал на выходе  $Q$  в  $t + 1$  такте повторяет входной сигнал  $D^t$  предыдущего  $t-го$  такта, то есть D-триггер задерживает на один такт информацию, существовавшую на входе  $D$ .

Эквивалентные схемы D-триггеров со *статическим* и *динамическим* управлениями, условные графические обозначения и диаграммы даны на рис. 9, а их состояния – в табл. 7 и 8.

Как следует из приведенных схем,  $D$ -триггеры могут быть реализованы на  $RS$ -триггерах путем подачи на входы  $R$  сигналов, инверсных сигналам на входах  $S$ . Кроме входов  $D$  и  $C$   $D$ -триггеры имеют, как правило, входы начальной установки  $\bar{S}$  и  $\bar{R}$  (рис. 9, б).

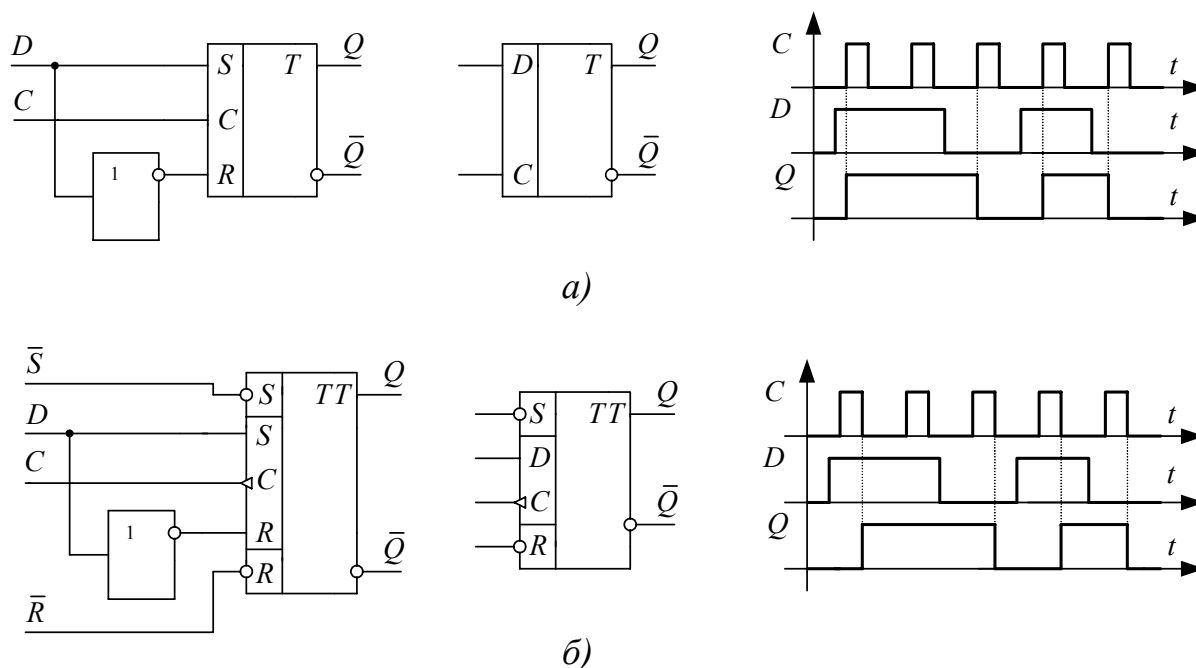


Рис. 9.  $D$ -триггер со статическим управлением (а) и динамическим управлением (б)

Таблица 7

Состояния  $D$ -триггера со статическим управлением

| $C$ | $D^t$    | $Q^{t+1}$ | Режим    |
|-----|----------|-----------|----------|
| 0   | $\times$ | $Q^t$     | Хранение |
| 1   | 0        | 0         | Запись 0 |
| 1   | 1        | 1         | Запись 1 |

При  $C = 0$  триггер находится в режиме хранения информации. С приходом тактового импульса (при статическом управлении) или при его перепаде (при динамическом управлении) сигнал с информационного входа  $D$  записывается на выход  $Q$  и хранится до следующего тактового импульса.



Таблица 8

Состояния  $D$ -триггера с динамическим управлением

| $\bar{S}$ | $\bar{R}$ | $C$          | $D^t$ | $Q^{t+1}$ | Режим                    |
|-----------|-----------|--------------|-------|-----------|--------------------------|
| 0         | 1         | ×            | ×     | 1         | Асинхронная запись 1     |
| 1         | 0         | ×            | ×     | 0         | Асинхронная запись 0     |
| 0         | 0         | ×            | ×     | 1         | Разрыв триггерных связей |
| 1         | 1         | $\downarrow$ | 1     | 1         | Запись 1                 |
| 1         | 1         | $\uparrow$   | 0     | 0         | Запись 0                 |

**JK-триггеры**

JK-триггеры относятся к синхронным двухступенчатым MS-триггерам. Эквивалентная схема, условное графическое обозначение и диаграммы работы триггера даны на рис. 10. В табл. 9 приведены его состояния при различных комбинациях входных сигналов.

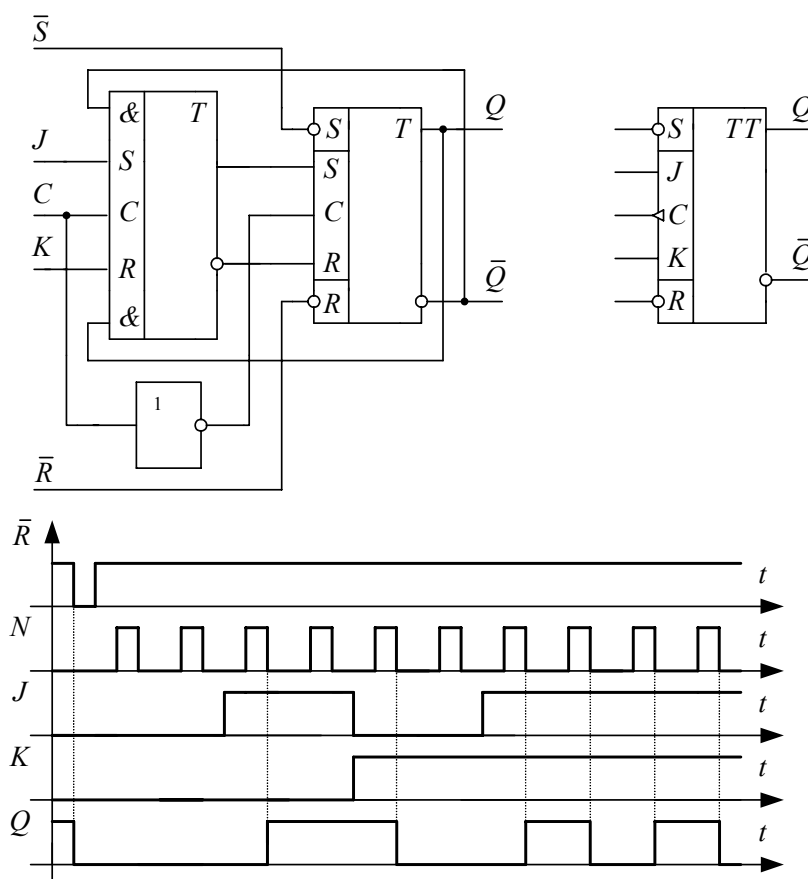


Рис. 10. JK-триггер

Как следует из рис. 10,  $JK$ -триггер может быть получен из  $RS$ -триггера  $MS$ -типа введением обратных связей, дополнительных входов  $J$  (*Jump* – прыгать) и  $K$  (*Keep* – держать), а также входов начальной установки  $\bar{R}$  и  $\bar{S}$ .

Состояния триггера определяются комбинацией сигналов на информационных входах (см. табл. 9). Асинхронный режим работы задается сигналами  $\bar{S}$  и  $\bar{R}$ . Состояние остальных входов при этом произвольное.

В синхронном режиме  $\bar{S} = \bar{R} = 1$  и состояние триггера зависит от сигналов  $J$  и  $K$ . Если  $J = K = 1$ , то с приходом каждого синхроимпульса триггер изменяет свое состояние на противоположное.

Таблица 9

Состояния  $JK$ -триггера

| $\bar{S}$ | $\bar{R}$ | $C$ | $J$ | $K$ | $Q^{t+1}$   | Режим                    |
|-----------|-----------|-----|-----|-----|-------------|--------------------------|
| 0         | 1         | ×   | ×   | ×   | 1           | Асинхронная запись 1     |
| 1         | 0         | ×   | ×   | ×   | 0           | Асинхронная запись 0     |
| 0         | 0         | ×   | ×   | ×   | 1           | Разрыв триггерных связей |
| 1         | 1         |     | 1   | 0   | 1           | Запись 1                 |
| 1         | 1         |     | 0   | 1   | 0           | Запись 0                 |
| 1         | 1         |     | 0   | 0   | $Q^t$       | Хранение                 |
| 1         | 1         |     | 1   | 1   | $\bar{Q}^t$ | Переключение             |

$JK$ -триггеры универсальны, так как, во-первых, они легко преобразуются в триггеры других типов путем соответствующей коммутации входов (рис. 11) и, во-вторых, служат основой для построения различных схем: счетчиков, регистров, делителей частоты и т.п.

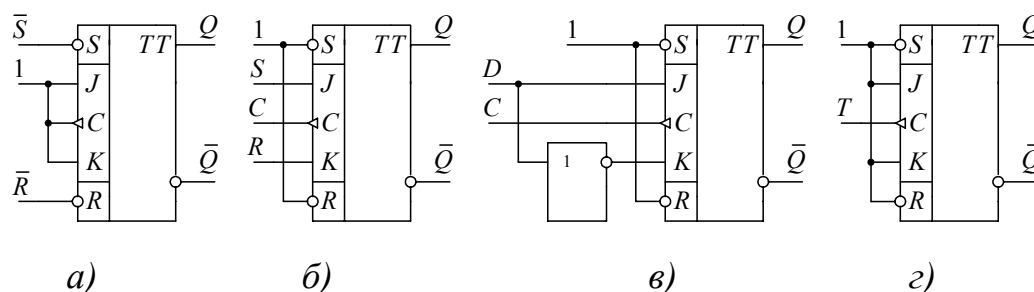


Рис. 11. Варианты применения  $JK$ -триггеров:

а – асинхронный  $RS$ -триггер; б – синхронный  $RS$ -триггер; в –  $D$ -триггер; г –  $T$ -триггер

## ***T*-триггеры**

*T*-триггеры (или счетные триггеры) имеют один логический вход *T* (*Toggle* – кривошип) и могут быть выполнены в синхронном и асинхронном вариантах.

*Синхронный T*-триггер может быть построен на *JK*-триггере путем объединения входов *J* и *K*, выполняющих роль логического входа *T*, и подачи на вход синхронизации *C* счетных импульсов.

*Асинхронный T*-триггер также может быть построен на *JK*-триггере при  $J=K=1$  и использовании входа синхронизации *C* в качестве логического входа *T* (рис. 12).

Асинхронный *T*-триггер, кроме того, может быть получен из *D*-триггера соединением входа *D* с инверсным выходом  $\overline{Q}$  и подачей счетных импульсов на вход синхронизации *C* (см. рис. 12).

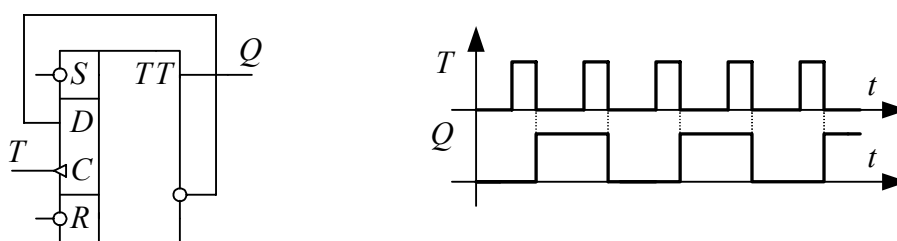


Рис. 12. Асинхронный *T*-триггер

## **Порядок выполнения работы**

1. Собрать на логических элементах 2И-НЕ схемы асинхронного и синхронного *RS*-триггеров. Снять осциллограммы входных и выходных сигналов.

При изучении работы *RS*-триггера в асинхронном режиме на его входы подают сигналы с выхода  $\mathcal{U}$  генератора СИ1 и с выхода  $\mathcal{U}$  генератора СИ2.

Исследования синхронного *RS*-триггера выполняют при подаче на его входы выходных сигналов *JK*-триггера, тактовый вход которого присоединяют к выходу  $\mathcal{L}$  генератора СИ1. В качестве тактирующих импульсов синхронного *RS*-триггера используют выходной сигнал элемента за-

держки, вход которого подключают к тому же выходу генератора СИ1. Время задержки устанавливают в пределах  $0,8 \dots 1,0$  мкс.

2. Изучить работу *D*-триггера в *D* и *T* режимах. Снять осциллограммы входных и выходных сигналов.

При изучении работы *D*-триггера в *D*-режиме на его вход *C* подают сигнал с выхода Л генератора СИ1, а на вход *D* – с выхода *JK*-триггера, тактовый вход которого через элемент задержки подключают к тому же выходу генератора СИ1. Время задержки устанавливают в пределах  $0,4 \dots 0,7$  мкс.

В режиме *T*-триггера на вход синхронизации сигнал может быть подан с любого выхода генератора СИ1.

3. Изучить работу *JK*-триггера в режимах асинхронного и синхронного *RS*-, *D*- и *T*-триггеров. Снять осциллограммы в указанных режимах.

Изучение *JK*-триггера в *R*-, *S*-, *D*- и *T*-режимах выполняется аналогично пп. 1 и 2.

4. Исследовать работу триггеров в динамическом режиме.

### **Контрольные вопросы**

1. *RS*-триггеры: работа, временные диаграммы, таблица истинности.
2. *D*-триггеры: работа, временные диаграммы, таблица истинности.
3. *JK*-триггеры: работа, временные диаграммы, таблица истинности.
4. Чем различаются триггеры на элементах И-НЕ и ИЛИ-НЕ?
5. Чем различаются асинхронные и синхронные триггеры?
6. Почему *JK*-триггер называется универсальным?

## **Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИСТРОВ**

**Цель работы:** изучение принципов работы, методов проектирования и схем регистров, выполненных на отдельных триггерах, исследование этих схем в статическом и динамическом режимах.

### **Общие сведения**

Цифровые узлы являются комплексными логическими элементами среднего уровня интеграции. К этому типу устройств относятся регистры и счетчики.

### Кольцевой регистр сдвига

Регистры выполняют функции промежуточного хранения, преобразования и выдачи информации. Одна из разновидностей этих устройств – *кольцевые регистры сдвига*. Они находят применение в системах управления автономными инверторами и преобразователями частоты в качестве многоканальных распределителей импульсов.

Схема и диаграммы работы 3-канального распределителя приведены на рис.13.

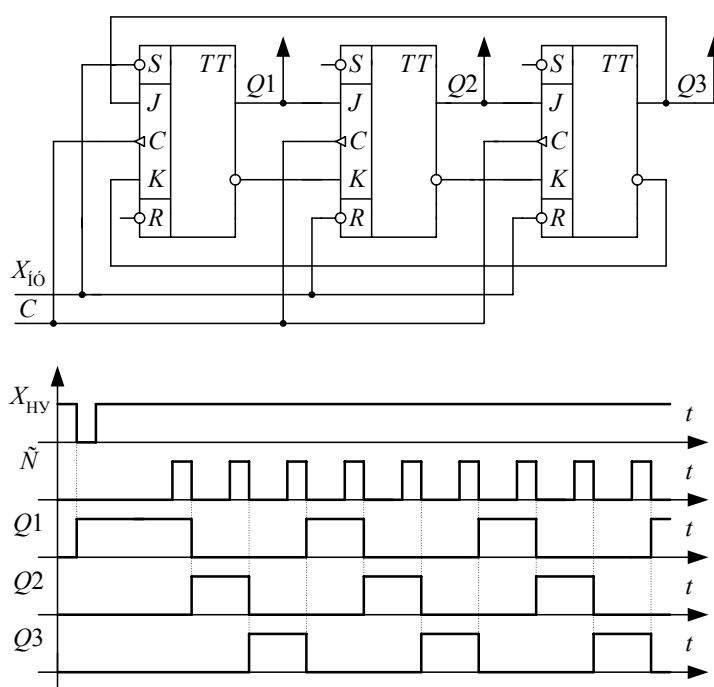


Рис. 13. Кольцевой регистр сдвига

Распределитель содержит три последовательно соединенных в кольцо  $JK$ -триггера. При этом установочные входы  $R$  двух триггеров подключены к установочному входу  $S$  третьего. В исходном состоянии по окончании импульса начальной установки  $X_{\text{ну}}$  выходные сигналы триггеров имеют значения:  $Q_1 = 1, Q_2 = Q_3 = 0$ . По положительному перепаду первого тактирующего импульса  $C$  информация с входов  $JK$ -триггеров записывается на выходы их первых ступеней, а затем по отрицательному перепаду тактирующего импульса она передается на выходы  $Q_1, Q_2, Q_3$ .

В результате по окончании первого тактового импульса выходные сигналы триггеров принимают значения:  $Q_1 = 0, Q_2 = 1, Q_3 = 0$ . То есть,

информация, записанная в регистре, сдвинулась на одну позицию вправо. После второго тактирующего импульса  $Q1 = 0$ ,  $Q2 = 0$ ,  $Q3 = 1$ ; сдвиг увеличивается еще на одну позицию вправо и т.д. Таким образом происходит циркуляция информации в регистре и распределение единичного сигнала по его выходам (каналам).

Частота циркуляции  $f$  определяется из выражения  $f = \frac{f_T}{n}$ , где:  $f_T$  – частота следования тактовых импульсов;  $n$  – число триггеров регистра.

### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему  $n$ -разрядного кольцевого регистра сдвига (число разрядов задается преподавателем). Снять осциллограммы работы устройства. Кольцевой регистр сдвига и двоичный счетчик изучают, подавая на вход сигналы с выходов  $\text{Л СИ1}$  или  $\text{Л СИ2}$ .

2. Сравнить результаты теории и эксперимента. Дать объяснение полученным результатам.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить основные операции, выполняемые регистром.
2. Чем отличаются регистры на асинхронных и синхронных триггерах?
3. Что такое длина регистра?

## **Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОИЧНЫХ СЧЕТЧИКОВ**

**Цель работы:** изучение принципов работы, типов, методов проектирования, наладки, экспериментального исследования и особенностей применения счетчиков импульсов, выполненных на отдельных триггерах.

### **Общие сведения**

Счетчики выполняют функции счета импульсов, поступающих на их вход, и представления результата счета в двоичном коде на выходах.

Одним из наиболее простых является асинхронный двоичный счетчик прямого счета с последовательным переносом. Такой счетчик содержит ряд последовательно соединенных  $JK$ -триггеров (рис.14).

По окончании импульса начальной установки  $X_{\text{ну}}$  выходные сигналы триггеров  $Q1 \dots Q4$  имеют нулевые значения. Затем при подаче счетных импульсов на вход первого триггера каждый из последующих триггеров переключается отрицательным перепадом сигнала, который поступает на его счетный вход с прямого выхода предыдущего триггера. Совокупность выходных сигналов  $Q1 \dots Q4$  в некоторый момент времени соответствует числу импульсов, поступивших на вход счетчика к данному моменту времени. Число триггеров  $n$  счетчика определяет его разрядность и числовую емкость  $N$ :  $N = 2^n - 1$ .

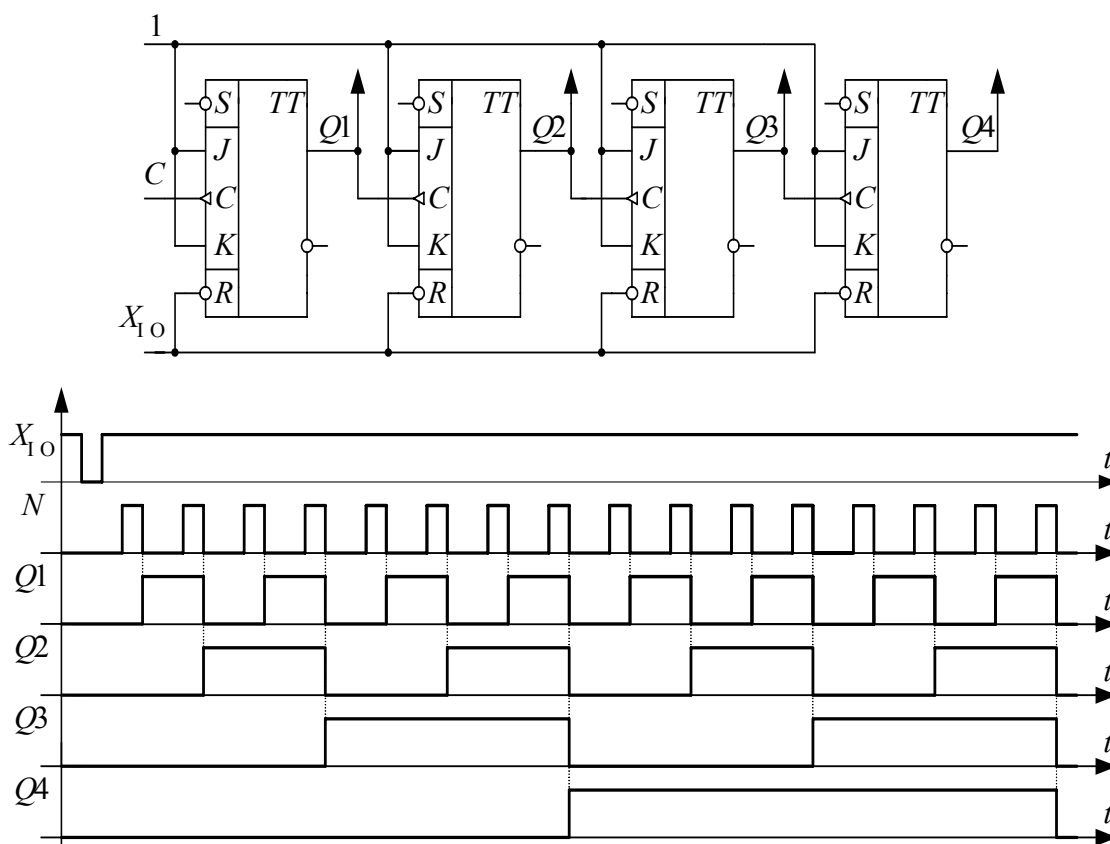


Рис. 14. Четырехразрядный двоичный счетчик

Если в качестве входных использовать сигналы инверсных выходов триггеров, то получится счетчик обратного счета. В исходном состоянии в нем будет записано наибольшее число ( $N$ ), которое будет уменьшаться на 1 при поступлении очередного импульса.

Из диаграмм работы триггера следует, что при каждом переходе от младшего разряда к старшему частота выходного сигнала триггеров снижается вдвое. Таким образом, данный счетчик может выполнять функцию делителя частоты, в котором частота выходного сигнала старшего разряда определяется соотношением

$$f_{\text{ВЫХ}} = \frac{f_{\text{ВХ}}}{2^n},$$

где  $f_{\text{ВХ}}$  – частота входных импульсов.

### **Порядок выполнения работы**

1. Собрать схему  $n$ -разрядного двоичного счетчика (число разрядов задается преподавателем). Снять осциллограммы входного и выходных сигналов.
2. Сравнить результаты теории и эксперимента. Дать объяснение полученным результатам.

### **Контрольные вопросы**

1. Классификация счетчиков.
2. Как можно установить в счетчике исходное состояние?
3. Чем отличается вычитающий счетчик от суммирующего?
4. Чем отличается работа счетчика при подсчете числа импульсов и при делении их частоты?
5. Чем отличаются двоичные и двоично-десятичные счетчики?
6. Методы построения счетчиков с числом состояний не кратным 2.



## **Часть 2. УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

### **Лабораторная работа № 6**

#### **ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – УСТРОЙСТВО ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**Цель работы:** изучение и исследование устройств импульсного управления двигателями постоянного тока (ПТ) на примере широтно-импульсного преобразователя и импульсного усилителя мощности на транзисторах.

#### **Общие сведения**

##### **Импульсный способ управления двигателями ПТ**

Этот способ управления основан на изменении интервала времени питания двигателя от источника постоянного напряжения в зависимости от требуемой скорости. Наибольшее распространение на практике получил широтно-импульсный способ управления, предусматривающий изменение длительности импульсов напряжения на якоре  $U_{\text{я}}$  при постоянной частоте их следования. Если период  $T$  следования импульсов мал по сравнению с электромеханической постоянной времени  $\tau_{\text{эм}}$  двигателя, то, несмотря на участки разгона  $t_1$  и участки торможения  $t_2 = T - t_1$ , частота вращения  $\omega$  двигателя не успевает существенно измениться за время  $T$ . Она колеблется около своего среднего значения  $\omega_{\text{ср}}$ , зависящего при постоянном моменте нагрузки от скважности импульсов  $q = T/t_1$  или от коэффициента заполнения  $\gamma = 1/q = t_1/T$  (рис. 1).

Изменение последнего в пределах  $0 \leq \gamma \leq 1$  в зависимости от величины управляющего сигнала позволяет получить соответствующие изменения скорости двигателя от нуля до максимального значения.

В зависимости от частоты следования импульсов ток якоря двигателя может иметь как прерывистый, так и непрерывный характер. Момент двигателя пропорционален среднему току якоря, следовательно, механические характеристики двигателя при импульсном управлении

но зависят от характера изменения тока якоря. Для установления этой зависимости рассмотрим случай, когда якорь двигателя подключается с постоянной частотой коммутации к источнику питания через идеальный ключ.

$$i_{\text{я}} R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + i_{\text{я}} = \begin{cases} E_{\text{к}} & \text{при } 0 \leq t \leq t_1, \\ 0 & \text{при } t_1 \leq t \leq T, \end{cases} \quad (1)$$

где  $i_{\text{я}}$  – ток якоря;  $R_{\text{я}}$  – активное сопротивление якоря;  $L_{\text{я}}$  – индуктивность обмотки якоря;  $l_{\text{я}}$  – противоЭДС, пропорциональная скорости вращения двигателя;  $E_{\text{к}}$  – напряжение источника питания.

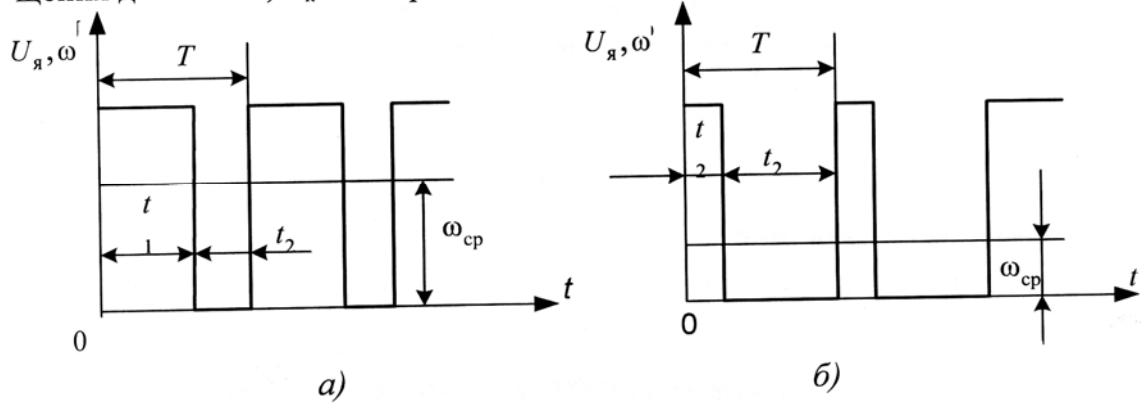


Рис. 1. Импульсный способ управления  
а –  $\gamma > 0,5$ ; б –  $\gamma < 0,5$

Уравнения (1) и (2) в общем случае имеют решения (рис. 2):

$$i_{\text{я}1}(t)_{0 \leq t \leq t_1} = \frac{E_{\text{к}} - l_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{я}}} \right) + i_{10} \cdot e^{-t/T_{\text{я}}}, \quad (3)$$

$$i_{\text{я}2}(t)_{0 \leq t \leq t_2} = \frac{-l_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{я}}} \right) + i_{20} \cdot e^{-t/T_{\text{я}}}, \quad (4)$$

где  $i_{10}$  и  $i_{20}$  – начальные значения токов.

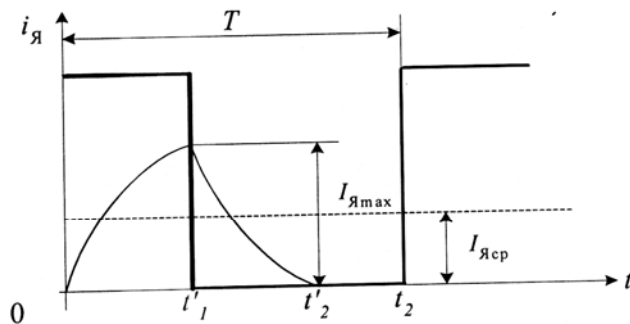


Рис. 2. Решение уравнений (1), (2)

Для случая прерывистых токов якоря  $i_{10} = 0$ ,  $i_{20} = I_{\text{Яmax}}$ , где  $I_{\text{Яmax}}$  – значение тока якоря, достигаемое к концу первого интервала работы схемы в момент времени  $t'_1$ , т.е.

$$I_{\text{Яmax}} = i_{\text{Я1}}(t_1) = \frac{E_{\text{к}} - l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} (1 - e^{-t_1/T_{\text{Я}}}).$$

Во втором интервале коммутации ток якоря прерывается в момент времени  $t'_2$  (ключ разомкнут), поэтому, полагая  $i_{\text{Я2}}(t'_2) = 0$ , имеем

$$\frac{E_{\text{к}} - l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} (1 - e^{-t_1/T_{\text{Я}}}) e^{-t_1/T_{\text{Я}}} - \frac{l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} (1 - e^{-t_1/T_{\text{Я}}}) = 0$$

или

$$t'_2 = T_{\text{Я}} \ln \left[ 1 + \frac{E_{\text{к}} - l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} (1 - e^{-t_1/T_{\text{Я}}}) \right].$$

Среднее за период значение тока якоря определяется выражением

$$I_{\text{Яср}} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} i_{\text{Я1}}(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^{t'_2} i_{\text{Я2}}(t) dt,$$

из которого после преобразования и подстановок получим:

$$I_{\text{Яср}} = \frac{E_{\text{к}} - l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} \frac{t_1}{T} - \frac{l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} \frac{t'_2}{T} - \frac{E_{\text{к}} - l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} \gamma - \frac{l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} \frac{t'_2}{T}.$$

Положив  $t'_2 \ll T$ ,  $I_{\text{Яср}} = \frac{E_{\text{к}} - l_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}}} \gamma.$

Введя обозначения  $M = K_{\text{м}} I_{\text{Яср}}$ ,  $l_{\text{Я}} = K_{\omega} \cdot \omega$ , где  $K_{\omega}$  – коэффициент противоЭДС,  $K_{\text{м}}$  – коэффициент момента, окончательно получим:

$$\omega = \frac{E_{\text{к}}}{K_{\omega}} - \frac{MR_{\text{Я}}}{K_{\text{м}} K_{\omega} \gamma}.$$

Механические характеристики, описываемые полученным выражением, аналогичны характеристикам для случая регулирования скорости двигателя добавлением сопротивления  $R$  в цепь якоря двигателя.

Жесткость характеристики  $\frac{\Delta M}{\Delta \omega} = - \frac{K_{\text{м}} K_{\omega} \gamma}{R_{\text{Я}}}$  уменьшается по мере

уменьшения  $\gamma$ , делает режим прерывистых токов непригодным для использования в автоматических системах.

В режиме непрерывных токов во втором интервале коммутации ток якоря не уменьшается до нуля, а достигает значения  $I_{Яmin}$ . Поэтому, решая уравнения (3), (4) (рис. 3) и учитывая, что  $i_{Я1}(t_1) = i_{20} = I_{Яmax}$  и  $i_{Я2}(t_2) = i_{10} = I_{Яmin}$ , после несложных преобразований получим:

$$I_{Яср} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} i_{Я1}(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^{t_2} i_{Я2}(t) dt = \frac{E_K}{R_{Я}} \gamma - \frac{l_{Я}}{R_{Я}}. \quad (5)$$

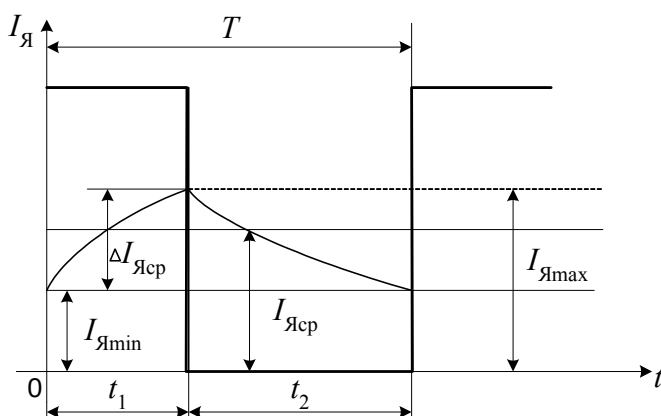


Рис. 3. Решение уравнений (3), (4)

Семейство механических характеристик двигателя описывается уравнением  $\omega = \frac{E_K}{K_\omega} \gamma - \frac{MR_{Я}}{K_M K_\omega}$  (рис. 4), которое аналогично случаю регулирования скорости двигателя при изменении напряжения генератора.

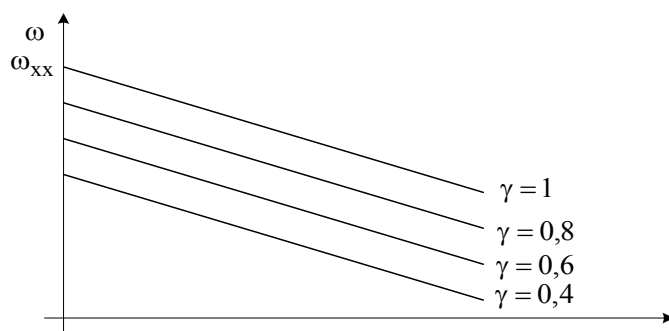


Рис. 4. Семейство механических характеристик

В режиме непрерывных токов жесткость механических характеристик равна жесткости естественной характеристики двигателя. Поэтому

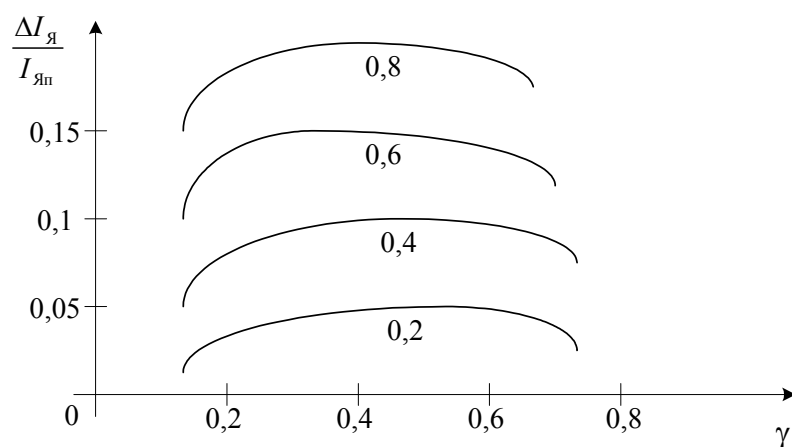
непрерывность тока якоря является важнейшей качественной характеристикой импульсного регулирования.

От выбора частоты коммутации зависят энергетические показатели импульсного регулирования. При непрерывном токе якоря  $T_{\text{я}} = L_{\text{я}}/R_{\text{я}}$ , как следует из уравнения (5),  $t_1$  и  $t_2$  не влияют на величину среднего тока якоря. Однако от их соотношения зависят величина пульсации тока, а следовательно, дополнительные потери мощности по сравнению со случаем питания от генератора. Действительно,

$$\Delta i_{\text{я}} \cong \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{я}}} \frac{t_1}{T_{\text{я}}} \frac{t_2}{T_{\text{я}}} \frac{T_{\text{я}}}{T} = I_{\text{яп}} \gamma (1 - \gamma) \frac{T_{\text{я}}}{T} \quad (\text{рис. 5}),$$

где  $I_{\text{яп}} = \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{я}}}$  – пусковой ток якоря.

Максимальная амплитуда пульсаций тока якоря отвечает при неизменной частоте коммутации значению  $\gamma = 0,5$ . На практике амплитуду пульсаций стремятся уменьшить, выбирая частоту коммутации из условия  $0,2 \leq \frac{T}{T_{\text{я}}} \leq 1$ .



Рис

. 5. Зависимость величины пульсаций тока от коэффициента заполнения

Это позволит использовать приближенное выражение для  $i_{\text{я1}}(t)$  и  $i_{\text{я2}}(t)$ :

$$i_{\text{Я1}}(t) = I_{\text{Яmin}} + \frac{\Delta i_{\text{Я}}}{t_1} t = I_{\text{Яcp}} - \frac{\Delta i_{\text{Я}}}{2} + \frac{\Delta i_{\text{Я}}}{t_1} t ,$$

$$i_{Я2}(t) = I_{Я\max} - \frac{\Delta i_{Я}}{t_2} t = I_{Я\text{ср}} + \frac{\Delta i_{Я}}{2} + \frac{\Delta i_{Я}}{t_2} t.$$

Откуда после подстановки и преобразования получим  $I_{Я\text{эф}}^2 = I_{Я\text{ср}}^2 + \frac{1}{12} \Delta i_{Я}^2$ .

### Особенности работы транзисторов в ключевом режиме

В отличие от идеального ключа (рис. 6) ток через открытый транзистор и обратное напряжение на закрытом транзисторе ограничен: на открытом транзисторе имеется остаточное падение напряжения, а через закрытый транзистор протекает тепловой ток  $I_{к0}$  (рис. 7).

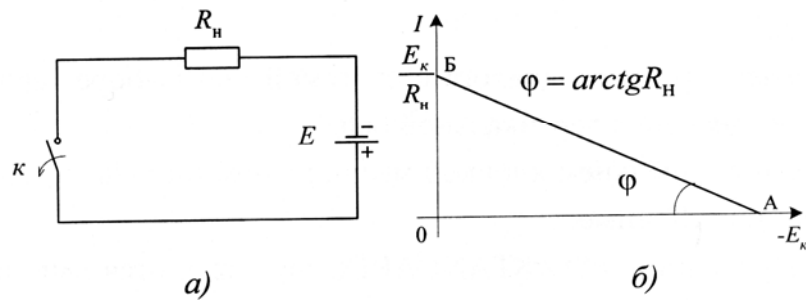


Рис. 6. Идеальный ключ

а – принципиальная схема; б – выходная характеристика

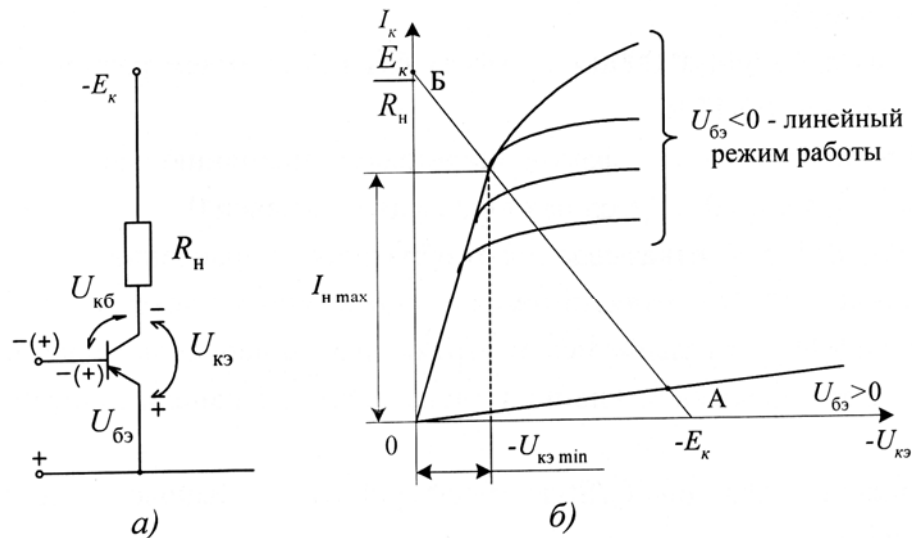


Рис. 7. Транзисторный ключ

а – принципиальная схема; б – выходная характеристика

Границе режима насыщения соответствует точка перегиба ВАХ. Для вывода транзистора на границу режима насыщения необходимо задать в базу ток

$$I_{\text{бн}} = \frac{I_{\text{кmax}}}{\beta} = \frac{I_{\text{нmax}}}{\beta}.$$

Из-за разброса параметров транзисторов и их сильной зависимости от температуры работа на границе насыщения нежелательна. Состояние насыщения транзистора гарантируется при выборе тока базы из условия

$$I_{\text{бн}}^* = S I_{\text{бн}} = S \frac{I_{\text{кmax}}}{\beta_{\text{max}}},$$

где  $S$  – коэффициент насыщения.

В области насыщения ранее приведенные соотношения несправедливы, так как напряжение  $U_{\text{кб}}$  меняет знак, становясь положительным:  $U_{\text{кэ}} = U_{\text{бэ}} - U_{\text{кб}}$ .

В состоянии насыщения оба перехода транзистора открыты. В этих условиях при неизменном направлении тока базы коллекторный ток транзистора может менять свое направление в зависимости от полярности источника питания. Для систем управления двигателями это имеет важное значение, так как они должны допускать изменение направления тока без изменения направления движения.

Реальные транзисторы имеют несимметричную конструкцию, поскольку коллекторный переход предназначен для работы с большими мощностями по сравнению с эмиттерным переходом. Для обеспечения работоспособности транзисторного ключа при разных направлениях тока нагрузки транзистор разгружают от инверсного тока с помощью шунтирующего диода, который в нормальном режиме работы транзистора закрыт, а в инверсном открыт (рис. 8).

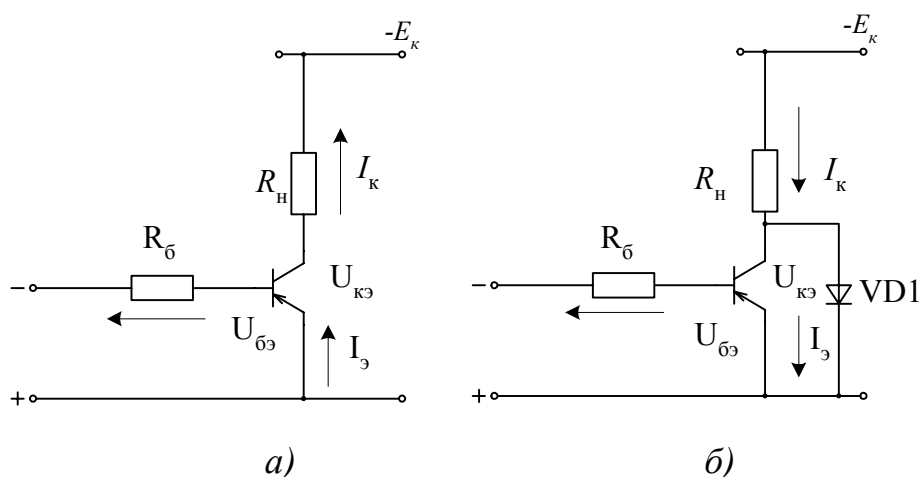


Рис. 8. Режимы работы транзистора:  
а – нормальный, б – инверсный



**Состояние отсечки.** Для перевода транзистора в режим отсечки необходимо подать на его эмиттерный переход запирающее напряжение ( $U_{бэ} > 0$  для  $n - p - n$ - и  $U_{бэ} < 0$  для  $p - n - p$ -транзистора). Достижимое на практике значение тока закрытого транзистора близко к величине  $I_{к0}$ . В реальных условиях источник запирающего напряжения должен обеспечить этот ток при напряжении на зажимах база – эмиттер  $(0,1 - 0,2) В \leq U_{бэз} \leq (1 - 2) В$ .

Большие напряжения  $U_{бэз}$  нежелательны из-за увеличения обратного напряжения  $U_{кб}$ . Кроме того, для многих транзисторов допустимое напряжение закрывающей полярности на эмиттерном переходе ограничено величиной 1 – 2 В. Это заставляет защищать переход от пробоя обратным напряжением при помощи шунтирующего диода (рис. 9). При этом напряжение на эмиттерном переходе не может превышать величины прямого падения напряжения на диоде  $U_{дпр} \leq 1 В$ .

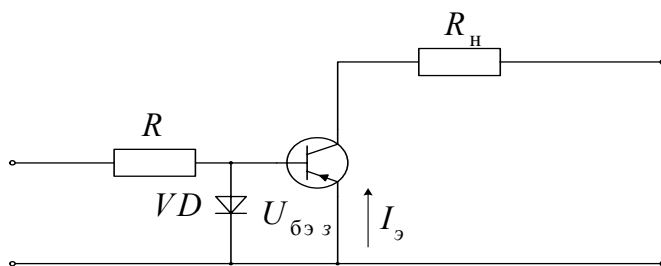


Рис. 9. Транзисторный ключ с шунтирующим диодом

**Динамические нагрузки.** Потери мощности при переключениях в значительной мере зависят от характера нагрузки транзисторного ключа. Различают три основных типа нагрузок. Первый из них соответствует активному сопротивлению (рис. 10). Он характерен для предварительных каскадов усиления мощности. Ко второму типу относятся нагрузки, имеющие соизмеримую активную и индуктивную составляющие (обмотка реле, муфты и т.п.) (рис. 11). Нагрузки третьего типа имеют активно-индуктивный характер с противоЭДС. Такими нагрузками для усилителей мощности являются якорные цепи электродвигателей постоянного тока.

ПротивоЭДС в основном влияет на величину тока ключа (активно-индуктивная нагрузка). В наихудших условиях транзистор оказывается

при выключении. ЭДС самоиндукции меняет знак и при сложении с напряжением источника питания увеличивает обратное напряжение на транзисторе почти вдвое, так как в течение некоторого времени ток поддерживается на прежнем уровне за счет энергии, запасенной индуктивностью. Поэтому потери мощности на транзисторе существенно возрастают. Появляется возможность выхода транзистора из строя.

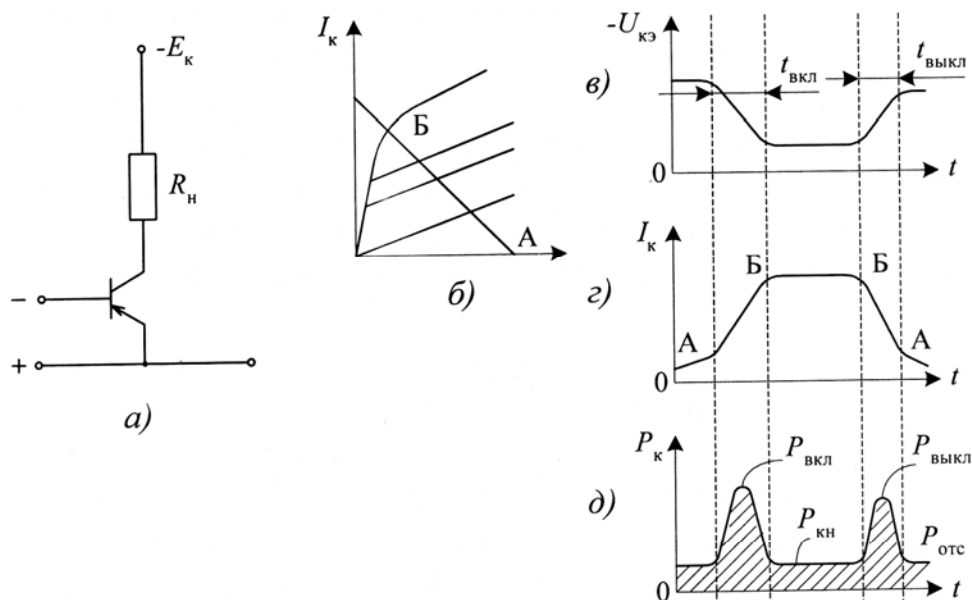


Рис. 10. Работа транзисторного ключа на активную нагрузку

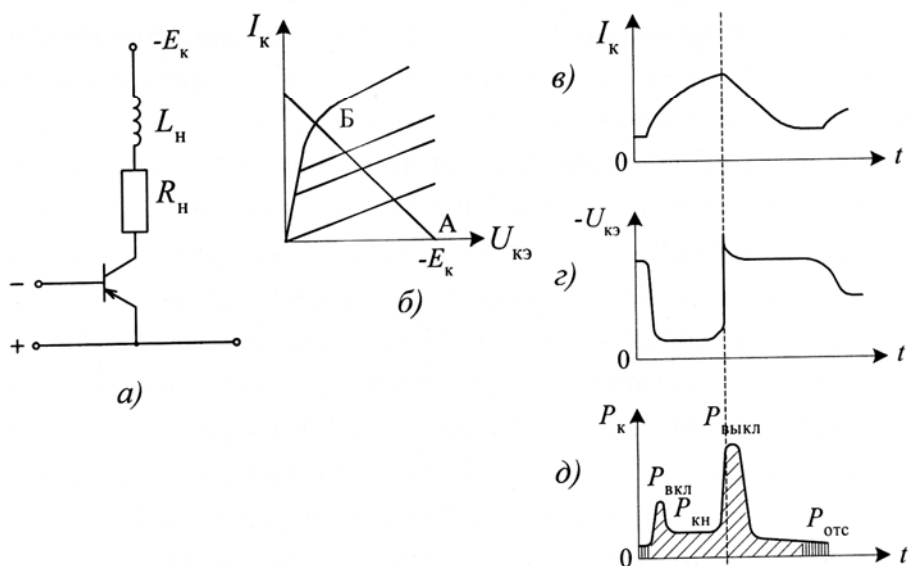


Рис. 11. Работа транзисторного ключа на активно-индуктивную нагрузку

Для защиты транзистора от перенапряжения и уменьшения рассеиваемой на нем мощности нагрузку шунтируют диодом (рис. 12). При вы-

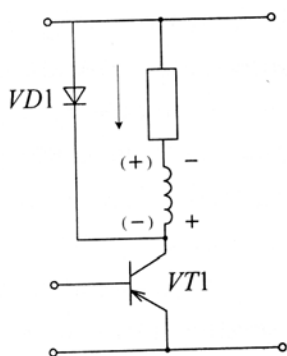


Рис. 12. Шунтирование нагрузки диодом

ключении транзистора диод открывается под действием ЭДС самоиндукции. Ток нагрузки замыкается через диод и имеет прежнее направление. Падение напряжения на открытом диоде мало, так что к закрытому транзистору приложено напряжение  $U_{кэ} = E_k + U_{\partial} \cong E_k$ .

При наличии противоЭДС блокирующий диод в течение паузы открыт только в том случае,

$$\text{если } L_{\text{Я}} \frac{di_{\text{Я}}}{dt} > I_{\text{Я}} + i_{\text{Я}} R_{\text{Я}}.$$

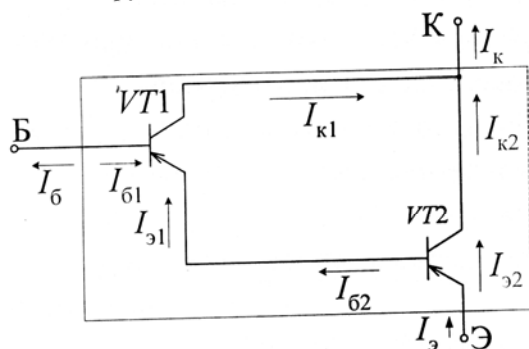


Рис. 13. Составной транзистор

Существенное повышение коэффициента усиления оконечных каскадов по мощности достигается за счет применения в них так называемых составных транзисторов (эмиттерные повторители на составных транзисторах, сложные эмиттерные повторители) (рис.13).

Поскольку в составном транзисторе ток эмиттера VT1 является током базы VT2, то эквивалентный коэффициент усиления по току

$$\beta_{\text{экв}} = \frac{I_{\text{кэкв}}}{I_{\text{б1}}} = \frac{I_{\text{к1}} + I_{\text{к2}}}{I_{\text{б1}}} = \beta_1 + \beta_2(\beta_1 + 1) \cong \beta_1\beta_2$$

Как видно, запираение транзистора VT1 приводит к изоляции эмиттерного перехода VT2 от источника сигнала. Для замыкания цепи обратного базового тока VT2 в схему вводится диод (рис.14).

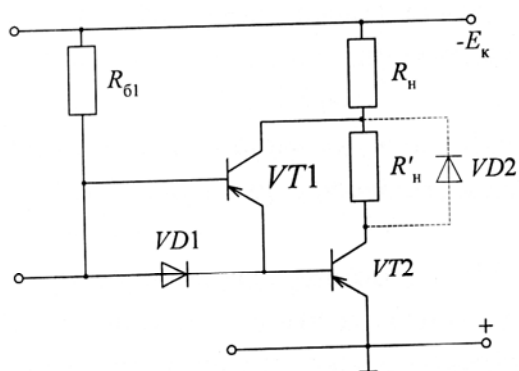


Рис. 14. Транзисторный ключ на составном транзисторе

При сигнале открывающей полярности диод закрыт и не мешает работе схемы. В схеме  $U_{кэ1} = U_{кб2}$ , так что насыщен может быть только транзистор  $VT1$  ( $U_{бэ} < 0, U_{кб1} > 1, U_{кэ1} < 0$ ), тогда как  $VT2$  может работать только вблизи границы насыщения  $U_{кб2} = U_{кэ1} = 0$ . Для создания устойчивого насыщения включают дополнительный резистор  $R_k$  или диод  $VD2$  (см. рис.14).

В современном электроприводе большое распространение имеют реверсивные транзисторные ШИП, варианты которых представлены на рис. 15.

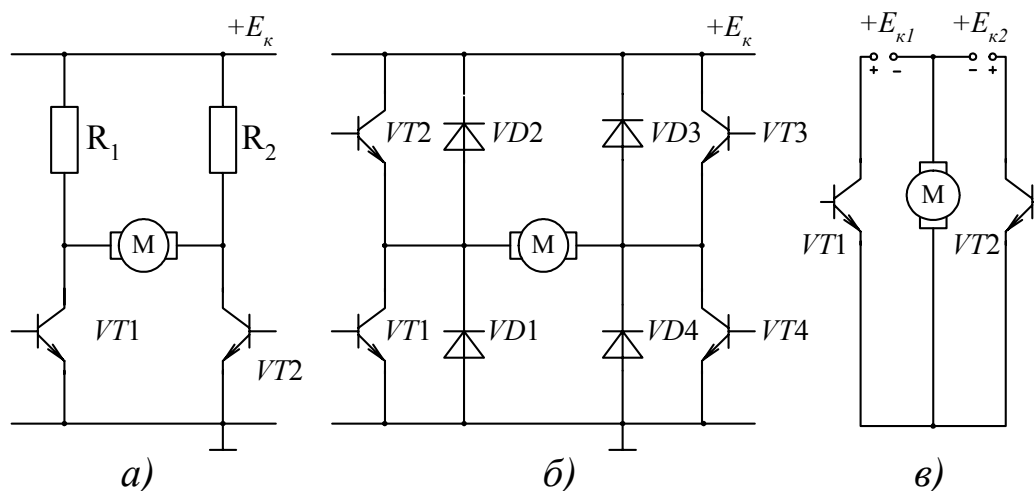


Рис .15. Транзисторные ШИП

Транзисторный ШИП может быть выполнен на двух и четырех транзисторах по мостовой схеме с одним источником и двумя источниками питания. Для одного направления вращения включаются транзисторы  $VT1$  (см. рис.15, а, в) и  $VT1, VT3$  (см. рис. 15, б), для другого –  $VT2$  (см. рис.15, а, в) и  $VT2, VT4$  (см. рис.15, б).

Управление ШИП осуществляется широтно-импульсным модулятором (ШИМ), где происходит преобразование непрерывного входного сигнала в последовательность импульсов с неизменной амплитудой и частотой, длительность которых пропорциональна величине входного сигнала. Реализуется такое преобразование наиболее просто с применением периодического пилообразного сигнала, период повторения которого равен необходимому периоду следования импульсов. Устройства, реализующие ШИМ-модуляторы длительности импульсов (МДИ), имеют два входа, на

один из которых поступает управляющий сигнал, а на другой – периодический пилообразный (рис.16).

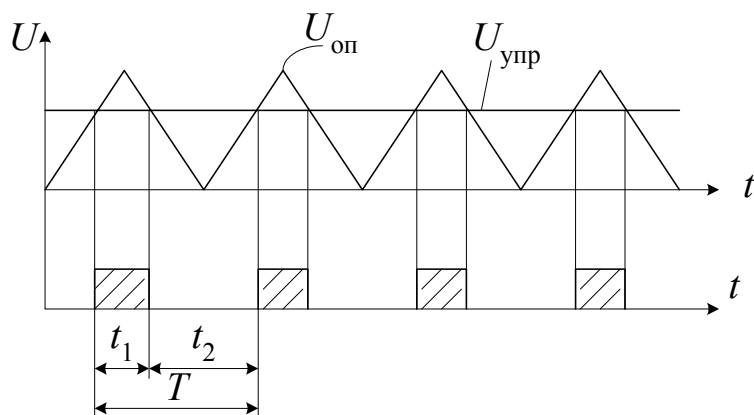


Рис. 16. Широтно-импульсная модуляция

### Описание лабораторного стенда

Принципиальная схема стенда приведена на рис. 17.

Лабораторная установка состоит из четырех функционально законченных блоков:

- блок В1 – задающий генератор прямоугольных импульсов, реализован на операционном усилителе DA1, и интегратор на операционном усилителе DA2, предназначен для преобразования прямоугольного сигнала в пилообразный;

- блок В2 – модулятор длительности импульсов (МДИ), устройство, имеющее два входа, на один вход подается периодический пилообразный сигнал, на другой – управляющий. В качестве МДИ обычно используется триггер Шмитта;

- блок В3 – инвертор, формирует инвертируемый сигнал, необходимый для управления импульсным усилителем мощности и обеспечения реверса двигателя;

- блок В4 – импульсный усилитель мощности (ИУМ), устройство, усиливающее сигнал с блоков В3, В4 в мощный сигнал, управляющий двигателем.

Рассмотрим работу усилителя мощности. Предположим, что на вход 1 (K3) и вход 2 (K4) ИУМ поступают прямоугольные импульсы положительной полярности со скважностью  $\gamma = 0,5$ .

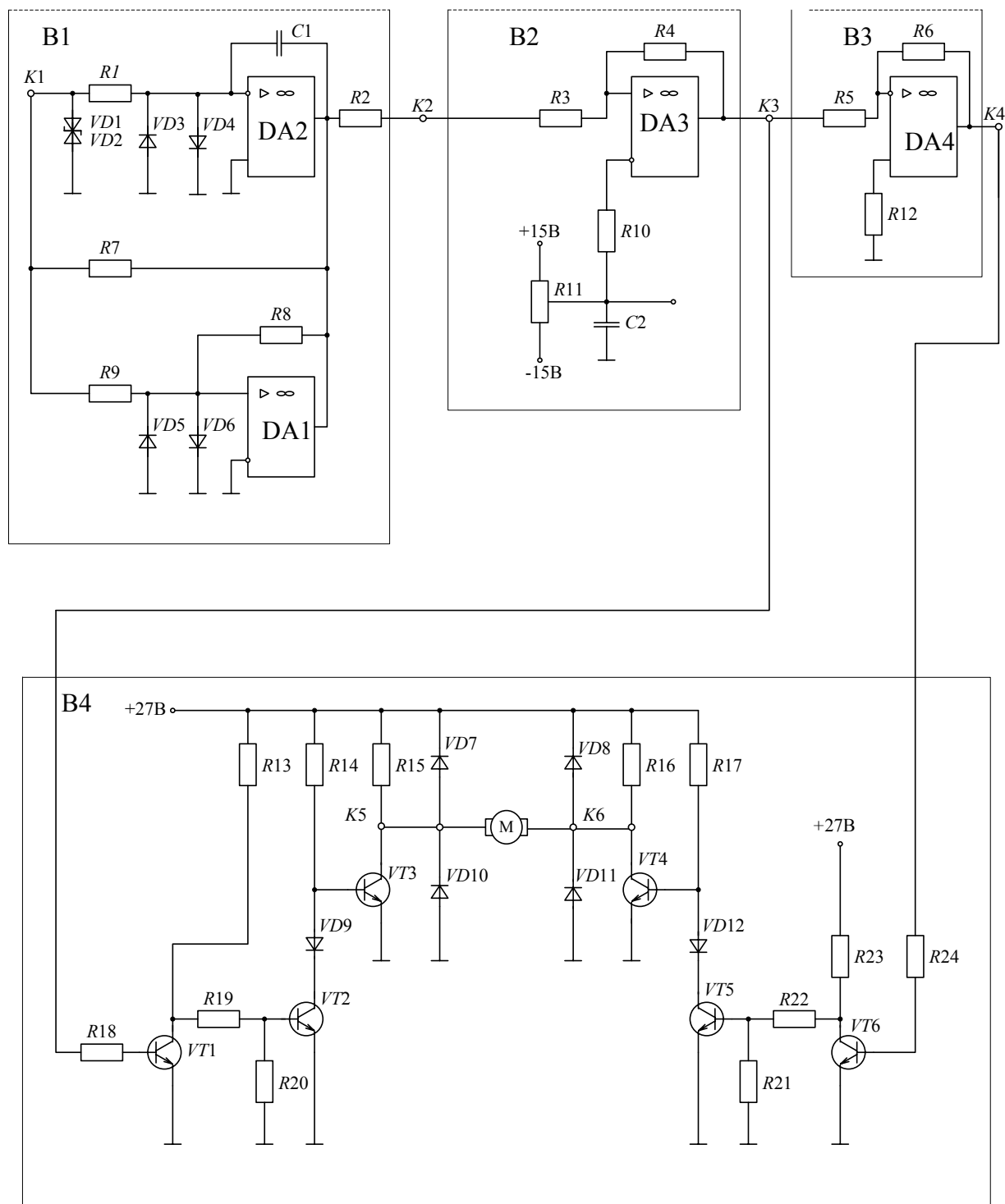


Рис. 17. Принципиальная схема стенда

Это приводит к открыванию всех транзисторов. На якорь двигателя к точкам К5 и К6 приходит усиленный сигнал с  $\gamma = 0,5$ . Ротор двигателя уравнивается,  $\omega = 0$ . Если на вход 1 (рис.18, а) поступает положительный импульс со скважностью  $\gamma = 0,1$ , то на вход 2 поступает сигнал с  $\gamma = 9/10$  (рис.18, б). Импульсы, усиленные ИУМ, подаются на выводы К5, К6 двигателя. В обмотке якоря двигателя импульсы суммируются, суммарный импульс напряжения приводит якорь во вращение (рис.18, в). Направление вращения якоря двигателя зависит от скважности импульса, выделяемого МДИ.

Для измерения частоты вращения якоря двигателя в установке используется тахометр.

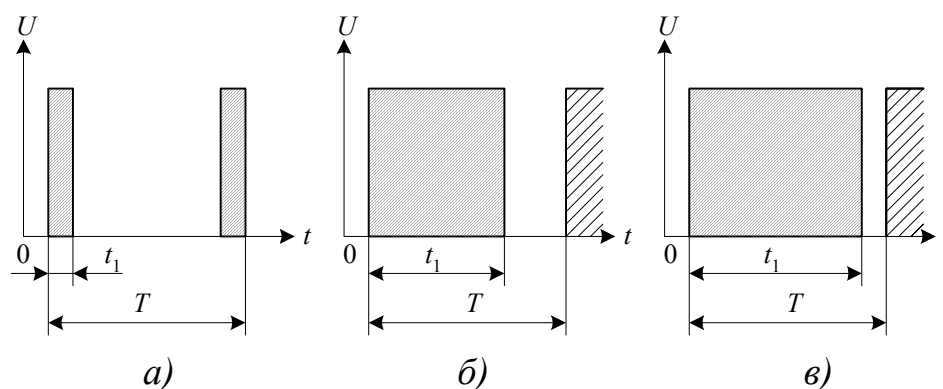


Рис. 18. Работа усилителя мощности

### Порядок выполнения работы

1. Установить ручку регулятора частоты вращения в нулевое положение.
2. Включить источник питания лабораторного стенда.
3. Поочередно подключая кабель осциллографа к контрольным точкам К1...К6, зарисовать эпюры напряжений. Эпюры напряжений привести в отчете.
4. Подключить кабель осциллографа к контрольной точке К1 и измерить частоту следования импульсов. Результаты записать в отчет.
5. Определить диапазон регулирования угловой скорости

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}.$$

Вращая ручку регулятора частоты вращения ( $R11$ ), добиться нулевого положения тахометра.

Постепенно увеличивая частоту вращения двигателя, установить минимальные равномерные обороты выходного вала. Частоту вращения контролировать по тахометру и занести в отчет ( $n_{\min} = \dots$ ).

Установить максимальную частоту вращения вала двигателя, замерить показания  $n_{\max}$ .

Рассчитать диапазон регулирования  $D$ .

Повторить операции пп.5.2, 5.3 и 5.4 при реверсивном вращении вала двигателя. Рассчитать диапазон регулирования  $D$ . Сравнить результаты.

6. Определить линейность широтно-импульсного регулятора  $n = f(\gamma)$ .

Подсоединить кабель осциллографа к К5.

Установить минимальную устойчивую частоту вращения двигателя.

Замерить длительность импульса  $t_1$  (по осциллографу) и число оборотов  $n$  (по тахометру).

Увеличить частоту вращения двигателя и измерить  $t_1$  и  $n$ .

Сделать 6 – 8 измерений  $t_1$  и  $n$  (от  $n_{\min}$  до  $n_{\max}$ ) и данные занести в таблицу.

#### Результаты измерений

| Параметр     | Номер измерения |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|
|              | 1               | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $n$ , об/мин |                 |   |   |   |   |   |   |   |
| $t_1$ , с    |                 |   |   |   |   |   |   |   |
| $t'_1$ , с   |                 |   |   |   |   |   |   |   |

Подсоединить кабель осциллографа к К5 и, обеспечив реверсирование двигателя, произвести операции пп.5.2 – 5.5.

Проанализировав график  $n = f(t_1)$ , записать сделанные выводы.

#### Контрольные вопросы

1. Каким образом можно уменьшить пульсацию тока якоря?
2. Поясните назначение диодов  $VD7 - VD11$ ?
3. Каковы преимущества мостовой схемы ИУМ?



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гусев, В.Г.** Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М. : Высш. шк., 1991. – 622 с.
2. **Жеребцов, И.П.** Основы электроники / И.П. Жеребцов. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с. – ISBN 5-283-04448-3.
3. **Горбачев, Г.Н.** Промышленная электроника / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. – М. : Высш. шк., 1982. – 320 с.
4. **Забродин, Ю.С.** Промышленная электроника / Ю.С. Забродин. – М. : Высш. шк., 1982. – 496 с.
5. **Герман-Галкин, С.Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых устройств в MATLAB 6.0 : учеб. пособие / С.Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

## Оглавление

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                    | 3  |
| Часть 1. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА.....                                                                                   | 4  |
| Описание лабораторной установки.....                                                                                             | 4  |
| Лабораторная работа № 1. Логические функции и элементы.....                                                                      | 5  |
| Лабораторная работа № 2. Синтез комбинационных схем.....                                                                         | 8  |
| Лабораторная работа № 3. Исследование триггеров.....                                                                             | 19 |
| Лабораторная работа № 4. Исследование регистров.....                                                                             | 28 |
| Лабораторная работа № 5. Исследование двоичных счетчиков.....                                                                    | 30 |
| Часть 2. УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.....                                               | 33 |
| Лабораторная работа № 6. Широтно-импульсный преобразователь – устройство импульсного управления двигателем постоянного тока..... | 33 |
| Список рекомендуемой литературы.....                                                                                             | 48 |

## ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторным работам

Составитель

РАССКАЗЧИКОВ Николай Геннадьевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.Ф. Коростелев

Редактор И.А. Арефьева

Технический редактор Н.В. Тупицына

Корректор

ЛР № 020275. Подписано в печать 27.03.06.

Формат 60х84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,01. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.