

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. П. Беляев, С. К. Грудо**

# **ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Лабораторный практикум**

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением  
по химико-технологическому образованию  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по специальности 1-36 06 01 «Полиграфическое оборудование  
и системы обработки информации»*

Минск 2023

УДК 621.317:621.83-52(075.8)

ББК 32.85я73

Б49

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Электропривод и автоматизация  
промышленных установок и технологических комплексов»

Белорусского национального технического университета

(заведующий кафедрой кандидат технических наук,  
доцент *С. А. Павлюковец*);

доцент кафедры теоретических основ электроники учреждения  
образования «Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники» кандидат технических наук,  
доцент *И. Л. Свито*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Беляев, В. П.**

Б49 Электронные устройства полиграфического оборудования. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-36 06 01 «Полиграфическое оборудование и системы обработки информации» / В. П. Беляев, С. К. Грудо. – Минск : БГТУ, 2023. – 126 с.

ISBN 978-985-897-092-5.

В учебно-методическом пособии приведена методика по изучению материала лабораторных работ и их выполнению. В лабораторных работах рассмотрены как простые, так и сложные электронные устройства, осуществляющие измерение, преобразование координат оборудования (например, скорости, перемещения, температуры), их использование в конкретных машинах полиграфического производства, предложены для изучения силовые электронные устройства (например, автономный инвертор напряжения). Каждая лабораторная работа включает теоретическую часть, порядок выполнения работы, отчетность и контрольные вопросы.

УДК 621.317:621.83-52(075.8)

ББК 32.85я73

ISBN 978-985-897-092-5 © УО «Белорусский государственный технологический университет», 2023

© Беляев В. П., Грудо С. К., 2023


## ПРЕДИСЛОВИЕ


Учебным планом подготовки инженера-электромеханика по специальности 1-36 06 01 «Полиграфическое оборудование и системы обработки информации» предусмотрена дисциплина «Электронные устройства полиграфического оборудования», при изучении которой следует выполнить цикл лабораторных работ.

Предлагаемое учебно-методическое пособие окажет помощь студенту в ознакомлении с порядком выполнения лабораторной работы, видами отчетности по ней, определенным объемом теоретического материала и контрольными вопросами, даст возможность узнать как о простых устройствах автоматики, к примеру компараторах, так и о сложных, например фотоэлектрических преобразователях перемещения, а также поможет научиться применять электронные устройства автоматики для конкретных механизмов (для устройства контроля подачи листов в печатную машину). В данное пособие входят лабораторные работы по логическим устройствам, таким как делители частоты, и по силовым устройствам автоматики, например, рассматривается автономный инвертор напряжения для электроприводов переменного тока. Некоторые работы выполняются на электронных лабораторных стендах. Это позволяет проследить прохождение логических импульсов управления по схемам, визуализировать состояние входов-выходов микросхем и т. п. Объем каждой лабораторной работы неодинаков: одни рассчитаны на одно занятие, другие на два-три занятия. Две работы практикума знакомят студентов с классическими примерами управления схемами, аппаратами, элементами автоматики, которые встречаются в электрической схеме каждого производственного механизма.

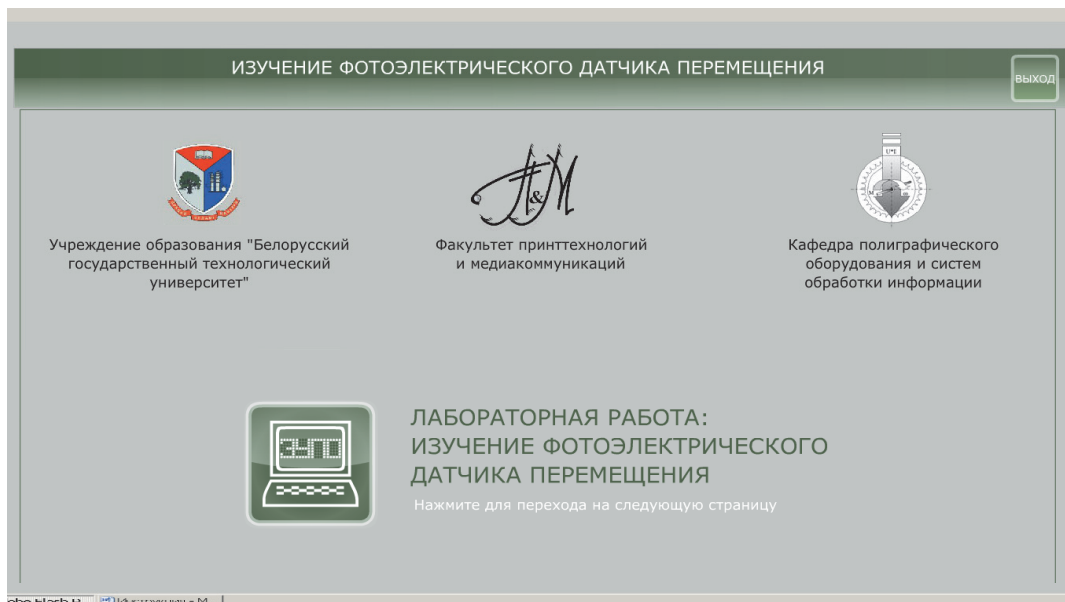
Целью данного пособия является закрепление лекционного материала дисциплины в части практического изучения методов, способов, функций управления и режимов работы электронных устройств полиграфического оборудования, а также приобретение навыков в обращении с электроустановками.

# ИНСТРУКЦИЯ ПО НАВИГАЦИИ И ИЗУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Наведите мышью курсор в виде руки на иконку любой папки (например,  lab6) и кликните левой клавишей мыши для открытия ее содержимого.

2. Наведите мышью курсор в виде руки на иконку файла, захватите ее кликанием левой клавишей мыши и перенесите на иконку файла  flashplayer\_26\_sa(32bit) .

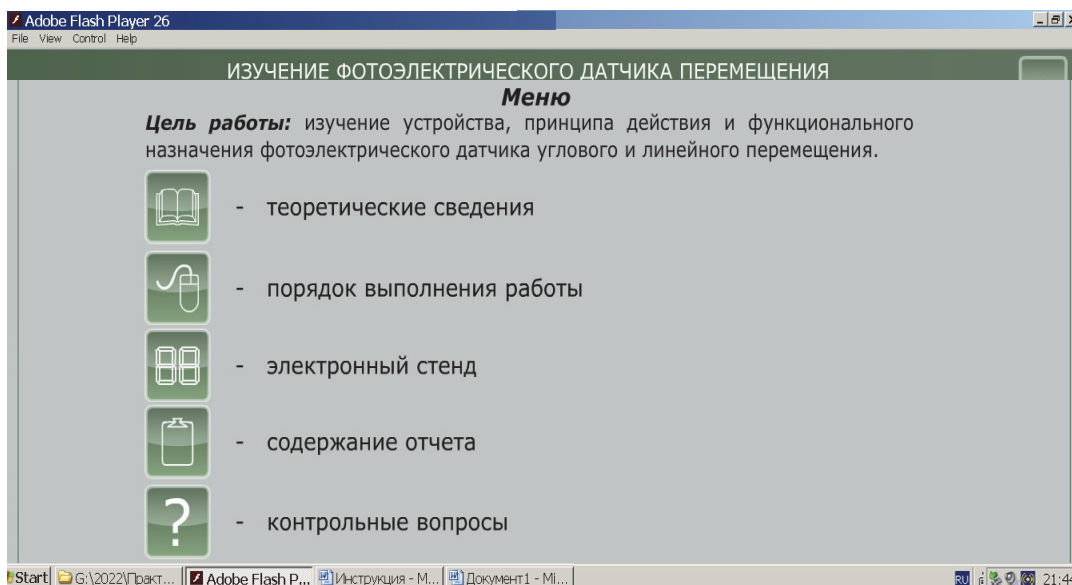
3. Откроется титул лабораторной работы.



4. Наведите мышью курсора на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши для открытия меню лабораторной работы.

5. При необходимости повторите теоретический материал. Для этого наведите мышью курсора на иконку «Теоретические сведения» и кликните левой клавишей мыши для открытия текста.

6. После ознакомления с содержанием лабораторной работы наведите мышью курсора на иконку «Меню» в левом верхнем углу экрана и кликните левой клавишей мыши для возвращения в меню.



7. Внимательно изучите раздел «Порядок выполнения работы». Для этого наведите мышью курсора на соответствующую иконку и кликните левой клавишей мыши для открытия текста раздела.

8. После внимательного изучения порядка выполнения работы наведите мышью курсора на иконку «Меню» в левом верхнем углу экрана и кликните левой клавишей мыши для возвращения в меню.

9. Выполните электронную лабораторную работу на электронном стенде, который открывается обучающемуся наведением мышью курсора на иконку «Электронный стенд» и кликанием левой клавишей мыши.

10. В открывшемся окне согласно порядку выполнения работы осуществите ее выполнение в окнах анимационного характера, показывающих работу элементов устройств, схем, графиков.

11. При желании, используя кнопку «Меню», можете повторить выполнение лабораторной работы.


12. Завершение лабораторной работы после ее выполнения осуществите наведением мышью курсора на надпись «Выход» в верхнем правом углу экрана и кликанием левой клавишей мыши.

**Наведение мышью курсора на иконки всякого рода, обозначения элементов устройств и т. п. и кликание левой клавишей мыши для их активизации является основным приемом ознакомления с содержанием и выполнением лабораторной работы.**

# ОБЩИЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ НА ЭЛЕКТРОННОМ СТЕНДЕ И ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Каждая лабораторная работа содержит раздел «Порядок выполнения работы».



2. Пункты раздела обязывают:

– обращение к электронному лабораторному стенду при наведении курсора на кнопку в виде стилизованного изображения компьютера, расположенного в центре экрана. После появления изображения руки  кликните левой клавишей мыши. Откроется меню лабораторной работы. Ознакомьтесь с содержанием открывшегося меню. Оно предоставляет выбор соответствующего раздела лабораторной работы. Выбор раздела выполните наведением мышью курсора на соответствующую иконку и после появления изображения руки кликанием левой клавишей мыши;

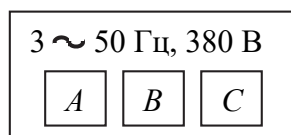
– сначала последовательное обращение к статическим изображениям стенда, на которых знакомятся с механическими объектами, участвующими в выполнении лабораторной работы, а затем внимательное изучение на схемах графических условных обозначений аппаратов, их элементов, электрических и подобных им машин, их буквенно-цифрового кода путем перемещения курсора по их изображениям или названиям;

– затем переход к электронному стенду лабораторной работы описанным выше приемом.

**3. Прием наведения курсора на любое изображение в окне, преобразования его в изображения руки и кликания левой клавишей мыши является общим для работы с электронным стендом.**

4. При изучении теоретической части лабораторной работы можно столкнуться с тем, что она не умещается в одном окне. Для перехода к другим частям текста можно пользоваться изображениями руки влево  или вправо , расположенными внизу на соответствующей стороне окна, либо скролом, расположенным в окне справа.

5. Работа на электронном лабораторном стенде начинается с подачи напряжения на его электрооборудование. Для этого мышью наведите курсор на табло, индицирующее параметры сети питания, и после появления изображения руки кликните левой клавишей мыши.



Напряжение подано, если табло засветится, а квадраты, обозначающие фазы напряжения, окрасятся в цвета (фаза *A* – желтый, фаза *B* – зеленый, фаза *C* – красный), соответствующие стандарту. Это своего рода световая сигнализация о подаче напряжения.

6. Подача напряжения непосредственно на схемы выполняется автоматическим воздушным выключателем *Q* или *QF*, для чего мышью наведите курсор на его изображение и после появления изображения руки кликните левой клавишей мыши. Контакты выключателя замкнутся.

7. Подача напряжения на схемы, появление напряжения на аппаратах схемы обозначается световой индикацией лампами *HL* или светодиодами *VD*.

8. Снятие напряжения питания как со стенда, так и с электрооборудования, выполняется теми же аппаратами и указанными приемами использования курсора.

9. Можно отключать напряжение в последовательности, обратной последовательности включения, а можно сразу снять, наведя мышью курсор и кликая левой клавишей мыши на табло, индицирующее параметры сети питания и другие показатели.

В каждом кадре лабораторной работы слева вверху расположена кнопка в виде стилизованного изображения компьютера. При наведении мышью курсора на него и кликании левой клавишей мыши можно перейти на предыдущий кадр стенда или в меню.

**Требования к отчету по выполненной лабораторной работе.** Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен по ЕСКД на текстовую и графическую документацию и в соответствии с СТП БГТУ 001-2019 «Проекты (работы) дипломные. Требования

и порядок подготовки, представления к защите и защиты». Принципиальные электрические схемы, условные обозначения элементов и тому подобное должны быть выполнены в соответствии с современными ГОСТами, действующими в Республике Беларусь.

Отчет выполняется индивидуально на листах формата А4 **с одной стороны** листа. Оформлять отчет следует аккуратно, разборчивым подчерком, без сокращений слов, за исключением общепринятых обозначений. Рекомендуются компьютерное выполнение содержания отчетов с соблюдением изложенных правил. Содержание отчета приведено в методических указаниях к лабораторной работе.

**Данные опыта** даются в отчете в виде таблиц или краткого описания изменения внешнего признака результатов.

**Расчет и анализ данных.** Привести расчетные формулы в общем виде, при необходимости указать последовательность их преобразования, подробно произвести расчеты, учитывая размерность величин. Построить графические зависимости. Правила построения графиков изложены ниже.

**Дать ответы на поставленные в ходе и в конце опыта вопросы.** В анализе данных следует:

- установить характер наблюдаемой зависимости;
- выяснить причину наблюдаемой зависимости;
- объяснить характер и причину зависимости, используя теоретический материал.

**Вывод.** В отчете в разделе «Выводы» обучающийся **не должен** перечислять цель, задачи и то, что он делал при выполнении лабораторной работы. Здесь должна быть дана количественная и качественная оценка содержания и результатов лабораторной работы. Это краткое сообщение о полученном результате с элементами обобщения. Установленная в опыте зависимость на примере конкретного действия подается в выводе обобщенными понятиями.

Например:

«Установлена зависимость (характер влияния, принцип действия и т. д.) ...» или «Показано, что ...»;

«Результаты опыта согласуются (подтверждаются и т. д.) с таким-то теоретическим положением (законом, принципом, правилом и т. д.)».

**Ответы на контрольные вопросы** приводятся в конце отчета. Условия заданий не переписываются, ответы даются по общепринятой схеме.



**!!! Отчет о проделанной лабораторной работе должен быть представлен к сдаче на следующем занятии и является необходимым, но не единственным условием защиты темы данной лабораторной работы.**

**Правила построения графиков.** При графической обработке экспериментальных данных применяется прямоугольная система координат. На ось абсцисс наносятся значения независимой переменной  $x$ , на ось ординат – значения функции  $y$ .

Так как результаты опыта в той или иной степени неточны, то всегда будет наблюдаться разброс точек. Поэтому кривую следует проводить таким образом, чтобы она была **плавной** и проходила как можно ближе ко всем нанесенным точкам. При обнаружении точек, значительно удаленных от кривой, эксперимент в этой области следует считать ошибочным и данные не учитывать.

**Кривая должна занимать почти все поле координат.** Для этого в качестве опорных точек при разметке осей следует выбирать не опытные, а округленные и равноотстоящие значения  $x$  и  $y$  (в интервале, охваченном экспериментом). **Например, если  $x$  меняется в пределах от 0,53 до 0,97 единицы, то ось абсцисс целесообразно ограничить слева значением 0,5, а справа 1,0.** После этого необходимо нанести результаты наблюдений, что впоследствии позволит быстро и легко определить координаты любой точки на кривой.

Соотношения масштабов по координатным осям следует выбирать такими, чтобы кривая не была очень крутой или же очень пологой, т. е. сжатой по одной оси и растянутой по другой. Слишком мелкий масштаб приведет к утрате точности, излишне крупный – к непроизводительной затрате времени на построение графика.

Графики рекомендуется отражать на миллиметровой бумаге карандашом или формировать компьютерными программами. На координатных осях следует указать обозначения рассматриваемых величин и размерность представленных данных. Координатные оси должны иметь соответствующее масштабирование.

**Подписи к рисункам** размещаются снизу под графиком. В подписочных подписях исключается указание величин через буквенные обозначения. Например:

**Неверно:** «Рис. 1. Зависимость  $V$  от  $C$ ».

**Верно:** «Рис. 1. Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ».

Отчет должен быть подписан обучающимся.

## ИЗУЧЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

**Цель работы:** изучение функционального назначения, устройства, принципа действия и электрических принципиальных схем фотоэлектрического преобразователя углового и линейного перемещения.

### Теоретические сведения

Элементами электронных устройств автоматики, используемых в автоматизированных электроприводах, являются фотоэлектрические преобразователи линейного и углового перемещений – ФПП. Принцип их действия состоит в преобразовании перемещения маски в изменение интенсивности светового потока, регистрируемого фотоэлементами и преобразуемого ими в электрический сигнал (рис. 1). Угловое перемещение  $\omega$  или угловое положение  $\alpha$  измеряются кодовым диском (пластиной) с разрядными кодовыми дорожками. Источником света обычно являются светодиоды, установленные напротив каждой разрядной дорожки. Их световой поток, проходя через маску и оптический блок, попадает на фотоприемники (фотодиоды, фототранзисторы). Выходной сигнал получается в форме двоичного кода, имеющего столько разрядов, сколько кодовых дорожек на диске.

По характеру воздействия светового потока на фотоприемник преобразователи этого типа разделяют на три основные группы:

- ФПП с перекрытием светового потока (импульсные);
- ФПП с кодовыми масками;
- растровые ФПП.

В кодовых ФПП на маску непосредственно наносится цифровой растр, который с помощью фотоприемника считывается в параллельном коде. В импульсных преобразователях на маску наносится штриховая дорожка. При перемещении маски фотоприемники регистрируют последовательность световых импульсов, по количеству которых можно оценить перемещение.

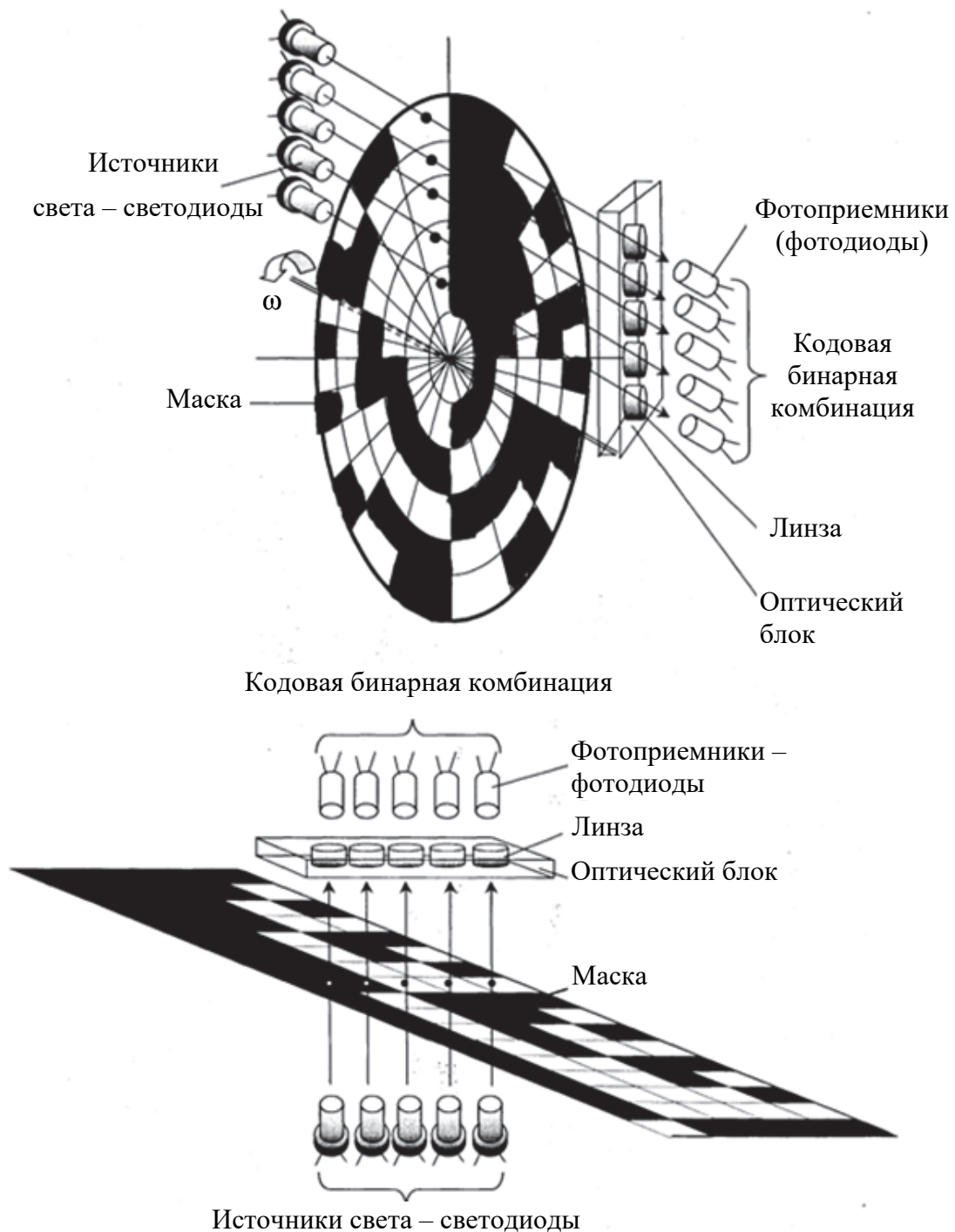


Рис. 1. Принцип фотоэлектрического преобразования перемещения

В растровых ФПП имеется оптический модулятор, состоящий из сопряжения измерительного (подвижного) и индикаторного (неподвижного) элементов. В зависимости от характера воздействия на световой поток различают растры пропускания (рис. 1) и отражения.

Пропускающие растры представляют собой систему прозрачных и непрозрачных штрихов. Отражающие растры выполняются в виде решеток с элементами, зеркально отражающими световой поток. На рис. 2 представлено конструктивное исполнение кодового преобразователя перемещения. Он состоит из механической, оптической и электронной систем. Эти системы размещаются и крепятся в корпусе 1 и герметично защищены крышкой 8. Механическая система представляет собой совокупность механических узлов, в которых расположены светодиод 2, конденсор 3 оптической системы, индикаторная пластина 4, вращающийся растровый диск 5, закрепленные печатные платы 7.

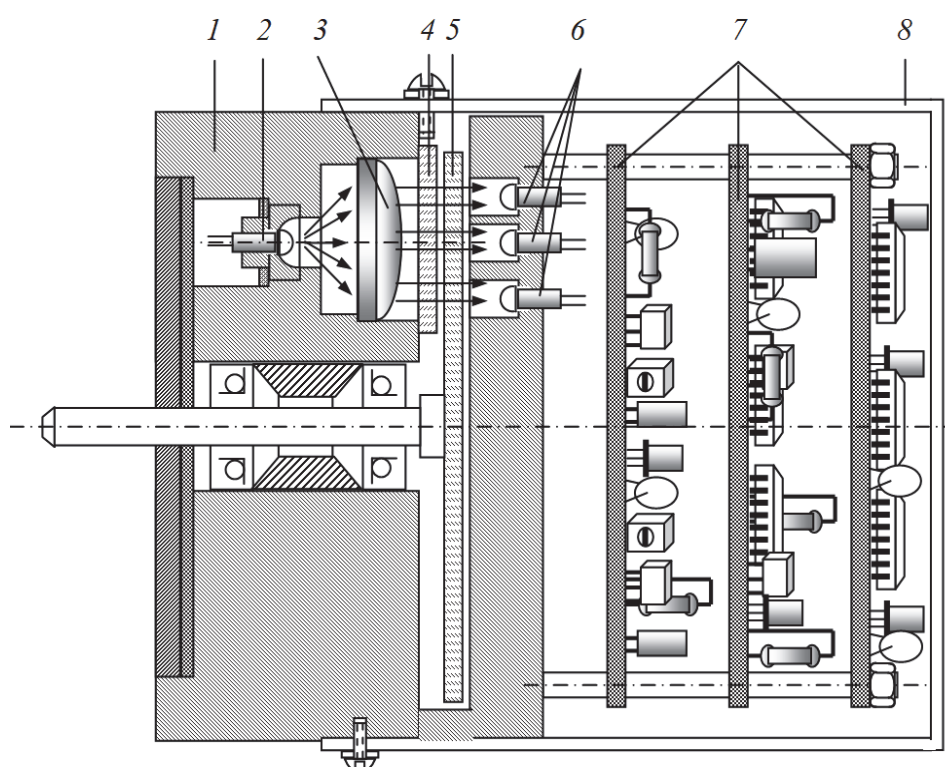


Рис. 2. Конструктивное исполнение кодового датчика перемещения:  
 1 – корпус; 2 – светодиод; 3 – конденсатор;  
 4 – индикаторная пластина; 5 – растровый диск; 6 – фотодиоды;  
 7 – печатные платы; 8 – крышка

Оптическая система состоит из излучателя светового потока 2, конденсора 3, фокусирующего этот поток, и приемников светового потока 6 (фотодиоды). Электронная система состоит из операционных усилителей, резисторов, конденсаторов и транзисторов,

расположенных на печатных платах. Современные нанотехнологии позволяют изготавливать полупроводниковые элементы ФПП как изделия с небольшими весогабаритными параметрами. Одно из них именуется энкодером (*encoder, n-coder*).

Технология изготовления кодовых масок имеет ограниченную точность, поэтому ограничена и разрядность кодовых фотоэлектрических датчиков. Одноотсчетные преобразователи, выполненные по рассмотренной схеме, имеют одиннадцати- или двенадцатиразрядный выходной код, что соответствует разрешающей способности 5–10' (оценку числа разрядов можно выполнить по формуле  $360^\circ / 2^n$ , где  $n$  – число разрядов, т. е.  $360^\circ / 2^{12} = 5'16,4''$ ).

Для более точного измерения перемещения преобразователи строятся по двухотсчетной схеме, в которой используются два диска. Выходной код преобразователя формируется при объединении точного и грубого отсчета угла. Кодовый диск грубого отсчета установлен непосредственно на валу, где измеряется перемещение, а диск точного отсчета соединяется с этим валом прецизионным понижающим редуктором. Разрядность выходного кода таких преобразователей достигает 20, что соответствует разрешающей способности порядка 1,5".

Изготовление кодовых масок связано с выбором системы кодирования. Двоичный код удобен тем, что он используется в большинстве цифровых устройств автоматики и для сопряжения преобразователей с ними не требуются промежуточные преобразования.

Рассмотрим кодовую маску для углового (рис. 3) и линейного (рис. 4) ФПП с пятиразрядным двоичным кодом. Заштрихованные участки соответствуют коду нуля, незаштрихованные – единице. Анализ процедуры считывания чисел двоичного кода выявляет существенный недостаток, который обусловлен технологическими погрешностями изготовления маски и установления фотоприемников. Он заключается в неодновременности перехода от числа к числу во всех разрядных дорожках. Например, когда происходит переход от числа 15 (01111) к числу 16 (10000), то смещение границ градаций пропускания светового потока в разрядных дорожках может привести к считыванию не числа 16, а, например, 20 (10100), если в третьем разряде не успела произойти смена 1 на 0. При этом появляются новые коды, вносящие ошибочные действия в последующих цифровых устройствах. Чтобы исключить появление ложных

комбинаций разрабатываются различные методы кодирования масок и съема логических сигналов. Чаще всего используют однопеременные коды, у которых при переходе от числа к числу изменение кода происходит только в одном разряде. Например, циклический код Грея, представление чисел в котором приведено на рис. 3 и 4 (пятиразрядная кодовая маска).

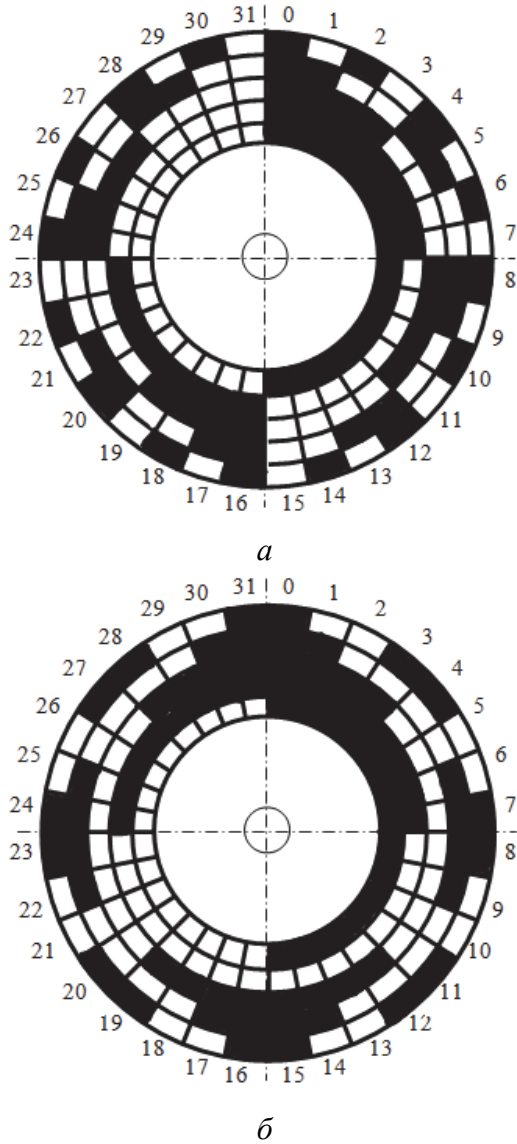


Рис. 3. Кодовые маски преобразователя углового перемещения:  
*a* – для двоичного кода;  
*б* – для кода Грея

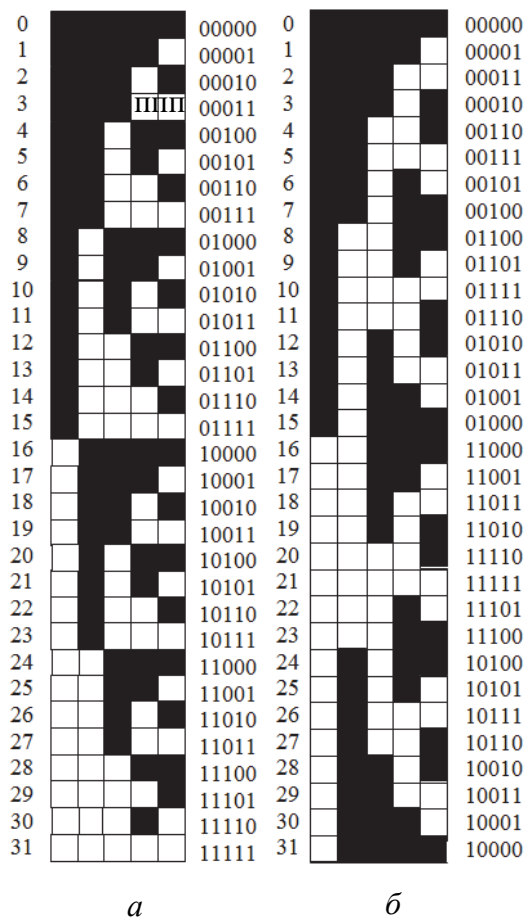


Рис. 4. Кодовые маски преобразователя линейного перемещения:  
*a* – для двоичного кода;  
*б* – для кода Грея

При получении информации с помощью таких масок возникает задача перевода ее в обычный двоичный код, что необходимо для сопряжения ФПП с другими цифровыми устройствами. Выполнение этой задачи решается созданием соответствующих схем. Пусть число записывается в обычном двоичном коде как

$$a_n, a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_i, \dots, a_1,$$

а в коде Грея как

$$b_n, b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_j, \dots, b_1,$$

где  $a_i$  и  $b_j$  – значения разрядов.

Перевод числа в коде Грея в обычный двоичный код производится по формуле, которая дает значения разрядов при сложении по модулю 2:

$$a_i = \sum_{j=1}^{i=n} b_j \pmod{2}.$$

Примером фотоэлектронного кодового преобразователя перемещения угла может служить датчик ППК-15 (преобразователь перемещений кодовый 15-разрядный). Преобразователи такого типа позволяют создать систему абсолютного отсчета углового или линейного перемещения. Они производят перемещения относительно некоторого заданного начального положения – нуля датчика. Значение измеренного перемещения сохраняется при прекращении процесса измерения и возобновляется с этого значения при восстановлении процесса измерения. Дополнительное преобразование информации при выполнении измерений является некоторым недостатком функционального и аппаратного планов.

Импульсные фотоэлектрические преобразователи перемещения лишены этого. Способ кодирования маски такого ФПП состоит в том, что на маску наносится специальный спектр, который представляет собой чередование прозрачных и непрозрачных участков (штриховую дорожку, например дорожку *A* на рис. 5). Количество штрихов определяет разрешающую способность преобразователя. Для оценки перемещения необходимо вести счет штрихов, проходящих в поле фотоприемника, т. е. счет фотоимпульсов счетчиками. Импульсные датчики позволяют реализовывать относительный отсчет перемещения. Для определения полного положения в системе отсчета с фиксированным началом необходима дополнительная

информация. Для ее получения на растровый диск наносится дополнительная дорожка, на которой имеется только один просвет (дорожка *C*). Этот просвет фиксируется фотоприемником преобразователя. Импульсные ФПП в принципе не дают информации о направлении перемещения. Для его определения на маску наносится вторая штриховая дорожка, у которой штрихи и просветы сдвинуты в пространстве по фазе относительно первой дорожки на  $\pi/2$ , т. е. на четверть периода (рис. 5, дорожка *B*). Полученный комплекс сигналов с одной и другой дорожек с помощью специальной схемы позволяет определить направление перемещения.

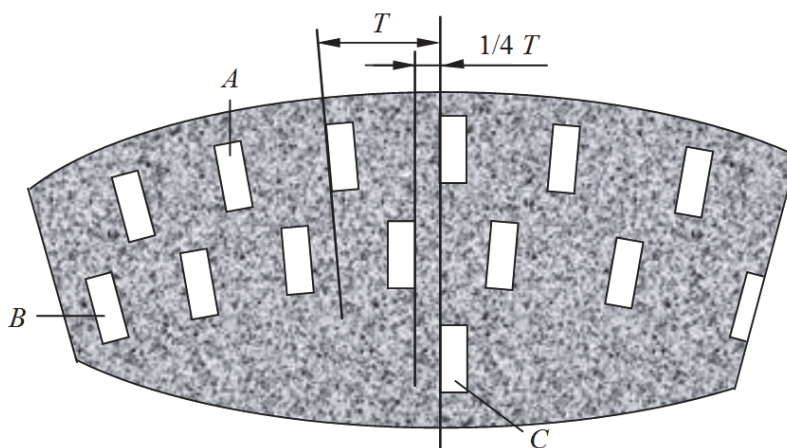


Рис. 5. Фрагмент индикаторной пластины с кодовыми дорожками

В силу технологических погрешностей изготовления растрового диска и индикаторной пластины, определенных характеристик фотоприемников и их шумов, а также из-за их ограниченного быстродействия сигнал, снимаемый с фотоприемников, имеет гармонический характер изменения при фиксировании светового потока через растровый диск и индикаторную пластину, когда их прозрачные штрихи начинают совпадать. Этот сигнал имеет постоянную составляющую и искажения из-за температурного дрейфа характеристик фотодиодов. Для устранения этой постоянной составляющей, компенсации температурного дрейфа и получения знакопеременного гармонического сигнала синусоидального характера для снятия одного сигнала используются два встречно-параллельно включенных фотоприемника *BL1* и *BL2* (рис. 6), каждый из которых расположен на соседних растровых дорожках (дорожках *A* и *B*).



Каждый полученный видеосигнал  $I_{e1}$ ,  $I_{e2}$  или  $I_{e0}$  (рис. 7) усиливается операционным усилителем  $DA1$ , а с помощью последующего усилителя-ограничителя  $DA2$  (компаратора) формируется в систему прямоугольных импульсов, например  $U1$  (рис. 7). При обработке полученного видеосигнала микросхемами  $DA1$  и  $DA2$  используются корректирующие их характеристику  $RC$ -цепочки и конденсатор  $C$  ( $C8$ ,  $C5$ ,  $R6-C4$ ,  $R3-C3$ ). Стабилизация характеристик по напряжению питания в схемах с общей точкой достигается использованием конденсаторов  $C1$ ,  $C2$ ,  $C6$ ,  $C7$ . Аналогичным образом получается другая система прямоугольных импульсов  $U2$ , сдвинутая относительно первой на  $\pi/2$  (рис. 7), что обусловлено сдвигом системы отверстий  $A$  и  $B$  на индикаторной пластине (рис. 5). Отверстие  $C$  на индикаторной пластине позволяет получить один импульс за оборот растрового диска  $U_0$ .

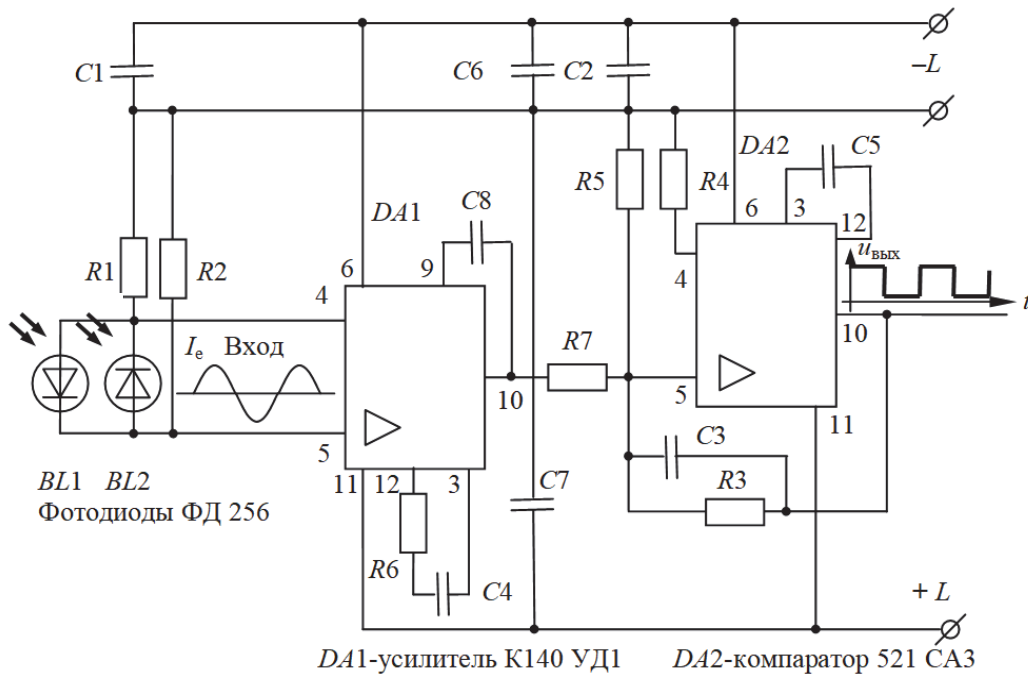


Рис. 6. Схема формирования сигнала от фотодатчиков

Кроме сигналов  $U1$  и  $U2$  электронная система формирует группу сигналов, инверсную к отсчетным  $\bar{U}1$  и  $\bar{U}2$  (рис. 7, 8), которые впоследствии необходимы для определения направления перемещения. Сформированная предварительными каскадами последовательность прямоугольных импульсов по каждому каналу поступает на следующие усилительные каскады, например для

сигнала  $U1$  – на транзисторы  $VT4, VT5$  (выход  $U1$ ) и для  $\bar{U}1$  – на  $VT1, VT2, VT3$  (выход  $\bar{U}1$ ). Для более точной информации о перемещении целесообразно получить от ФПП как можно больше импульсов  $n$ , в том числе и за 1 оборот растрового диска  $z$ , поскольку количество импульсов пропорционально углу поворота вала ФПП, т. е. угловому перемещению  $\varphi = k_{\text{фпп}} \cdot n$ , где  $k_{\text{фпп}} = 360^\circ/z$  – коэффициент передачи ФПП. Но это противоречит требованиям, предъявляемым к габаритам ФПП такого типа. Современные ФПП имеют диаметр растрового диска в пределах 50 мм. Технологические ограничения позволяют нанести на диск не более 5000 штрихов. Однако наличие двух систем прямоугольных импульсов позволяет с помощью дополнительного схемного решения получить систему четырехкратных импульсов по отношению к исходной, что увеличивает разрешающую способность ФПП.

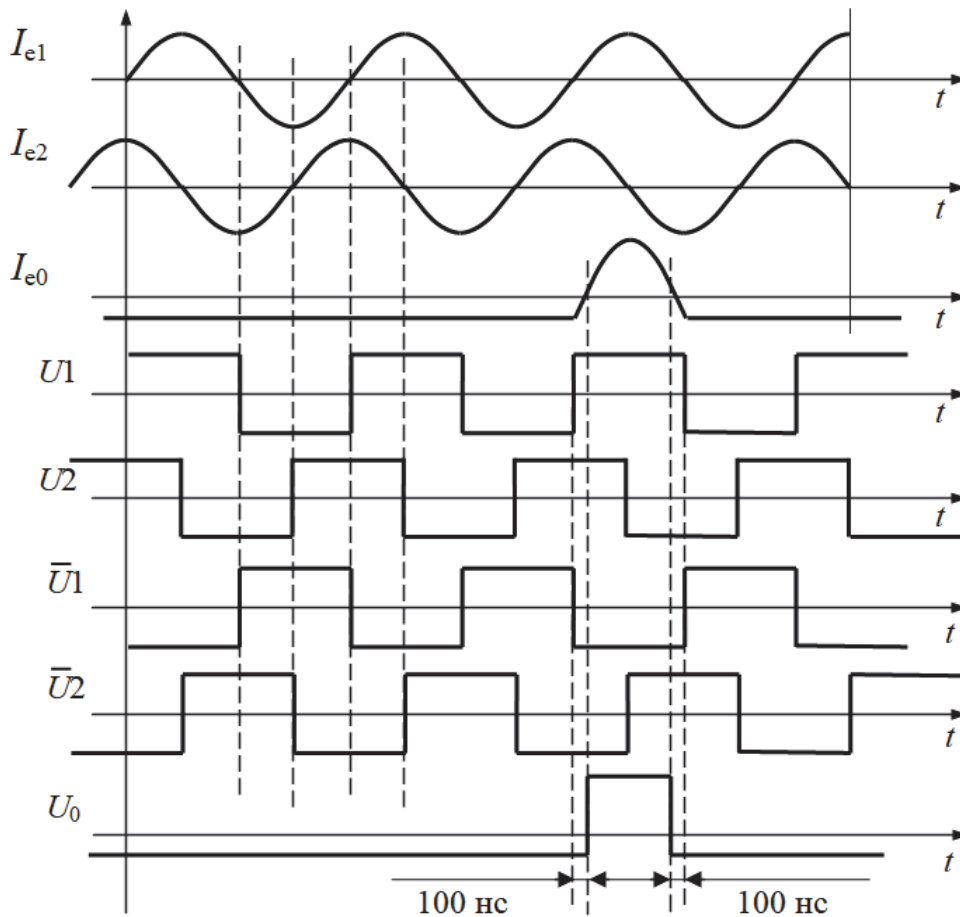


Рис. 7. Эпюры напряжения на выходе преобразователя перемещения

Такое учетверение достигается фиксированием заднего и переднего фронтов импульсов, полученных из двух систем сигналов

от отверстий *A* и *B*. Один из вариантов такой процедуры приведен на рис. 10. В этом варианте использована естественная продолжительность задержки распространения сигнала ( $t_{\text{зад.р}} = 30 \text{ нс}$ ) через логический элемент НЕ (инвертор) и многократное инвертирование этого сигнала.

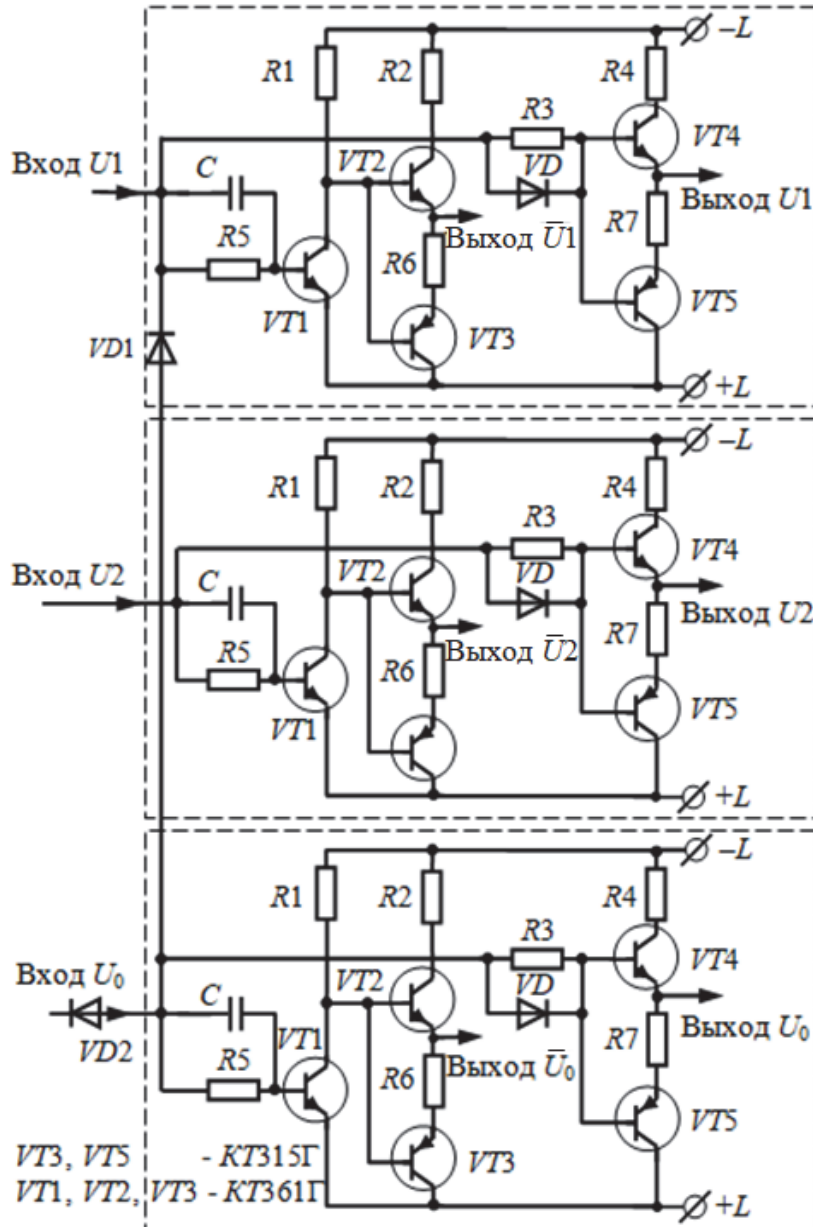


Рис. 8. Выходные каскады кодовых дорожек преобразователя

Элемент *DD5* формирует импульсы по переднему фронту входного сигнала  $A_{1-1}$ , элемент *DD6* – по его заднему фронту  $A_{1-2}$ . Сформированные таким образом последовательности импульсов

суммируются схемой *DD7* в последовательность  $(A_{\Sigma} + B_{\Sigma})$  с учетверенной частотой следования импульсов (рис. 9). Переменные  $A, \bar{A}, B, \bar{B}$  являются выходными сигналами ФПП, переменные  $A', \bar{A}', B', \bar{B}'$  формируются с помощью дополнительных логических элементов. *DD* – реверсивный счетчик, выходной двоичный код которого соответствует количеству импульсов, т. е. углу перемещения.

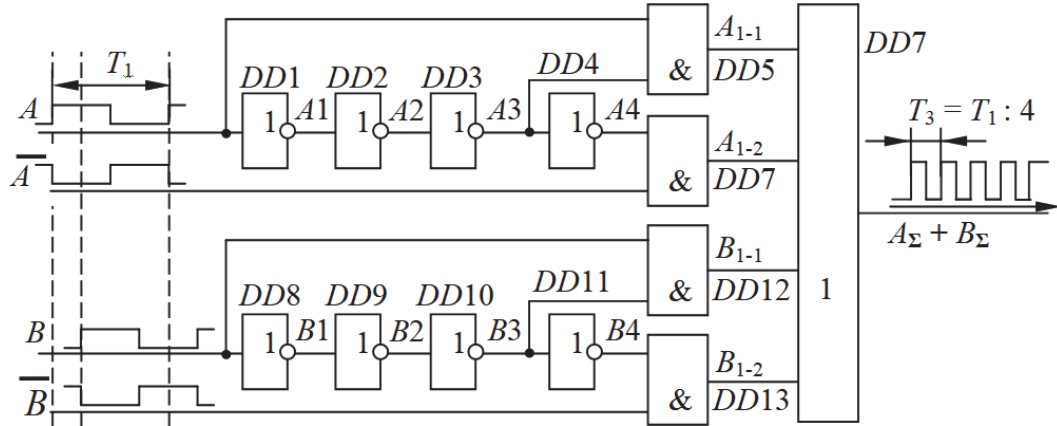


Рис. 9. Схема учетверения частоты следования импульсов

Логическая схема по учетверению частоты следования импульсов по первому варианту формирует два сигнала  $X$  и  $Y$ . Эти сигналы определяются как логические функции:

$$\begin{aligned}
 X &= A' \cdot \bar{B} + B' \cdot A + \bar{A}' \cdot \bar{B} + \bar{B}' \cdot A = \bar{A}_{1-1} = \\
 &= U1' \cdot U2 + \bar{U}2' \cdot \bar{U}1 + \bar{U}1' \cdot U2 + U2' \cdot U1, \\
 Y &= A' \cdot B + \bar{B}' \cdot A + A' \cdot B + B' \cdot A = A_{1-2} = \\
 &= U1' \cdot U2 + U2' \cdot U1 + U1' \cdot U2 + U2' \cdot U1.
 \end{aligned}$$

При  $X = A_{1-1} = 1$  счетчик суммирует импульсы по входу  $C$ , при  $Y = A_{1-2} = 1$  происходит вычитание импульсов по тому же входу  $C$ . Применение ФПП импульсного типа по сравнению с ФПП кодового типа требует дополнительных затрат элементной базы. Однако ФПП импульсного типа имеют более высокую разрешающую способность и поэтому предпочтительнее. Эпюры напряжения, характеризующие учетверение частоты следования импульсов, приведены на рис. 10. Внимательное рассмотрение перемещения эпюр на выходах/входах логических элементов рис. 9, их сочетание на элементе *DD7* позволит наглядно убедиться в реализации упомянутого учетверения.

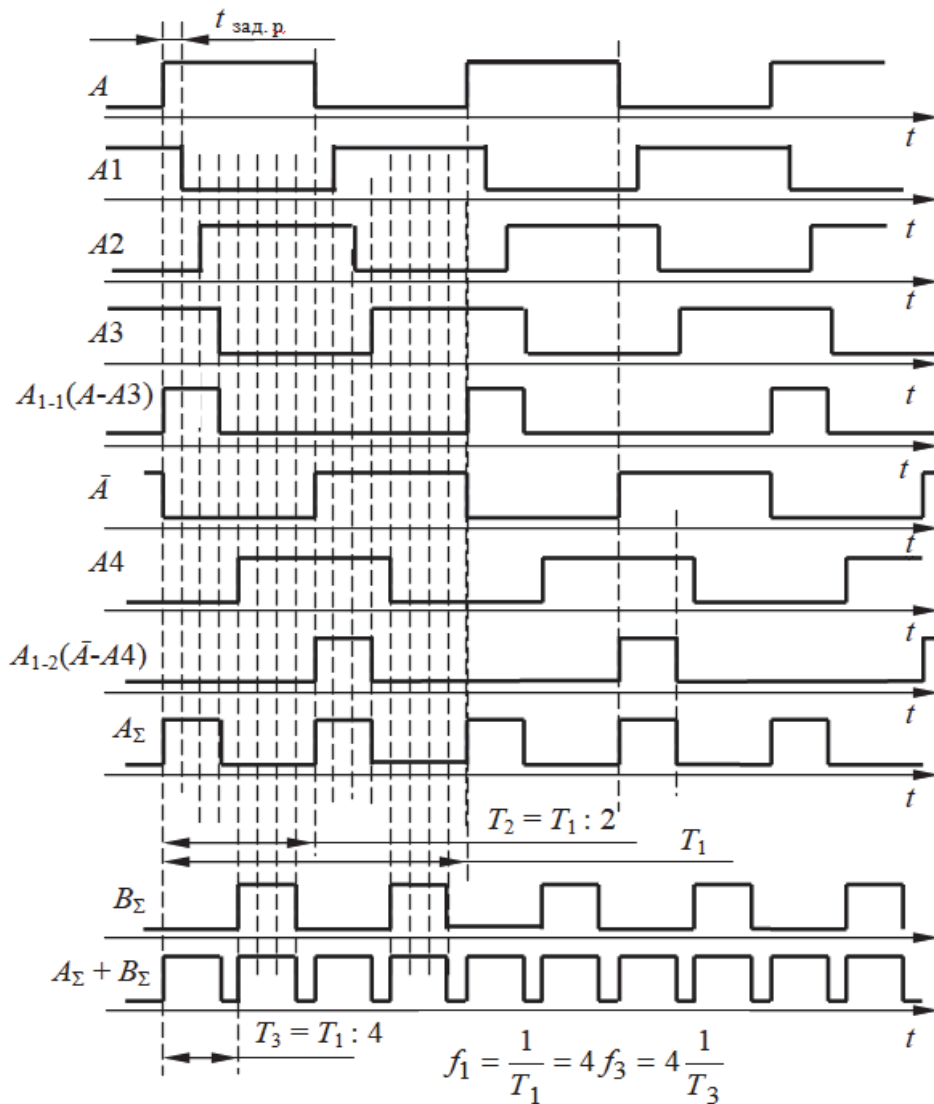


Рис. 10. Эпюры напряжения, характеризующие учетверение частоты следования импульсов

Рассмотрим схему, определяющую направление перемещения, в частности направление перемещения растрового диска (рис. 11). При этом используются две последовательности прямоугольных импульсов, у которых передние фронты как бы меняются местами при различном направлении перемещения.

На эпюрах напряжения эти фронты выделены жирными линиями. Каждая из последовательностей либо дифференцируется для получения коротких импульсов в моменты наличия фронтов, либо в эти моменты формируется короткий импульс, например одновибратором.

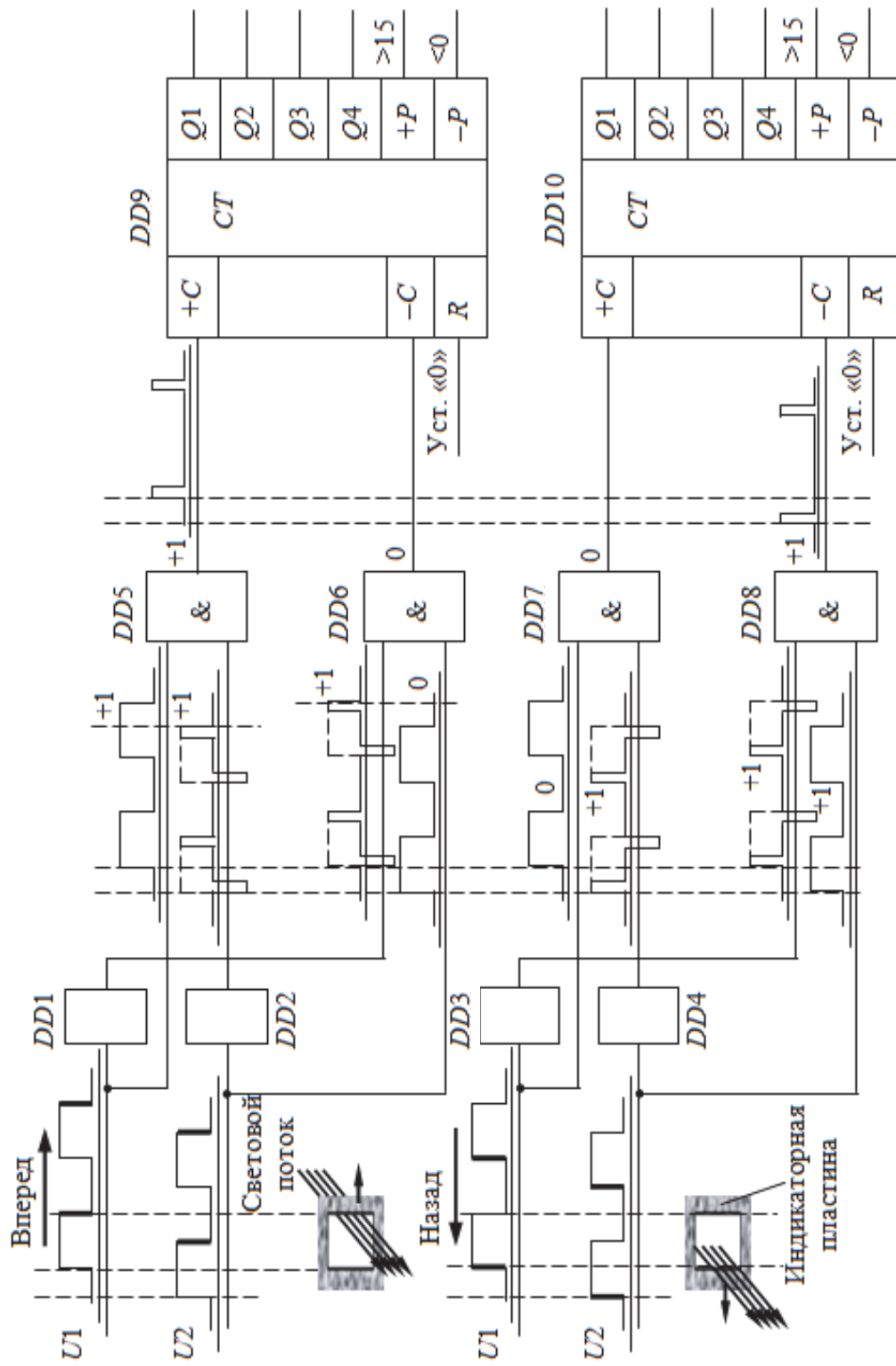


Рис. 11. Схема определения направления перемещения

Затем с помощью конъюнкторов  $DD5$  и  $DD6$  осуществляется выбор нужной последовательности коротких импульсов, обозначающих передние фронты. Например, для условно выбранного направления «Вперед» используется последовательность импульсов  $U1$  и продифференцированная последовательность  $U2$ . Тогда на вход «+С» счетчика  $DD9$  поступают импульсы, соответствующие перемещению, принятому за направление «Вперед», а именно фронты напряжения  $U1$ , поскольку они опережают передние фронты напряжения  $U2$  на  $90^\circ$ . На вход «-С» этого счетчика импульсы не поступают, так как конъюнктор  $DD6$  оказывается запертым напряжением  $U2$  (рис. 11, верхняя схема). И наоборот, при перемещении «Назад» оказывается запертым конъюнктор  $DD7$ . Импульсы, обозначающие передние фронты последовательности, проходят через конъюнктор  $DD2$  на вход «-С» счетчика  $DD10$ , вычитая из числа, полученного ранее при измерении перемещения «Вперед», число, соответствующее перемещению «Назад» (рис. 11, нижняя схема).

Значение того или иного перемещения выставляется счетчиком на выходы  $Q0-Q3$  в двоично-десятичной системе счисления. Эту кодовую комбинацию можно подать на световые индикаторы, например на семисегментный индикатор, и получить визуальное отображение перемещения. Полученная с выхода ФПП последовательность импульсов может быть использована для построения цифрового измерителя скорости. В его основу положена цифровая реализация аналитического выражения  $\omega = d\varphi / dt$ , где  $\varphi$  – угловое перемещение, измеряемое преобразователем,  $t$  – время, за которое измеряется это перемещение.

Причем реализация приведенного выражения может быть выполнена двумя способами. Первый состоит в том, что осуществляется подсчет числа импульсов, пропорциональных перемещению  $d\varphi$ , за фиксированный интервал времени  $dt = T_{\text{изм}}$ . Второй заключается в том, что измеряется интервал времени  $dt = T$ , за который от преобразователя поступит некоторое количество импульсов, пропорциональное фиксированному перемещению  $n = d\varphi = \text{const}$ . А так как количество импульсов за один оборот вала ФПП известно, то им определяется число оборотов этого вала. Примерное схемное решение первого способа реализации цифрового измерителя скорости приведен на рис. 12, а.

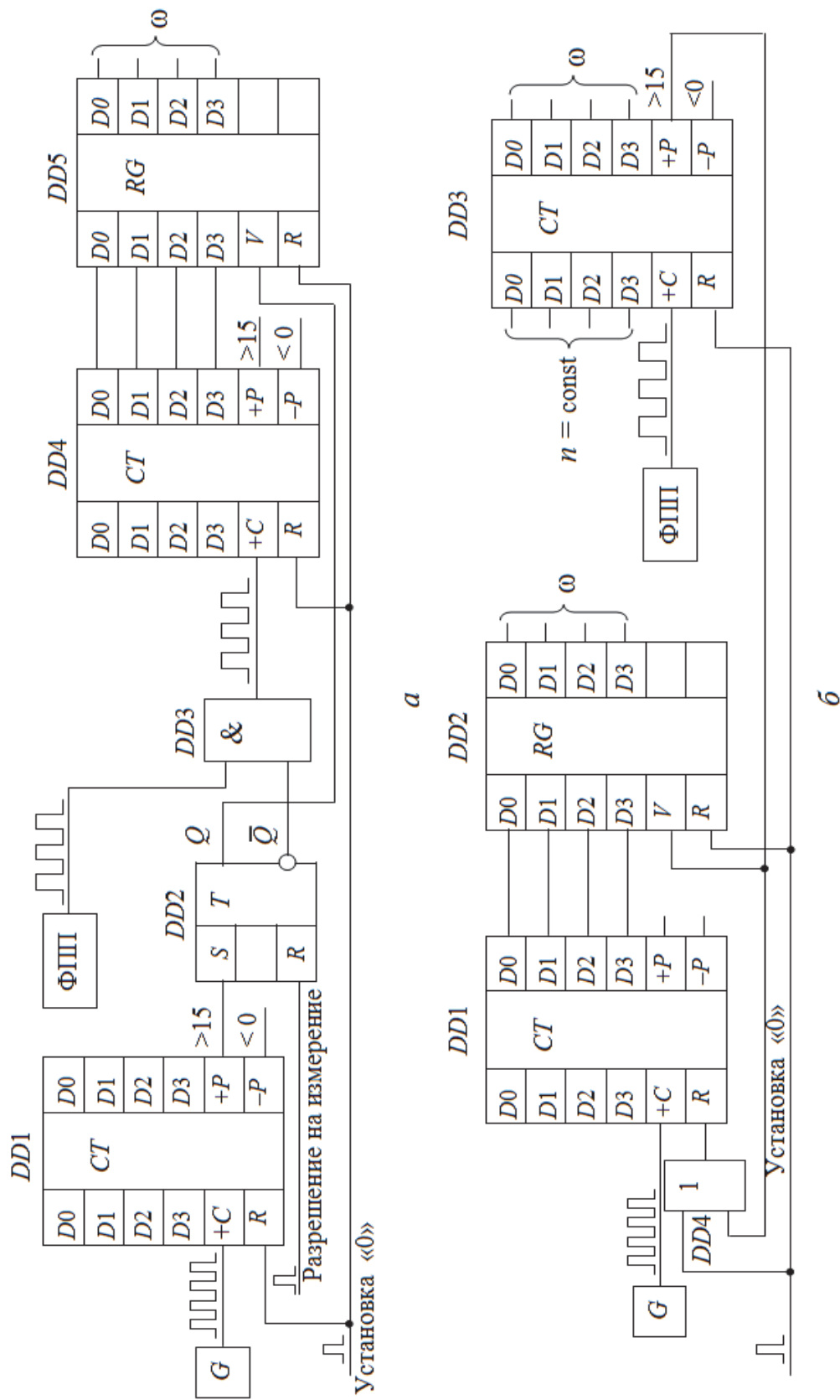


Рис. 12. Схемы цифрового измерителя скорости



Схема состоит из ФПП, генератора эталонной (опорной) частоты  $G$ , счетчика  $DD1$ ,  $RS$ -триггера  $DD2$ , конъюнктора  $DD3$  (2И), измерительного счетчика  $DD4$  и регистра памяти  $RG$  ( $DD5$ ). Начало измерения углового перемещения, осуществляемого ФПП, задается командой «Установка 0», а также командой «Разрешение на измерение». Команда «Установка 0» обнуляет содержимое счетчиков и регистра памяти. Командой «Разрешение на измерение» триггер  $DD2$  устанавливается в состояние, при котором на его инверсном выходе  $\bar{Q}$  имеется логическая единица. Эта логическая единица выставляется на один из входов конъюнктора  $DD3$ , в результате чего разрешается прохождение одной из последовательностей импульсов с выхода ФПП, например  $U1$ , на вход  $+C$  измерительного счетчика  $DD4$ . Одновременно идет заполнение счетчика  $DD1$  импульсами эталонного генератора. После полного его заполнения (на выходах  $Q0-Q3$  счетчика выставляется кодовая комбинация 1111) на выходе  $>15$  появляется логическая единица. Это переводит  $RS$ -триггер  $DD2$  в состояние, при котором на его инверсном выходе появляется логический ноль, запрещающий конъюктору  $DD3$  пропускать импульсы в измерительный счетчик  $DD4$  (окончание измерения). Логическая единица на прямом выходе  $Q$   $RS$ -триггера поступает на вход  $V$  регистра памяти  $RG$  ( $DD5$ ) и переводит его в режим хранения информации. На выходе регистра имеется кодовая комбинация об измеренном перемещении. Поскольку период следования эталонных импульсов известен и делается весьма точным по значению, то заполнение счетчика  $DD1$  по времени определяется его заданной разрядностью, т. е. фиксированным отрезком времени. Количество импульсов  $n$ , подсчитанное измерительным счетчиком  $DD4$ , будет пропорционально скорости –  $\omega = k_{\text{фпп}} n$ . Данный способ имеет достаточно высокую точность измерения при значительном измеряемом количестве импульсов, т. е. при измерении больших скоростей. При измерении малых скоростей на результат измерения накладывается методическая ошибка, заложенная в последовательность импульсов, сформированную растровым диском. Это следует отнести к недостаткам первого способа измерения скорости. Примерное схемное решение второго способа реализации цифрового измерителя скорости дано на рис. 12, б. Схема состоит из ФПП, генератора эталонной (опорной) частоты  $G$ , счетчика  $DD1$ , регистра памяти  $RG - DD2$ , измерительного счетчика  $DD3$  и дизъюнктора  $DD4$  (2И). Установка начального состояния

измерителя скорости осуществляется командой «Установка 0». После этого начинается одновременное заполнение счетчика  $DD1$  импульсами от эталонного генератора  $G$  и счетчика  $DD3$  от ФПП. Причем в счетчик  $DD3$  предварительно может быть записано заранее число  $n = \text{const}$ , определяющее емкость счетчика для измерения перемещения. После того как в счетчик  $DD3$  поступит фиксированное количество импульсов  $n = d\omega = \text{const}$ , измеряющее перемещение, на его выходе  $>15$  появится логическая единица, которая поступит на вход  $R$  счетчика  $DD1$ , обнуляя его, и на вход  $V$  регистра памяти  $DD2$ , переводя его в режим хранения информации. На выходе этого регистра будет кодовая комбинация, соответствующая измеренному перемещению. При разной измеряемой скорости период следования импульсов будет различным, а также переменным будет время наполнения счетчика  $DD1$  от эталонного генератора, у которого импульсы следуют с постоянным периодом. Чем меньше по значению измеряемая скорость, тем за больший промежуток времени осуществляется заполнение измерительного счетчика  $DD3$  заданным количеством импульсов и тем большее количество импульсов от эталонного генератора  $G$  поступит в счетчик  $DD1$ . Таким образом, очевидно, что измеренное перемещение обратно пропорционально количеству импульсов, поступающих в счетчик  $DD1$  и, следовательно, в регистр  $DD2$ , т. е.  $\omega = k_{\text{фпп}} \cdot 1/n$ . Это свойство следует отнести к недостаткам второго способа построения цифрового измерителя скорости.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.
2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).
3. Наведением мышью курсора на иконку ЭУПО и кликанием левой клавишей мыши откройте меню лабораторной работы (см. с. 5).
4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».
5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».

6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд».

7. Изучите устройство ФПП, кликнув надпись «ФПП с перекрытием светового потока (импульсные)». Изучите устройство оптико-механического блока ФПП. Опробуйте его работу, управляя кнопками «Пуск» и «Стоп». В левом нижнем углу находится окно с заданием. Для навигации по тексту служат круглые кнопки со стрелками, расположенные с правой стороны окна.

8. Вернитесь в меню. Откройте окно «ФПП с кодовыми масками». Изучите устройство наведением мышью курсора в виде руки на любой его элемент. Он обозначится трассировкой, а в окне «Описание» появится его описание. Изучите работу устройства, управляя им с помощью расположенных внизу кнопок со стрелками. Рассмотрите устройство при реализации двоичного кода и кода Грея. Для перехода из одного кода в другой слева имеется соответствующая кнопка.

9. Вернитесь в меню. Откройте окно «Схема, определяющая направление перемещения растрового диска». Рассмотрите описание схемы в нижнем окне, появляющемся нажатием кнопки «Текст». Перемещение по тексту выполняется кнопками со стрелками вверх и вниз, расположенными справа от окна. Изучите работу схемы нажатием кнопок «Вперед» или «Назад». Кнопка «Стоп» останавливает воспроизведение. Установка нулевого состояния счетчика выполняется командой RESET.

10. Вернитесь в меню. Откройте окно «Схема удвоения сигнала». Изучите построение устройства и описание его схемы. Ознакомьтесь с работой схемы нажатием кнопок «Пуск» и «Стоп». Изучите принцип образования эпюр напряжения на графиках  $A1-1$ ,  $A1-2$ ,  $A2$  путем наведения на них мышью курсора в виде руки.

11. Вернитесь в меню. Откройте окно «Схема формирования прямоугольного сигнала» и изучите ее работу.

12. Вернитесь в меню. Откройте окно «Схема измерения скорости». Изучите построение двух предлагаемых вариантов схемы. Чтобы перейти от одной схемы к другой, кликните курсором в виде руки на соответствующую кнопку. Изучите работу обеих схем, используя кнопки «Пуск» и «Стоп».

13. При желании, используя кнопку «Меню», можно повторить изучение предлагаемых разделов.

18. Закройте лабораторный стенд, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

## Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Опишите принцип построения схемы определения направления перемещения растрового диска.
3. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

## Контрольные вопросы

1. С какой скоростью движется механизм, например подаватель одноножевой резальной машины, если на выходе преобразователя, измеряющего частоту вращения вала приводного двигателя и дающего 1000 импульсов на один оборот, имеется последовательность импульсов с частотой 40 кГц? Электродвигатель приводит в движение механизм через кинематическую передачу с радиусом приведения  $\rho = 0,0001$  м/рад. Объясните свой ответ.

2. Сколько четырехразрядных счетчиков понадобится для индикации семисегментными элементами значения скорости из п. 1? Составьте схему.

3. Какой принцип положен в распознавание направления следования импульсов, полученных от растрового диска, для определения направления вращения вала электродвигателя?

4. Какие недостатки измерения присущи первому и второму способу построения цифрового измерителя скорости (см. рис. 12)?

5. Определите время измерения перемещения по схеме, представленной на рис. 12, а, если частота  $f$  выходных импульсов эталонного генератора  $G$  равна: а) 5 кГц; б) 1 кГц.

6. На какую частоту должен быть настроен эталонный генератор, если растровый диск позволяет получить на выходе ФПП 3000 или 5000 импульсов за оборот? Какую емкость должны иметь счетчики цифрового измерителя скорости (см. рис. 12)?

## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОННОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

**Цель работы:** изучение устройства, принципа действия и принципиальной электрической схемы электронного выключателя.

### Теоретические сведения

Электронный выключатель (полупроводниковый ключ) выполняет бесконтактное соединение электрических цепей, подавая тем самым напряжение питания на катушки аппаратов, на различные устройства, на обмотки электродвигателей и т. п. Схема одного из таких ключей для переменного тока представлена на рис. 1. Выключатель подает или снимает напряжение питания с обмотки пуска-теля  $KM$  (электромагнита  $YA$ ). Он состоит из двух встречно-параллельно включенных силовых тиристоров  $VS1$  и  $VS2$ . Тиристоры в этой схеме включаются прямым прикладываемым к ним (анод – катод) напряжением питания схемы после замыкания управляющего контакта  $K$ .

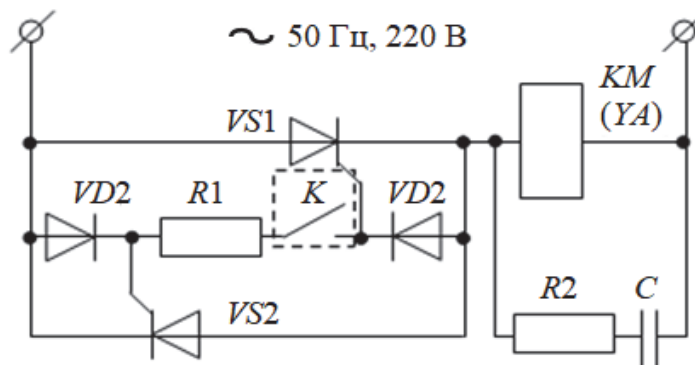


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема электронного выключателя

В свой положительный полупериод напряжение питания прикладывается через диод  $VD1$ , резистор  $R1$ , управляющий контакт  $K$  к управляющему электроду тиристора  $VS1$  и вызывает протекание тока по его переходу «управляющий электрод – катод». В результате

этого тиристор  $VS1$  включается, напряжение прикладывается к обмотке пускателя, что приводит к его включению. В свой отрицательный полупериод напряжение питания прикладывается через диод  $VD2$ , управляющий контакт  $K$ , резистор  $R1$  к управляющему электроду тиристора  $VS2$  и вызывает протекание тока по его переходу «управляющий электрод – катод». Тиристор  $VS2$  включается, напряжение прикладывается к обмотке пускателя (электромагнита), и он остается включенным. Отключение нагрузки электронным ключом выполняется размыканием управляющего контакта  $K$ . При этом к управляющим электродам тиристоров напряжение не прикладывается, и тиристоры при приложении к ним отрицательных полупериодов питающего напряжения закрываются. При отключении реактивной нагрузки (такой нагрузкой являются обмотки электродвигателя, пускателя, электромагнита и вообще аппаратов со сталью) возникают перенапряжения на элементах коммутации (тиристоры  $VS1$  и  $VS2$ ). Для снятия этих перенапряжений параллельно нагрузке, работающей на переменном токе, присоединяется  $R2C$ -цепочка. Схема рабочего стенда представлена на рис. 2.

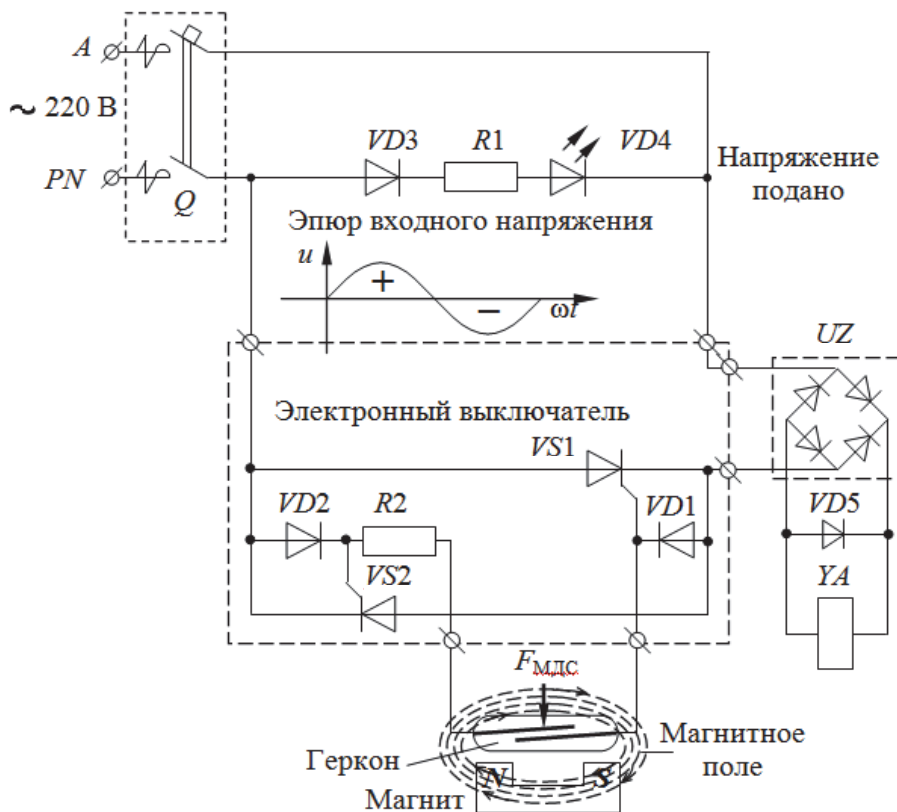



Рис. 2. Схема функционирования электронного выключателя

В рассматриваемом электронном стенде используется модернизированная схема электронного выключателя, в которой в качестве управляющего контакта применен конкретный элемент – геркон (герметизированный контакт)  $SQ$  (рис. 2). В качестве нагрузки электронного выключателя использована обмотка электромагнита  $YA$  электромеханического тормоза, управляющего состоянием (заторможен или расторможен) вала механизма резания одноножевой резальной машины. Обмотка электромагнита  $YA$  питается постоянным током, для получения которого использован диодный двухполупериодный выпрямитель  $UZ$ . В целом работа схемы не отличается от вышеописанной. Для рассеяния электромагнитной энергии, запасенной обмоткой электромагнита во время включения (обтекания током), при отключении электронного выключателя организованы цепи шунтирования (закорачивания) обмотки включенными встречно-параллельными диодами  $VD5$  и двумя диодами в плечах двухполупериодного выпрямителя.


### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.
2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).
3. Наведите мышью курсор на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).
4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».
5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».
6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд», в котором изучите состав стенда и его электрическую принципиальную схему.
7. Кликните курсором иконку «Рука» в нижней правой части стенда и перейдите к анимационной схеме стенда. Откроется окно с необходимым вариантом стенда. При этом цветом обозначается функциональное состояние элементов схемы (тиристоров и диодов). Красный цвет элемента обозначает его выключенное состояние, зеленый цвет – включенное.

8. Следуя подсказкам в появившихся окнах, подайте напряжение 220 В на стенд (индикация 220 В будет зеленого цвета), а затем на схему стенда включением автоматического воздушного выключателя  $Q$ . Световое табло «Напряжение подано» оповестит о выполнении указанных действий зеленым свечением.

9. Приведите в движение объект «Подаватель» со встроенным в него постоянным магнитом, выполнив указание «Подайте команду на движение подавателя вперед». Для этого наведите мышью курсор на иконку «Вперед»  и кликните левой клавишей мыши. Объект начнет двигаться вправо до конечного выключателя  $SQ$  (геркона). В этой позиции геркон под действием магнитного поля магнита замкнет свой контакт (геркон сработает, засветится зеленым светом), что приведет к включению электронного выключателя и работе схемы по управлению электромагнитом электромеханического тормоза.

10. Изучайте функционирование схемы: самым наивнимательнейшим образом следите за переключениями элементов схемы, которые индицируются красным или зеленым цветом; за разнообразными траекториями и их направлениями протекания тока, которые индицируются движущимися красными стрелками; за количеством траекторий; за тем, при какой полувольте питающего напряжения происходит работа схемы.

11. Выполните указание «Подайте команду на движение подавателя назад». Для этого наведите мышью курсор на иконку «Назад»  и кликните левой клавишей мыши. Объект «Подаватель» начнет двигаться влево до крайнего положения. При определенном удалении от геркона воздействие магнитного поля магнита уменьшится и контакт конечного выключателя  $SQ$  (геркона) разомкнется (геркон сработает, засветится красным светом). В этом состоянии электронный выключатель начнет включаться (будут закрываться тиристоры).

12. Проследите процесс и характер (количество красных стрелок, индицирующих движение тока) рассеяния запасенной обмоткой электромагнита электромагнитной энергии, а также за траекторией движения тока (по каким элементам протекает ток). После окончания процесса рассеяния энергии электромагнит электромеханического тормоза отключится и на вал механизма резания одноножевой резальной машины наложится механический тормоз.



Вал прекратит вращение. Процесс изучения работы электронного выключателя закончен.

13. Указанным выше приемом управления мышью отключите автоматический воздушный выключатель  $Q$ , световое табло погаснет, в нем появится надпись «Напряжение отключено».

14. Указанным выше приемом управления мышью курсора отключите напряжение со стенда, индикация 220 В погаснет.

15. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Опишите основной принцип работы электронного выключателя.
3. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

### Контрольные вопросы

1. При какой полярности входного напряжения переменного тока (полуволне напряжения) включится тиристор  $V S 1$ ?
2. Опишите путь прохождения тока, обеспечивающего рассеяние запасенной обмоткой электромагнита электромагнитной энергии при его работе.
3. Назовите условия, при которых выключается электронный выключатель.
4. С какой целью в цепь управляющего контакта  $K$  введено сопротивление  $R 2$  (см. рис. 1)?
5. Каким образом происходит замыкание замыкающего контакта геркона?
6. Нарисуйте форму напряжения, питающего обмотку электромагнита.

## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ПОДАЧИ ЛИСТОВ

**Цель работы:** изучение устройства контроля подачи листов и его электрической принципиальной схемы.

### Теоретические сведения

В листовых печатных машинах выполняются определенные контрольные операции движения листов. К ним относятся: контроль неподдачи листа, подачи его с перекосом, подачи двух или более листов. При возникновении этих неполадок необходимо отключить натиск, чтобы не произошли перенос краски на печатный цилиндр или поломка механизмов. Одновременно с натиском отключаются подача краски и самонаклад.

Контроль неподдачи листа или его подачи с перекосом выполняется с использованием механических щупов *XP1* и *XP2* (рис. 1). Щуп представляет собой текстолитовый корпус 4, внутри которого перемещается латунный стержень 3. Острие щупа циклическим качательным движением подводится системой рычагов 10–13 и стальной пластиной 9 в соприкосновение с местом подачи листа 2 на накладном столе 1 печатной машины. Упругость перемещения стержня обеспечивается пружиной 5.

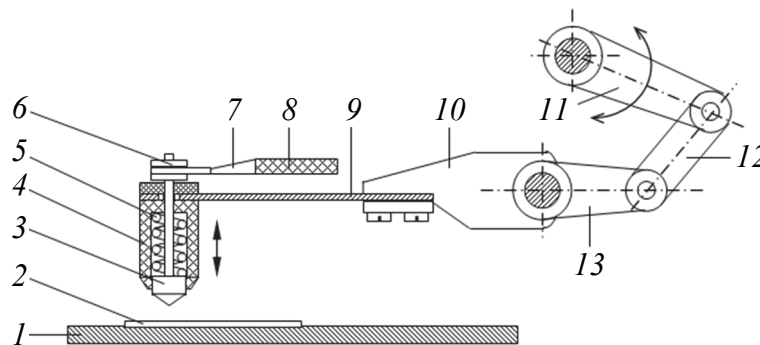


Рис. 1. Конструкция электромеханического щупа:

1 – накладной стол; 2 – лист бумаги; 3 – латунный стержень; 4 – корпус щупа;  
5 – пружина; 6 – клеммный контакт; 7 – наконечник провода;  
8 – электрический провод; 9 – стальная пластина; 10–13 – система рычагов

В момент соприкосновения с металлическим накладным столом стержень щупа в случае отсутствия листа или его перекоса замыкает электрическую цепь, напряжение которой подводится к стержню электрическим проводом 8 с наконечником 7 к клеммному контакту 6. Контроль одновременной подачи двух и более листов выполняется фотошупом. Фотошуп представляет собой сочетание оптико-механического устройства (рис. 2) и электронной схемы управления (рис. 3). Оптико-механическое устройство непосредственно фиксирует прохождение двух или нескольких листов путем сравнения интенсивности светового излучения, создаваемого осветителем 7 (EL), формируемого системой линз 3 и проходящего как через контрольный лист 4, расположенный на основании 6, так и через два или несколько листов 2, поступающих в печатную машину по накладному столу 1. Это сопоставление выполняется фоторезисторами 5 RL1 и RL2 (рис. 2), включенными в плечи измерительного моста (рис. 3).

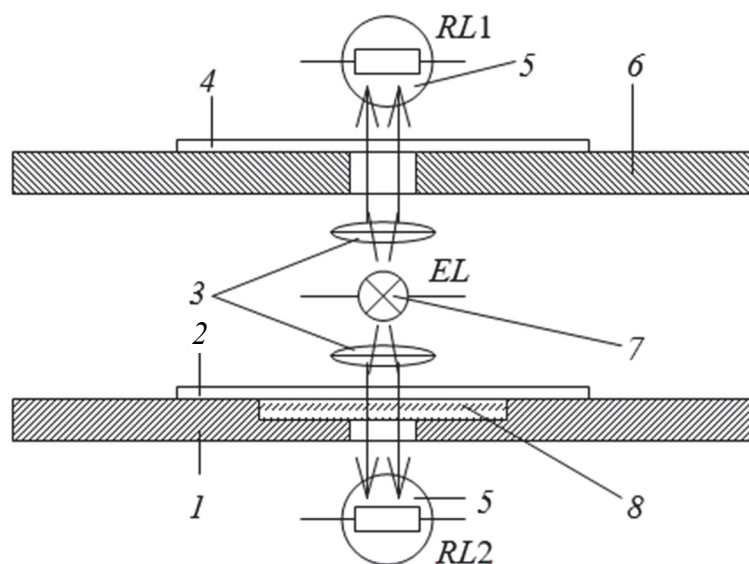


Рис. 2. Схема оптико-механического устройства контроля подачи листов:

- 1 – накладной стол; 2 – лист, подаваемый в печатную машину;
- 3 – линзы; 4 – контрольный лист, 5 – фоторезистор;
- 6 – основание для контрольного листа; 7 – осветитель;
- 8 – предметное стекло

При отсутствии листа щуп, к которому присоединен электрический провод, касается заземленной металлической поверхности

накладного стола и тем самым подает положительный потенциал  $+L$  источника питания  $UZ1$  на схему усиления сигнала, поступающего от циклового выключателя  $SQ1$  (бесконтактный выключатель типа БВК), осуществляющего указанный контроль только в определенной части цикла. Использование двух щупов позволяет проконтролировать наличие листа и его равнение передними и боковыми упорами. Выключатель  $SA3$  позволяет проводить проверку других участков схемы без сигналов, поступающих от щупов. В той части цикла, где необходимо проконтролировать качество подачи листа, в прорезь выключателя входит диамагнитная пластина (флажок), расположенная на валу привода машины. Это приводит к появлению на выходе выключателя (точка  $a$ ) положительного потенциала  $+L$  источника питания  $UZ1$ . Использование этого потенциала для управления реле  $K3$  выполняется транзисторными усилителями  $VT4$ ,  $VT5$ . При замкнутых состояниях выключателя  $SA3.2$ , щупов  $XP1$  и  $XP2$  и отсутствии сигнала от циклового выключателя (отсутствие металлического флажка в прорези выключателя  $SQ1$ ) реле  $K3$  отключается. Действительно, на базу транзистора  $VT4$  через резистор  $R15$  и стабилитрон  $VD4$  поступает напряжение смещения  $-L$ , отрицательное по отношению к эмиттеру этого транзистора, вследствие чего он отпирается. Это приводит к появлению на базе транзистора  $VT5$  положительного потенциала  $+L$ , который запирает транзистор  $VT5$ , и реле  $K3$  отключается. Появление флажка в определенной части цикла подачи листа в прорези выключателя  $SQ1$  приводит к созданию на его выходе положительного потенциала  $+L$ , который прикладывается к аноду стабилитрона  $VD4$ . Стабилитрон  $VD4$  запирается, ток базы транзистора  $VT4$  становится равным нулю, и он также запирается. В результате этого на базу транзистора  $VT5$  через резистор  $R16$  и стабилитрон  $VD5$  поступает напряжение смещения  $-L$ , отрицательное по отношению к эмиттеру этого транзистора, и он отпирается, что приводит к включению реле  $K3$ . Включившись, реле  $K3$  контактом  $K3.1$  становится на самопитание, контактом  $K3.2$  включает электромагнит  $YA3$  остановки самонаклада, а контактом  $K3.3$  обесточивает реле  $K1$ . Это приводит к отключению электромагнита  $YA1$  включения натиска и к отключению электромагнита  $YA2$  аппарата подачи краски.

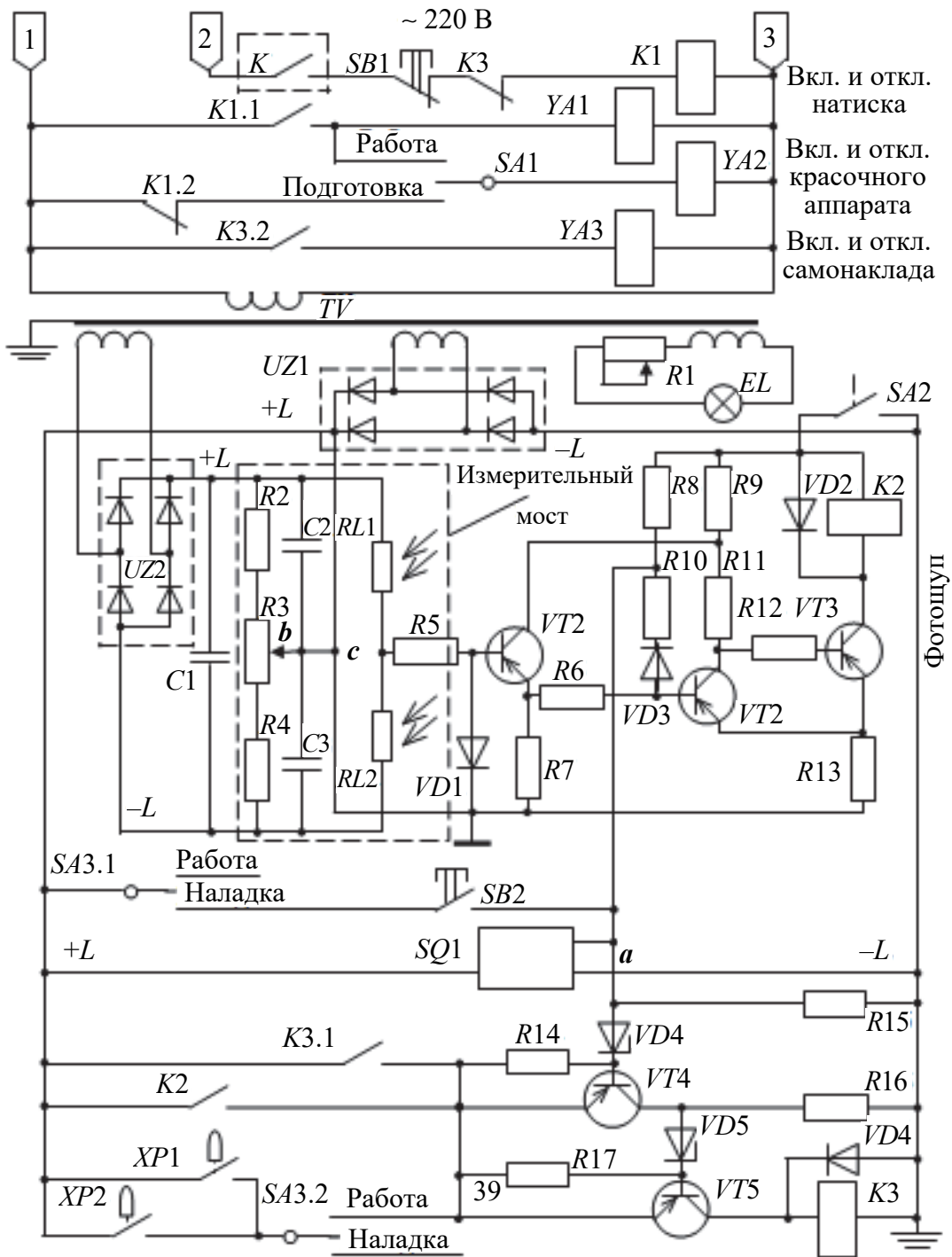


Рис. 3. Схема контроля подачи бумаги

Кроме этого, включенное реле  $K3$  еще одним размыкающим контактом в основной схеме управления печатной машиной обесточивает реле времени, которое с выдержкой времени при отключении,

необходимой для выхода на приемный стол последнего листа бумаги, находящегося в машине, переведет машину на заправочную скорость. Переключатель  $SA1$  служит для управления электромагнитом  $YA2$  аппарата подачи краски. При подготовке машины к работе этот переключатель ставят в положение «Подготовка», и тем самым включается электромагнит  $YA2$ . В результате этого угол качания валика, передающего краску с дукторного цилиндра на раскатные валики, увеличивается, и на накатных валиках начинает накапливаться краска. При включении натиска (замыкание контакта  $K$  из основной схемы управления машиной и включение реле  $K1$ ) или при постановке переключателя  $SA1$  в положение «Работа» электромагнит  $YA2$  отключается.

Контроль одновременной подачи двух и более листов выполняется фотошупом. Он состоит из индивидуального источника питания фоторезисторов  $RL1$  и  $RL2$ , осветителя  $EL$ , усилителя на транзисторах  $VT1$ – $VT3$  и исполнительного реле  $K2$ . Осветитель  $EL$  питается от отдельной обмотки трансформатора  $TV$ , и ток его накала регулируется резистором  $R1$ . Выключатель  $SA3$  позволяет отключить реле  $K2$  на время отладки других механизмов машины. Цикловой выключатель запрещает фотошупу управлять механизмами до завершения операций по выравниванию листа. Этот запрет достигается тем, что при отсутствии флажка в прорези выключателя отрицательный потенциал его выхода (точка  $a$ ) поступает на катод диода  $VD3$ , благодаря чему открывается транзистор  $VT2$ . В результате на базе транзистора  $VT3$  присутствует положительный потенциал  $+L$  от источника  $UZ1$  (он заперт) и исполнительное реле  $K2$  отключено. Индивидуальный источник питания фоторезисторов  $RL1$  и  $RL2$  представляет собой диодный мост двухполупериодного выпрямления переменного напряжения, форма которого сглаживается конденсаторами  $C1$ – $C3$ . Фоторезисторы включены по мостовой измерительной схеме. Два плеча этого моста составлены из последовательно включенных фоторезисторов, два других плеча – это делитель напряжения на резисторах  $R2$ ,  $R3$ ,  $R4$ . Настройка равновесия моста, вызванная сменой качества бумаги или изменением режимов работы схемы, выполняется резистором  $R3$  (точка  $b$ ). Фоторезисторы и осветитель монтируются на накладном столе (рис. 2). Эталонный резистор  $RL1$  и осветитель располагаются над накладным столом на расстоянии порядка 15 см от передних упоров,

измерительный фоторезистор  $RL2$  – под стеклянной пластиной, вмонтированной в накладной стол. Между эталонным фоторезистором и осветителем укладывается образец из используемой партии бумаги. Между измерительным фоторезистором и осветителем по накладному столу выполняется проводка листов на печать. В работу фотошуп включается замыканием контакта выключателя  $SA2$ . Если в прорези выключателя  $SQ1$  отсутствует флажок, то диод  $VD3$  отпирается и по цепи  $R7 - R6 - VD3 - R10 - R8$  протекает ток. Потенциал базы транзистора  $VT2$  становится ниже потенциала его эмиттера, что приводит к его отпираанию. Падение напряжения на участке эмиттер-коллектор открытого транзистора  $VT2$  надежно запирает транзистор  $VT3$ , и реле  $K2$  отключается. Появление флажка в прорези выключателя  $SQ1$  подает положительный потенциал с его выхода на катод диода  $VD3$ , и ток диода становится равным нулю. При закрытом транзисторе  $VT1$ , который был установлен в это состояние балансировкой измерительной схемы на фоторезисторах, ток в сопротивлениях  $R7, R6, R10$  равен нулю, и транзистор запирается. Этим самым снимается запрет на управление реле  $K2$  цикловым выключателем, и предоставляется управление транзистором  $VT1$ . Перед работой с данной партией бумаги проводят настройку фотошупа. Для этого закладывают на соответствующие места по одному листу бумаги, переключатель  $SA3.1$  ставят в положение «Наладка», нажимают на кнопку  $SB2$  и регулировкой резистора  $R3$  изменяют потенциал точки  $b$ , добиваясь надежного открытого состояния транзистора  $VT1$ . Предполагается, что имеется равная освещенность листов и примерно одинаковое сопротивление фоторезисторов. Падение напряжения на сопротивлении резистора  $R7$  в коллекторной цепи транзистора  $VT1$  приводит к открытому состоянию транзистора  $VT2$  и запертому состоянию транзистора  $VT3$ . Реле  $K2$  отключено. Освещенность сдвоенного листа при появлении его над измерительным фоторезистором  $RL2$  уменьшается, сопротивление фоторезистора увеличивается, что приводит к нарушению равновесия моста. Потенциал точки  $c$  будет выше потенциала точки  $b$ . Транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  запираются, транзистор  $VT3$  открывается, и включается реле  $K2$ . Диод  $VD1$  ограничивает уровень положительного потенциала на базе транзистора  $VT1$ . Контакт  $K2$  этого включенного реле подает напряжение питания на усилительный каскад  $VT4 - VT5$ , что приводит к включению реле  $K3$ , поскольку

флажок находится в прорези выключателя SQ1. Включенное реле K3 выполняет свои ранее описанные функции, выключая натиск и прекращая подачу краски. После выключения циклового выключателя SQ1 (пластина вышла из прорези) и отключения реле K3 включаются реле K1 и электромагнит натиска YA1, а электромагнит YA3 самонаклада отключается. Если в следующем цикле подача листа произойдет без нарушений, то печатание тиража продолжится.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.

2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).

3. Наведением мышью курсора на иконку ЭУПО и кликанием левой клавишей мыши откройте меню лабораторной работы (см. с. 5).

4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в открывшемся окне, наведя мышью курсор на иконку «Теоретические сведения» и кликнув левой клавишей мыши.

5. Наведением мышью курсора на иконку «Порядок выполнения работы» и кликанием левой клавишей мыши откройте окно с текстом порядка выполнения работы и внимательно ознакомьтесь с ним.

6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд».

7. Наведением мышью курсора на надпись «Переход к устройству подачи листов» и кликанием левой клавишей мыши откройте окно для изучения данного устройства. Для этого наведите мышью курсор на любое расположенное в нижней части экрана информационное окно с названием узла устройства, и трассировка обозначит его месторасположение.

8. При наведении мышью курсора на надпись «Электромеханический щуп» и кликании левой клавишей мыши откроется окно «Конструкция электромеханического щупа». Изучите его устройство наведением мышью курсора на расположенные справа надписи элементов, из которых состоит щуп, и трассировка обозначит их месторасположение.

9. Опробуйте работу щупа, управляя кнопкой «Пуск» наведением на нее мышью курсора и кликанием левой клавишей мыши.



Проследите за движением листа бумаги, щупом, контролирующим его наличие, и формированием выходного импульса на диаграмме справа при наличии листа и при его отсутствии. Для повторения работы щупа следует еще раз кликнуть кнопку «Пуск».

10. Вернитесь в предыдущее окно наведением мышью курсора на иконку руки в левой нижней части окна и кликанием левой клавишей мыши.

11. Ознакомьтесь с конструкцией оптико-механического устройства контроля подачи листов. Для этого наведите мышью курсор на иконку «Фотощуп» и кликните левой клавишей мыши. После изучения конструкции вернитесь в предыдущее окно наведением мышью курсора на иконку руки в левой нижней части окна и кликанием левой клавишей мыши.

12. Наведите мышью курсор на надпись «Работа устройства с появлением листа, движущегося с перекосом» и кликните левой клавишей мыши. Откроется окно, в котором работа устройства управляется кнопками «Пуск» и «Стоп». Проследите за работой элементов устройства при перемещении листа, за появлением окон с директивами о состоянии устройства. Для повторения работы используйте кнопки «Пуск» и «Стоп».

13. Вернитесь в предыдущее окно наведением мышью курсора на иконку руки в левой нижней части окна и кликанием левой клавишей мыши.

14. Наведите мышью курсор на надпись «Работа устройства с появлением подачи двойного листа» и кликните левой клавишей мыши. Откроется окно для работы в нем. Используя кнопки «Пуск» и «Стоп», проследите за работой элементов устройства при перемещении листа, за появлением окон с директивами о состоянии устройства. Для повторения работы используйте кнопки «Пуск» и «Стоп».

15. Вернитесь в окно с надписью «Переход к электронной схеме». Для этого наведите мышью курсор на иконку руки в левой нижней части окна и кликните левой клавишей мыши. Прделайте это еще раз.

16. Кликните левой клавишей мыши курсором по надписи «Переход к электронной схеме». Откроется окно для работы с принципиальной электрической схемой устройства контроля перемещения листов бумаги. Визуально ознакомьтесь с ее содержанием.

17. Подайте напряжение питания на схему наведением мышью курсора на надпись «220 В» и кликанием левой клавишей мыши.

Схема начнет обрабатывать заложенный в нее алгоритм контроля подачи листов. Следите за переключениями в схеме, сопоставляйте мысленно ее работу с описанием, изложенным в методическом пособии.

18. После изучения работы схемы отключите напряжение питания наведением мышью курсора на надпись «220 В» и кликанием левой клавишей мыши.

19. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Напишите, какие электронные элементы использовались при построении принципиальной электрической схемы контроля перемещения листов и для каких целей.
3. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

### Контрольные вопросы

1. Для каких целей применяется электромеханический щуп?
2. Объясните работу фотощупа в режиме «Наладка».
3. Какую функцию выполняет бесконтактный выключатель типа БВК?
4. Для чего параллельно катушке реле  $K2$  включен диод  $VD2$ ? Объясните, как выполняется эта функция.
5. С какой целью в цепь питания накала лампы  $EL$  включен резистор  $R1$  переменного сопротивления?
6. Как и когда выполняется балансировка измерительного моста  $R2-R3-R4-RL1-RL2$ ?
7. Объясните конструкцию оптико-механического устройства контроля подачи листов.
8. Объясните назначение конденсатора  $C1$  и поясните графиками его функцию.
9. Какие переключения схемы произойдут при нажатии кнопки  $SB2$  (рис. 3)?
10. Будут ли выполнять свои функции электромеханические щупы  $XP1$  и  $XP2$  при отсутствии металлического флажка в прорези бесконтактного выключателя  $SQ$  типа БВК? Объясните почему.

## ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ НАГРЕВА ОБЪЕКТА

**Цель работы:** изучение общей схемы и схемы электронного управления температурой нагрева объекта.

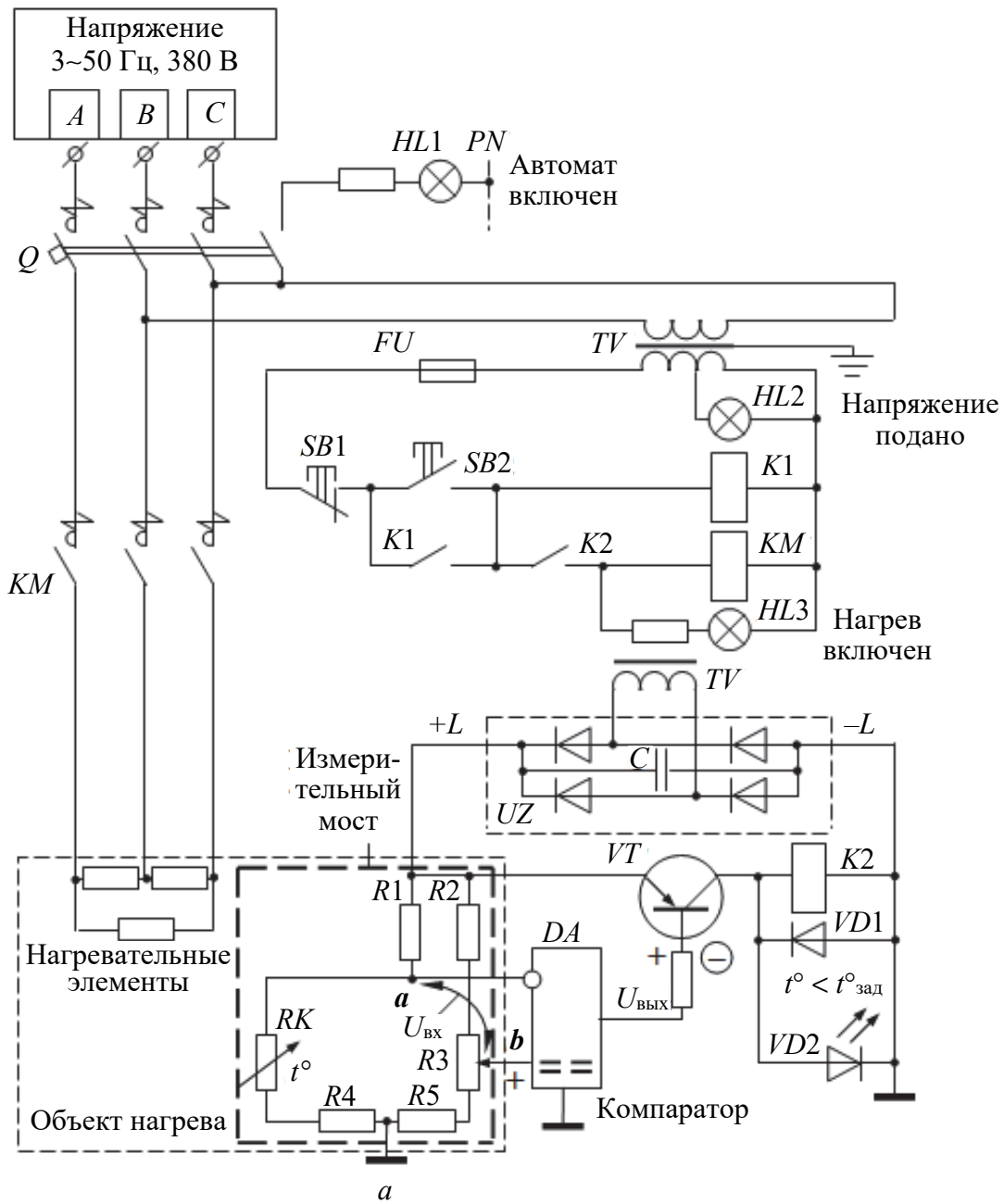
### Теоретические сведения

Многие технологические процессы полиграфического производства выполняются при нагреве: сушка запечатанного оттиска в печатных машинах, ламинирование, нагрев клеевых растворов, термостатирование красочного аппарата, термозакрепление изображения на оттиске и т. п. Измерение контролируемой температуры производится различными элементами, начиная от диодов и транзисторов (с использованием зависимости их параметров от температуры), терморезисторов и заканчивая термопарами. Для дальнейшего использования этой информации при регулировании температуры применяются различные схемы и регуляторы, выпускаемые промышленностью. Однако для конкретного технологического процесса нагрева целесообразно проектировать и производить оригинальные схемы. В основной массе датчиков температуры используются платиновые терморезисторы, имеющие линейную зависимость сопротивления от температуры, которая описывается эмпирической формулой с точно определенными коэффициентами. Сама формула и значения коэффициентов приводятся в документации на датчик. Это позволяет вводить их в программу расчета температуры и получать результаты измерения с высокой точностью.

Платиновые терморезисторы выпускаются с номиналами 100 и 1000 Ом при температуре окружающей среды 0°C, точность измерения температуры датчиком составляет  $\pm(0,2-0,7^\circ\text{C})$ , диапазон измеряемых температур лежит в пределах от  $-200$  до  $+260^\circ\text{C}$ , чувствительность терморезистора от 0,3 до 8,7 Ом/°C, время ответа на измерение от 1 до 20 с. Датчики температуры могут иметь линейный или релейный выходной сигнал. В первом случае на выходе датчика имеется линейно изменяющееся в зависимости от температуры напряжение, которое может быть измерено показывающими

приборами для визуального ее контроля. Во втором случае датчик по превышению определенной заранее заданной температуры выдает на выходе сигнал высокого уровня, который используется для управления электрооборудованием, осуществляющим нагрев. В качестве примера рассмотрим схему управления нагревом тигля тигельной печатной машины (рис. 1). Нагрев тигля осуществляется трубчатými электронагревателями (ТЭНами). Включением автоматического воздушного выключателя  $Q$  на схему нагрева подается напряжение питания, загорается сигнальная лампочка  $HL1$  «Автомат включен» и лампочка  $HL2$  «Напряжение подано». Измерительный терморезистор  $RK$  размещен в зоне контроля температуры объекта. Измерение изменения сопротивления терморезистора в функции температуры осуществляется измерительным мостом, в одном плече которого включены терморезистор  $RK$ , резисторы  $R1$  и  $R4$ , а во втором плече находятся резисторы  $R2$ ,  $R3$  и  $R5$ . Регулируемый резистор  $R3$  определяет напряжение  $U_{\text{зад}}$ , при котором произойдет балансировка измерительного моста, т. е. значение текущей температуры нагрева достигнет задаваемой температуры. Напряжение разбалансировки измерительного моста, которое имеется при недостаточной температуре нагрева, снимается с его диагонали (точки  $a$  и  $b$ ) и подается на вход компаратора  $DD$ . При наличии напряжения разбалансировки на выходе компаратора имеется напряжение низкого уровня  $U_{\text{вых}} \ll 0$ , которое приводит к включению транзистора  $VT$ , а следовательно, к включению реле  $K2$ . Включенное состояние реле  $K2$  индицируется светящимся светодиодом  $VD2$  – « $t^\circ < t^\circ_{\text{зад}}$ ». При достижении состояния балансировки измерительного моста на выходе компаратора появится напряжение высокого уровня  $U_{\text{вых}} \gg 0$  и реле  $K2$  отключится.

Рассмотрим работу схемы в процессе регулирования температуры. Нажатием кнопки  $SB2$  напряжение питания с вторичной обмотки трансформатора  $TV$  схемы управления поступает на катушку реле  $K1$ , оно включается, становится на самопитание контактом  $K1$ . Если температура нагреваемого объекта меньше заданной, то измерительный мост разбалансирован и реле  $K2$  включено, а его замыкающий контакт  $K2$  замкнул цепь питания катушки магнитного пускателя  $KM$ . Таким образом, при включении реле  $K1$  включится пускатель  $KM$ , который своими силовыми контактами  $KM$  подает трехфазное напряжение на ТЭНы, загорается сигнальная лампочка  $HL3$  «Нагрев включен».



Эпюры напряжения на выходе компаратора,  
характеризующие процесс включения нагрева

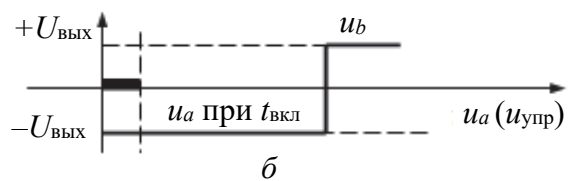


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема нагрева объекта

Начинается процесс нагрева. По мере возрастания температуры в результате нагрева увеличение сопротивления терморезистора  $RK$  постепенно приводит измерительный мост к сбалансированному состоянию. В этот момент реле  $K2$  отключается и отключает пускатель  $KM$ .

Гаснет лампочка  $HL3$  «Нагрев включен» и светится светодиод  $VD2$  – « $t^\circ < t^\circ_{зад}$ ». Нагрев объекта прекращается. По мере остывания объекта измерительный мост постепенно разбалансируется, что приведет к включению реле  $K2$ , которое своим замыкающим контактом включит пускатель  $KM$ , а он своими силовыми контактами подаст напряжение питания на ТЭНы, и нагрев объекта возобновится. Так будет продолжаться процесс нагрева в области заданной температуры, пока не возникнет необходимость отключения объекта нагрева от напряжения питания. Для этого следует нажать кнопку  $SB1$ . Ее размыкающий контакт разомкнет цепь питания реле  $K1$ , которое снимется с самопитания (контакт  $K1$ ), что приведет к отключению пускателя  $KM$  и снятию напряжения с ТЭНов. Точность регулирования температуры определяется точностью измерения терморезистором действительной температуры объекта, использованием прецизионных резисторов для измерительного моста, точностью его настройки и быстродействием схемы управления нагревом (временем включения/отключения реле  $K2$  и пускателя  $KM$ ). Процесс регулирования температуры основан на сравнении напряжения, пропорционального изменению температуры, с напряжением, пропорциональным заданному значению температуры нагрева объекта. Для выполнения этой процедуры применяется компаратор, основным элементом которого является операционный усилитель (ОУ). Функция сравнения нескольких переменных относится к основным действиям ОУ. Специализированные устройства на основе ОУ, например компараторы (рис. 2), обладают большим быстродействием благодаря тому, что предусматриваются меры, обеспечивающие при достаточно больших входных сигналах линейный режим работы входного каскада. Выходной сигнал компаратора изменяется в пределах, достаточных для непосредственного управления цифровыми (логическими) интегральными схемами. Компаратор не предназначен для линейного режима работы с отрицательной обратной связью, поэтому частотная коррекция работы компаратора отсутствует. Компаратор является

простейшим аналого-цифровым преобразователем: на его выходе устанавливается напряжение логического уровня 0 или 1 в зависимости от того, превышает или нет одно входное напряжение значение другого входного напряжения. Как правило, одно из напряжений имеет постоянное значение, определяющее уровень входного изменяющегося напряжения, при котором на выходе компаратора появится напряжение. Оно называется опорным. Реакция компаратора на превышение одного входного напряжения над другим называется амплитудной дискриминацией или детектированием уровня. Быстродействие компаратора характеризуется временем восстановления – временем от момента достижения входными напряжениями определенного равенства их уровней до момента появления выходного напряжения.

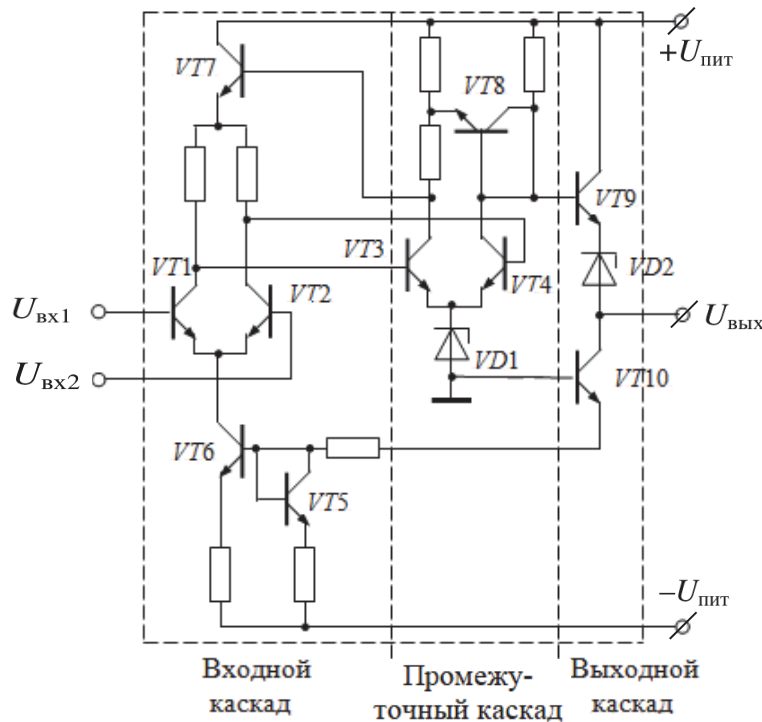


Рис. 2. Схема компаратора (микросхема 510CA2)

Разница между амплитудами входных напряжений при достижении ими определенного равенства уровней называется напряжением восстановления и для компараторов находится на уровне 5 мВ. Компараторы на основе обычных ОУ не могут иметь время

восстановления меньше 1 мкс, что объясняется временем рассасывания накопленного заряда в базах транзисторов, входящих в состав ОУ. Специализированные интегральные компараторы имеют время восстановления менее 100 нс. Сравнение входных напряжений с высокой точностью (десятки микровольт) выполняется в условиях минимальной потребляемой компаратором мощности, т. е. входы компаратора имеют высокое сопротивление.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.

2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).

3. Наведением мышью курсора на иконку ЭУПО и кликанием левой клавишей мыши откройте меню лабораторной работы (см. с. 5).

4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».

5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».

6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд», в котором изучите состав стенда и его электрическую принципиальную схему.

7. Перейдите к анимационной схеме лабораторного стенда, кликнув курсором в виде руки по изображению электрической принципиальной схемы.

8. Последовательно следуйте директивам, расположенным в окне справа. Включите напряжение питания и автоматический воздушный выключатель  $Q$ . После его включения загорится лампочка  $HL1$  «Автомат включен», а за ней – лампочка  $HL2$  «Напряжение подано». Засветится светодиод  $VD2$  – « $t^\circ < t^\circ_{зад}$ », показывающий технологическое состояние объекта.

9. Резистором  $R3$  установите значение температуры, до которой необходимо нагреть объект. Для этого кликните курсором на иконку соответствующего значения заданной температуры  $80^\circ\text{C}$ .

10. Включите нагрев объекта, кликнув курсором изображение кнопки  $SB2$ . Загорится лампочка  $HL3$  «Нагрев включен». Внимательно проследите за переключениями аппаратов и их элементов в схеме.



11. Запишите текущие значения времени нагрева и температуры нагрева, появляющиеся в окне, при нагреве и остывании объекта.

12. Отключите нагрев объекта, кликнув курсором в виде руки изображение кнопки  $SB1$ . Внимательно проследите за переключениями аппаратов и их элементов в схеме. Подождите, пока объект остынет до температуры окружающей среды.

13. Выполните пункты 9, 10, 11, 12 и 13, задав резистором  $R3$  другие значения температуры нагрева. Сначала  $100^{\circ}\text{C}$ , затем  $120^{\circ}\text{C}$ .

14. Отключите нагрев объекта. Для этого кликните курсором в виде руки изображение кнопки  $SB1$ . Внимательно проследите за переключениями аппаратов и их элементов в схеме.

15. Отключите автоматический воздушный выключатель  $Q$ , а затем напряжение питания. Табло, обозначающее фазы трехфазного напряжения, погаснет.

16. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.

2. Приведите графики зависимости температуры от времени на основании полученных текущих значений времени нагрева и температуры нагрева при выполнении лабораторной работы.

3. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

4. Составьте фрагмент схемы регулирования температуры, в которой была бы световая сигнализация, показывающая, что  $t^{\circ} > t^{\circ}_{\text{зад}}$ . При составлении схемы используйте бесконтактные логические элементы.

### Контрольные вопросы

1. В каком состоянии будет находиться реле  $K2$  при включении вводного автоматического воздушного выключателя  $Q$ ? Объясните почему.

2. Как необходимо изменить сопротивление резистора  $R3$ , чтобы увеличить (уменьшить) температуру нагрева?

3. Объясните, для чего параллельно катушке реле  $K2$  присоединен диод  $VD1$  (см. рис. 1)?

4. Объясните, какую функцию выполняет конденсатор  $C$ ? Как влияет емкость конденсатора  $C$  на выполнение этой функции? Проиллюстрируйте ответ графиками, отражающими выполнение указанной функции.

5. Что произойдет, если при работающей схеме один из резисторов измерительного моста выйдет из строя (например, сгорит)? Объясните почему.

6. Что называется амплитудной дискриминацией или детектированием уровня компаратора?

7. Чем характеризуется быстродействие компаратора?

8. Чем достигается высокое входное сопротивление компаратора?

9. Для каких целей применяется высокое входное и низкое выходное сопротивления компаратора (операционного усилителя)?

10. Объясните, какую функцию выполняет замыкающий контакт  $K1$  реле  $K1$ , включенный параллельно замыкающему контакту кнопки  $SB2$ .

11. Объясните, какую функцию выполняет размыкающий контакт кнопки  $SB1$ . Поясните ответ переключениями аппаратов и их элементов в схеме.

12. Как называется полупроводниковый элемент, обозначенный на схеме рис. 2 как  $VD1$  или  $VD2$ ?

13. Какой тип структуры  $p-n-p$  или  $n-p-n$  транзисторов использован при построении компаратора (рис. 2)?

## ИЗУЧЕНИЕ СХЕМ ДЕЛИТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

**Цель работы:** изучение схемного построения делителей частоты следования импульсов.

### Теоретические сведения

Делитель – это цифровой узел, предназначенный для деления числа входных импульсов или частоты их следования на заданный коэффициент. Особенность делителя состоит в том, что он имеет один выход. Коэффициент деления схемы может быть *постоянным, переменным* или *программируемым*. В основу делителей положены двоичные счетчики. Делители с переменным коэффициентом деления могут быть построены по следующим схемотехническим вариантам:

- с предустановкой исходного состояния, от которого ведется счет до переполнения счетчика;
- с установкой заданного промежуточного состояния, до которого, начиная с нулевого состояния, ведется счет входных импульсов, а затем результат сбрасывается, и процедура счета выполняет новый цикл.

Рассмотрим пример схемного решения делителя по первому варианту (рис. 1).

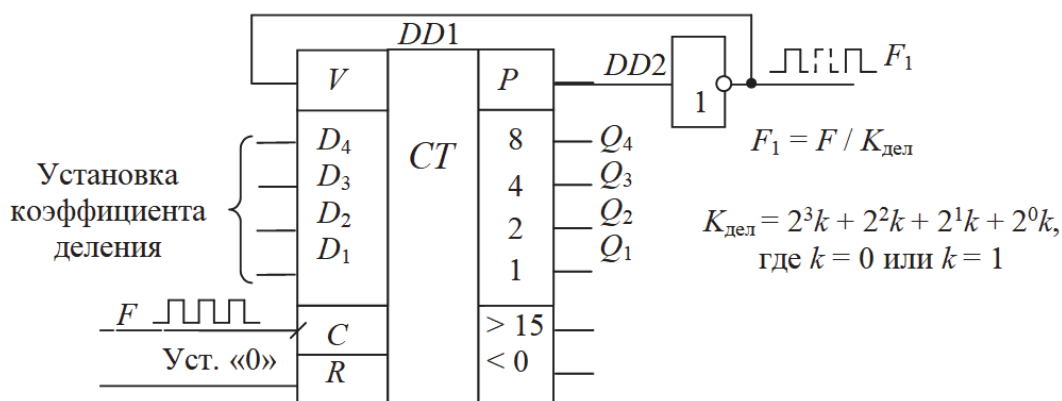


Рис. 1. Делитель частоты по первому варианту

Кодом входных информационных импульсов ( $D_1, D_2, D_3, D_4$ ) задается коэффициент деления, т. е. число состояний счетчика.

Выход сигнала переноса  $P$  осуществляется через инвертор  $DD2$ , соединенный со входом  $V$ . Под воздействием входных импульсов  $F$  счетчик последовательно перебирает свои состояния от исходного, первоначально установленного, до конечного, при котором он заполняется единицами и формирует на выходе сигнал переноса  $P$ . Сигнал переноса поступает на вход  $V$ . По этой команде опять осуществляется запись исходного состояния счетчика, т. е. запись кодовой комбинации, выставленной на информационных входах. В дальнейшем цикл деления входной частоты импульсов повторяется и на выходе имеем частоту  $F_1 = F / K_{\text{дел}}$ . Рассмотрим схемотехническое решение второго варианта счетчика (рис. 2).

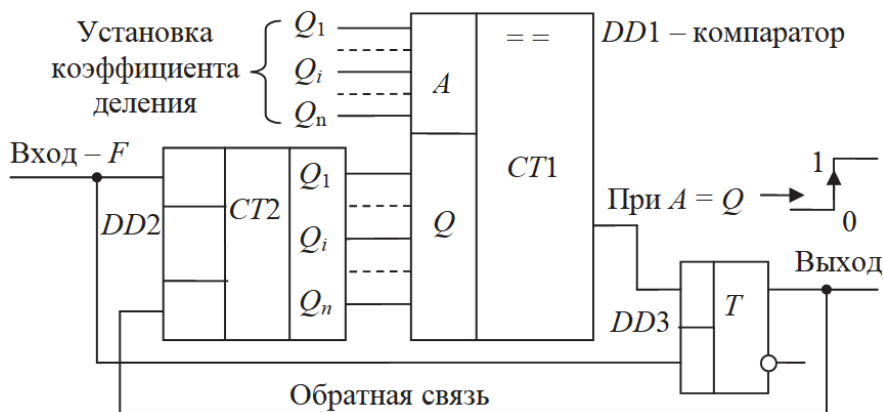


Рис. 2. Делитель частоты по второму варианту

В схемотехническом решении этого варианта использован цифровой компаратор  $DD2$ . На входы компаратора поданы, во-первых, выходной код счетчика  $DD1$  и, во-вторых, опорный код, соответствующий коэффициенту деления. При достижении счетчиком состояния, когда код равен опорному коду, компаратор формирует на выходе сигнал высокого уровня и переводит  $RS$ -триггер  $DD3$  в единичное состояние. Эта логическая единица по обратной связи устанавливает счетчик  $DD2$  в нулевое состояние. Кроме того, применение триггера исключает возможность сбоя схемы из-за разброса временных параметров разрядов счетчика.

Рассмотрим схему делителя с постоянным коэффициентом деления (рис. 3). В данной схеме только два выхода  $Q_1$  и  $Q_4$  счетчика  $CT1$  ( $DD1$ ) имеют соединения, по которым могут проходить импульсы дальше в схему, причем только те, которые при счете дают число, равное 9. В данном случае это  $-1 \cdot 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 8 + 0 + 0 + 1 = 9$ . Счетные импульсы одновременно поступают на

такты вход счетчика  $CT1$  и на вход  $S$  триггера  $T$ , который в силу этой причины находится в нулевом состоянии.

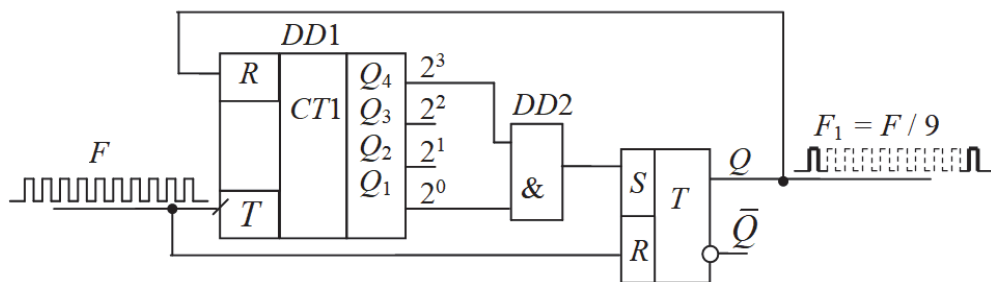


Рис. 3. Делитель частоты с постоянным коэффициентом деления

Появление при счете на активных выходах логических единиц приводит к установке триггера  $T$  в единичное состояние:  $Q = 1$ . В результате этого по обратной связи счетчик обнуляется, т. е. на его активных выходах имеются логические нули. Триггер же переходит в нулевое состояние десятым импульсом, пришедшим на его вход  $R$ . Таким образом, выполняется деление входного количества импульсов на 9. Набор активных уровней выходов счетчика совместно с определенным набором активных входов логического элемента типа «И» позволяет изменять коэффициент деления от 1 до 16. Для построения делителей могут использоваться и регистры сдвига.

Счетчик, работа которого требует наличия синхриимпульсов (тактирование), называется *синхронным*. Если счетчик выполняет свои функции только при наличии информационных входных сигналов, то он называется *асинхронным*. Счетчики могут иметь вход общего сброса  $R$  (*master reset*), устанавливающий счетчик в нулевое состояние, а также входы данных  $D_i$  для параллельной загрузки произвольного кода. Загрузка кода, поступившего на  $D_i$ -входы, выполняется по команде на  $PL$ -входе (*parallel load*). Пример обозначения синхронно суммирующего и вычитающего (реверсивного) счетчика приведен на рис. 4. Здесь  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  – выходы, по входу  $+1$  выполняется суммирование, по входу  $-1$  – вычитание.

Кодовая комбинация выходов определяет состояние счетчика. Для построения двоичных счетчиков чаще всего используются  $T$ -триггеры. Двоичный  $n$ -разрядный счетчик, содержащий  $n$  триггеров обладает емкостью  $K = 2^n$ . При схемном решении связи между триггерами счетчика могут быть различного типа. Именно от типа связей зависит время переключения счетчика, его аппаратные затраты и т. п.

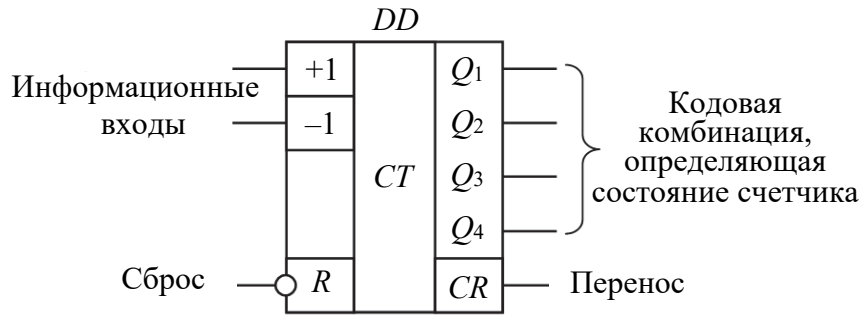


Рис. 4. Реверсивный счетчик

В качестве примера рассмотрим схему делителя на основе пятиразрядного счетчика, приведенную на рис. 5.

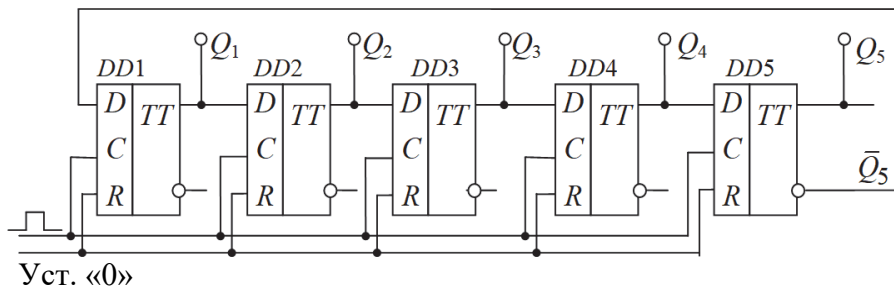


Рис. 5. Схема делителя частоты на основе пятиразрядного счетчика

Работу данного делителя можно охарактеризовать временной диаграммой, изображенной на рис. 6.

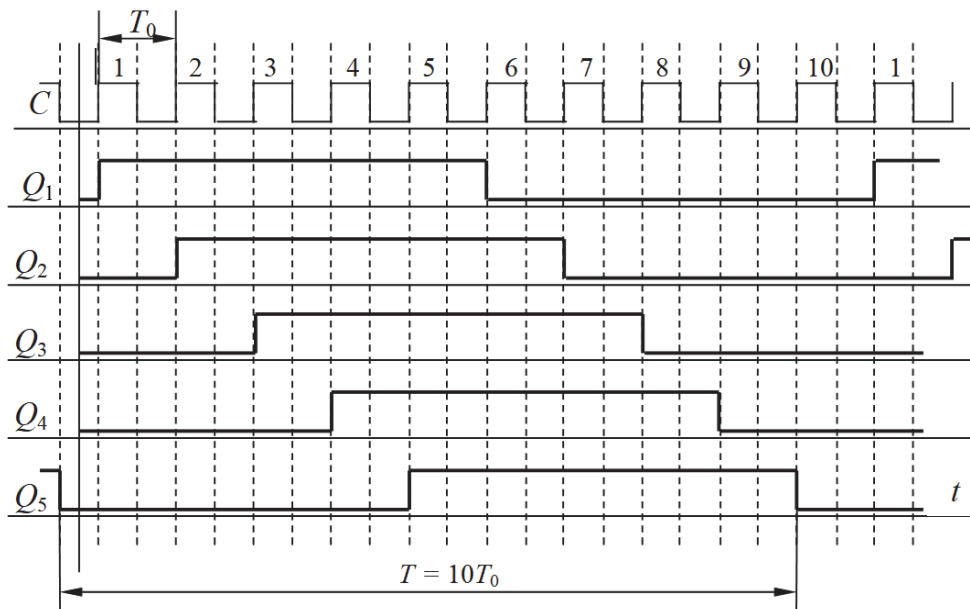


Рис. 6. Временная диаграмма работы пятиразрядного счетчика

В течение первых пяти тактов регистр заполняется единицами, а в течение последующих пяти – нулями, поскольку выходная логическая единица последнего разряда регистра начинает заполнение его нулями. Следовательно, цикл смены всевозможных состояний регистра равен десяти тактам. Таким образом, коэффициент деления данного регистра равен удвоенному числу разрядов регистра. Эти счетчики носят название счетчиков Джонсона.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.

2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).

3. Наведите мышью курсор на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).

4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».

5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».

6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд», в котором изучите состав стенда и его электрические принципиальные схемы.

7. Откройте окно «Делитель частоты по 1-му варианту» кликнув курсором в виде руки эту надпись. Изучите схему делителя и отработайте ее функционирование в ручном и автоматическом режимах деления частоты следования импульсов от генератора  $G$ , кликая курсором в виде руки его изображение при различных коэффициентах деления:  $K_{\text{дел}} = 8$ ,  $K_{\text{дел}} = 6$ ,  $K_{\text{дел}} = 4$ . Внимательно следите за переключениями схемы. В ручном режиме генератор выдает один импульс.

8. Вернитесь в меню, кликнув курсором в виде руки иконку руки в левом нижнем углу окна.

9. Откройте окно «Делитель частоты по 2-му варианту», кликнув курсором в виде руки эту надпись. Изучите схему делителя и отработайте ее функционирование в ручном и автоматическом режимах деления частоты следования импульсов от генератора  $G$ ,

кликакая курсором в виде руки его изображение при различных коэффициентах деления:  $K_{\text{дел}} = 3$ ,  $K_{\text{дел}} = 5$ ,  $K_{\text{дел}} = 7$ ,  $K_{\text{дел}} = 9$ ,  $K_{\text{дел}} = 12$ . Внимательно следите за переключениями схемы.

10. Вернитесь в меню, кликнув иконку руки в левом нижнем углу окна.

11. Откройте окно «Делитель частоты с постоянным коэффициентом деления», кликнув курсором в виде руки эту надпись. Изучите схему делителя и отработайте ее функционирование в ручном и автоматическом режимах деления частоты следования импульсов от генератора  $G$ , кликая курсором в виде руки его изображение при различных коэффициентах деления, например, запрограммируйте частоту деления импульсов так:  $f_1 = f / 3$ . Внимательно следите за переключениями схемы. Отработайте функционирование схемы с приведенными различными коэффициентами деления.

12. Вернитесь в меню, кликнув курсором в виде руки иконку руки в левом нижнем углу окна.

13. Откройте окно «Делитель частоты на основе пятиразрядного счетчика», кликнув курсором в виде руки эту надпись. Изучите схему делителя и отработайте ее функционирование в ручном и автоматическом режимах деления частоты следования импульсов от генератора  $G$ . Управляя генератором в режиме «Ручной», посылайте последовательно импульсы на схему счетчика, изучая ее изменяющееся состояние. Определите коэффициент деления счетчика. Внимательно следите за индикацией логических «0» и «1» на прямых и инверсных выходах тактовых триггеров счетчика. В режиме «Авто» генератор управляется кнопками Play или Stop.

14. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### **Содержание отчета**

1. Укажите название и цель работы.
2. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие коэффициенты деления частоты следования импульсов можно получить при использовании пятиразрядного счетчика?
2. Что такое делитель частоты, в чем состоит его особенность?



3. Каким по назначению может быть коэффициент деления схемы делителя?

4. По каким схемотехническим вариантам могут быть построены делители с переменным коэффициентом деления?

5. В чем заключается особенность работы «Делителя частоты по второму варианту»?

6. Объясните работу делителя частоты с постоянным коэффициентом деления. Как следует изменить схему этого делителя, чтобы изменился коэффициент деления?

7. Какие логические элементы используют для построения делителя частоты на основе пятиразрядного счетчика? Объясните принцип его работы.

8. Чему равен коэффициент деления счетчика Джонсона? Объясните почему.

9. Какие счетчики по алгоритму функционирования относятся к асинхронным, а какие к синхронным? Приведите примеры схем таких счетчиков.

## ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

**Цель работы:** изучение схемного построения, принципа действия автономного инвертора напряжения и режимов его работы.

### Теоретические сведения

Частотное управление асинхронным электроприводом является самым рациональным способом создания его пусковых, регулировочных и тормозных свойств, сопоставимых с аналогичными свойствами регулируемого электропривода постоянного тока. С теорией частотного управления, его проблемами и реализацией можно ознакомиться, например, в пособиях [1, 2]. Для реализации этого способа управления используются автономные инверторы напряжения (АИН), автономные инверторы тока (АИТ), непосредственные преобразователи частоты (циклоконвертеры). Наибольшее применение в полиграфии нашли инверторы.

**Инвертирование** – процесс преобразования постоянного тока в переменный, который выполняется устройством под названием инвертор. Таким образом, при существующей промышленной питающей сети переменного тока инверторы представляют собой устройства с двукратным преобразованием электрической энергии. Сначала синусоидальное напряжение переменного тока неизменяющейся частоты преобразуется в постоянное напряжение (в звено постоянного тока), а затем оно преобразуется в переменное несинусоидальное напряжение регулируемой частоты. Следовательно, АИН как устройство должен содержать выпрямитель, звено постоянного тока и сам инвертор. В силу того что частотное управление есть взаимосвязанное управление частотой и амплитудой напряжения, подаваемого на нагрузку, то в нем должна быть часть, регулирующая амплитуду этого напряжения, и часть, изменяющая его частоту, или эти две функции должна выполнять одна часть. Принципиальная схема инвертора приведена на рис. 1.

В ней имеются:

– согласующий трансформатор, в задачу которого входит согласование параметров трехфазной питающей сети с параметрами нагрузки (в данном случае с номинальными данными асинхронного двигателя);

– управляемый выпрямитель  $UZ$ , изменяющий напряжение на входе звена постоянного тока;

– звено постоянного тока, которое сглаживает пульсации выпрямленного напряжения и накапливает возвращаемую нагрузкой энергию, определяя входное напряжение инвертора и амплитуду выходного напряжения инвертора;

– инвертор, задающий частоту выходного несинусоидального напряжения путем определенного алгоритма переключения полупроводниковых вентилей  $VS1–VS6$ ;

– мост возвратного тока  $VD1–VD6$ , позволяющий нагрузке обмениваться энергией со звеном постоянного тока.

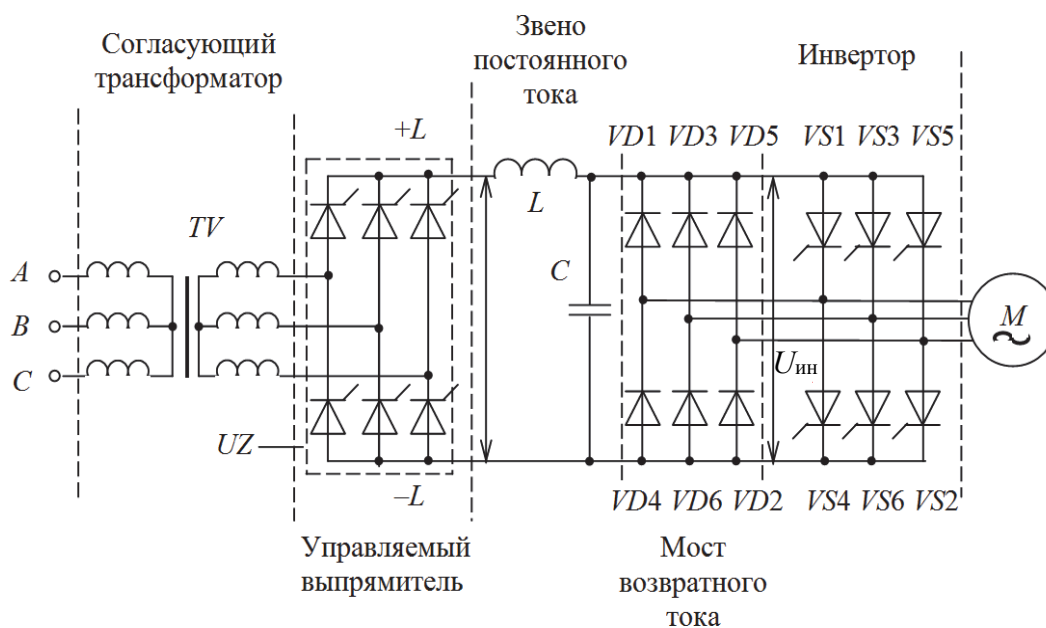


Рис. 1. Принципиальная схема инвертора

По виду нагрузки и соотношению мощностей инвертора и питающей сети инверторы подразделяются на **автономные** (независимые) и **ведомые сетью** (зависимые). **Автономный инвертор** работает на автономную нагрузку, не содержащую источников активной энергии той же частоты, что и выходная частота инвертора.

При этом частота, напряжение и форма на выходе автономного инвертора определяется режимом его работы. **Ведомый сетью** (зависимый) **инвертор** отдает энергию в сеть переменного напряжения, в которой уже существуют источники активной энергии с мощностью, значительно большей по сравнению с отдаваемой инвертором, и напряжением той же частоты, что и выходная частота инвертора. Режим работы такого инвертора не влияет на параметры выходного напряжения. По типу коммутации инверторы (автономные и зависимые) делятся на инверторы с естественной коммутацией и инверторы с принудительной коммутацией.

**Автономный инвертор** – это коммутатор, который поочередно с помощью полупроводниковых ключей подсоединяет фазы нагрузки (например, обмотки статора трехфазного асинхронного электродвигателя) к положительному и отрицательному полюсам источника постоянного тока (к звену постоянного тока). Частота переключений определяет частоту выходного напряжения инвертора (рис. 2). Пунктирными линиями обозначены моменты переключения ключей инвертора.

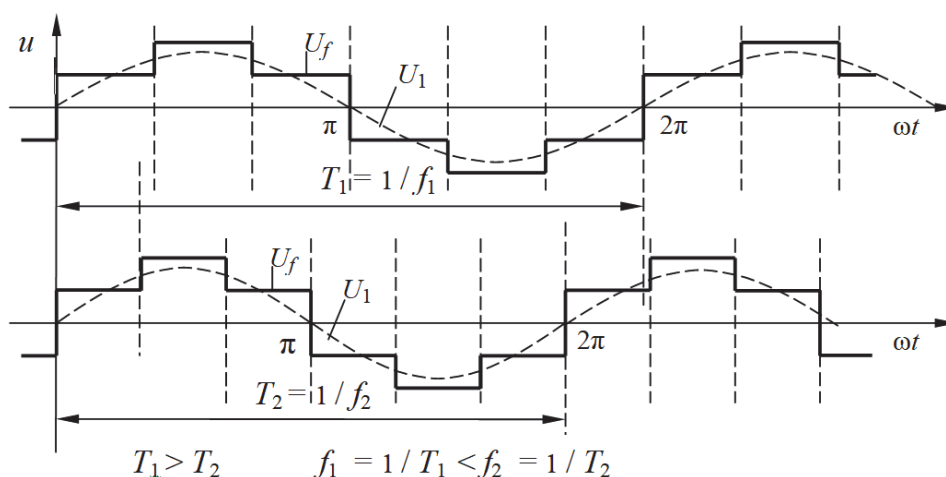


Рис. 2. Эпюры напряжения на выходе инвертора при разной его частоте:  $U_f$  – выходное напряжение инвертора;  $U_1$  – напряжение первой гармоники

В зависимости от режима работы источника постоянного тока и особенностей протекания электромагнитных процессов автономные инверторы можно разделить на инверторы напряжения и инверторы тока. **Автономный инвертор напряжения** – это инвертор, форма напряжения на выходе которого определяется только порядком переключения вентилей инвертора, а форма тока зависит

от характера нагрузки. Питание автономного инвертора осуществляется от источника напряжения. При работе такого инвертора реактивная нагрузка должна быть обеспечена возможностью обмена реактивной энергией между нагрузкой и источником постоянного напряжения.

**Автономный инвертор тока** – это инвертор, на выходе которого форма тока определяется только порядком переключения вентилей инвертора, а форма напряжения зависит от характера нагрузки. Питание инвертора этого типа должно выполняться от источника тока. Перевод выпрямителя в режим регулируемого источника тока при работе на инвертор тока достигается либо путем включения сглаживающего реактора большой индуктивности, либо посредством охвата выпрямителя сильной отрицательной обратной связью по току и использования сглаживающего реактора, индуктивность которого достаточна для сглаживания пульсаций выпрямленного тока. Первый способ увеличивает весогабаритные показатели и инерционность преобразователя, поэтому наиболее рациональным следует считать использование второго способа. Для автономного инвертора напряжения характерны однозначная зависимость выходного напряжения от входного и практическая независимость выходного напряжения от изменения нагрузки и ее коэффициента мощности. Это обуславливает его предпочтительное использование для создания частотно-регулируемого электропривода. При использовании инвертора напряжения в генераторных режимах двигателя увеличивается напряжение в звене постоянного тока (на входе инвертора) по сравнению с выпрямленным напряжением:  $U_{ин} > U_d$ , но не меняется его полярность. По этой причине оказывается невозможной передача энергии в питающую сеть через выпрямитель в силу его односторонней проводимости, другими словами, автономный инвертор не прозрачен для обратного потока электрической энергии. Эта энергия будет накапливаться в звене постоянного тока и приведет к недопустимому повышению напряжения на конденсаторе фильтра. Для передачи энергии из звена постоянного тока в сеть необходимо ввести инвертор, ведомый сетью. Это все формирует недостатки автономного инвертора напряжения: высокая установленная мощность и соответственно большие масса и габариты конденсаторного фильтра на входе инвертора; необходимость введения дополнительного инвертора, ведомого

сетью; большое количество силовых вентилях; большая инерционность канала регулирования напряжением в случае установки большого фильтра в звене постоянного тока; возможность возникновения автоколебаний в системе преобразователь – двигатель за счет взаимного обмена энергией. Прием возврата энергии в питающую сеть инвертором, ведомым сетью, не нашел практического применения в полиграфии для частотно-регулируемых электроприводов. Указанная энергия обычно рассеивается в цепях с активным сопротивлением, организованных для тормозных режимов.

Все автономные инверторы классифицируются по способу коммутации тока на три группы:

- инверторы на полностью управляемых ключах (транзисторы);
- инверторы с искусственной коммутацией. Основным элементом блока коммутации является конденсатор, предварительно запасенная энергия которого используется для выключения вентилях;
- инверторы с коммутацией вентилях за счет энергии дополнительных импульсных или высокочастотных источников.

Инверторы первой и второй групп самые распространенные. Инверторы второй группы по характеру и организации процесса коммутации могут быть разделены на две группы: инверторы с одноступенчатой коммутацией или инверторы с двухступенчатой коммутацией. Под одноступенчатой понимается коммутация, при которой ток, протекающий через тиристор перед его выключением, переводится на включающийся рабочий тиристор другой фазы или на включающийся тиристор собственной фазы, причем процессы выключения одного рабочего тиристора и включения другого происходят одновременно. Под двухступенчатой понимается коммутация, которая осуществляется с помощью вспомогательного коммутирующего тиристора. Рабочий тиристор выключается при включении коммутирующего тиристора. При этом образуется контур, изменяющий полярность напряжения на выключаемом тиристоре. Включение следующего рабочего тиристора производится и происходит независимо от процесса коммутации в выключаемом тиристоре, но обычно по окончании этого процесса.

Инверторы могут быть распределены по подгруппам:

- инверторы с междуфазовой коммутацией, которые имеют коммутационный блок, обеспечивающий попеременную коммутацию тиристоров двух фаз;

– инверторы с пофазной коммутацией, обеспечивающие попеременное переключение тиристоров одной фазы независимо от процессов в других фазах;

– инверторы с групповой коммутацией, содержащие коммутационный узел для выключения всех тиристоров одной группы (анодной или катодной);

– инверторы с общей коммутацией, которые имеют один коммутационный блок, используемый для выключения всех тиристоров;

– инверторы с индивидуальной коммутацией, обеспечивающие включение каждого тиристора независимо от состояния других рабочих тиристоров;

– инверторы, в которых в качестве силовых вентилях используются транзисторы или полностью управляемые тиристоры.

Существенное влияние на свойства инвертора оказывает алгоритм коммутации его тиристоров (транзисторов) или тип управления инвертором, определяющий длительность проводящего состояния вентилях:

– равную  $2/3$  полупериода выходной частоты напряжения (120-градусное управление);

– равную полупериоду выходной частоты напряжения (180-градусное управление);

– произвольную, фиксированную или многократно изменяющуюся по какому-либо закону в течение полупериода выходной частоты напряжения.

В инверторах с междуфазной коммутацией возможно лишь 120-градусное управление, форма выходного напряжения при этом зависит от коэффициента мощности нагрузки. Достоинство инверторов с междуфазной коммутацией – простота силовой схемы и системы управления. Область применения – электропривод небольшой мощности и высокоскоростной электропривод, в которых небольшой коэффициент мощности нагрузки. В инверторах с общей и групповой коммутацией возможен режим управления с произвольной, но фиксированной для полупериода выходной частоты длительностью включенного состояния тиристоров. Это достигается за счет одновременного выключения тиристоров во всех фазах. Данный режим может быть использован для широтного импульсного регулирования выходного напряжения инвертора.

Достоинством инвертора с таким видом коммутации является независимость формы выходного напряжения от коэффициента мощности нагрузки. Недостатками являются ограниченность режимов управления, провалы в выходном напряжении (при коммутации тиристоров) и высокая частота коммутации общего блока коммутации. Область применения – низкочастотные преобразователи для электроприводов малой и средней мощности. Наиболее универсальными по применению, регулировочным свойствам и режимам управления являются инверторы с фазной коммутацией. Они могут работать при любом алгоритме переключения тиристоров и позволяют реализовать широтно-импульсное регулирование, а также широтно-импульсную одно- и двухполярную модуляцию выходного напряжения. Усложнение силовых схем и систем управления можно считать недостатком инверторов такого типа. Очень важной характеристикой инвертора любого типа являются коммутационные потери. Они зависят от схемы инвертора, от организации процесса коммутации, ее типа и используемых блоков. Потери на коммутацию определяют КПД преобразователя и его работоспособность. Качество процесса коммутации и коммутационные потери определяются в результате анализа электромагнитных процессов в инверторах. Коммутационные потери в инверторах, в схемных решениях которых применяются транзисторы или полностью управляемые тиристоры, определяются динамическими свойствами используемых приборов.

Успехи технологии полупроводниковой техники привели к созданию ключей, обладающих качественной управляемостью с высокими динамическими свойствами и незначительными потерями в этих процессах. Поэтому в современных преобразователях различного назначения используются IGB-транзисторы, запираемый тиристор GTO или интегрированный управляемый коммутирующий тиристор IGCT. Классическая схема автономного инвертора напряжения будет выглядеть так, как показано на рис. 3. В этой схеме представлена как часть, регулирующая напряжение в звене постоянного тока (управляемый выпрямитель), так и часть (инвертор), изменяющая частоту выходного напряжения, выполненная на IGBT. Из указанных выше алгоритмов коммутации ключей инвертора остановимся на 180-градусном управлении, поскольку оно одно из наиболее рациональных, так как при нем в каждую шестую часть периода выходного напряжения инвертора включены всегда три полупроводниковых ключа.



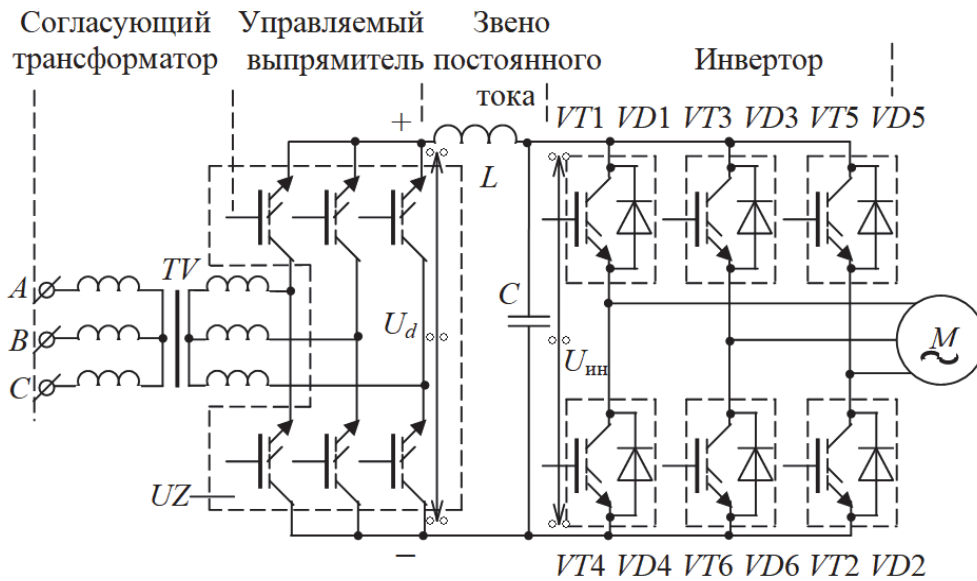


Рис. 3. Схема автономного инвертора

Это приводит к постоянному присоединению фаз нагрузки к источнику питания и постоянному протеканию по ним тока нагрузки. Связь нагрузки с источником питания выполняется или через включенный силовой транзистор (угол  $\theta_{VT}$ ), или через диод возврата тока (угол  $\theta_{VD}$ , рис. 4).

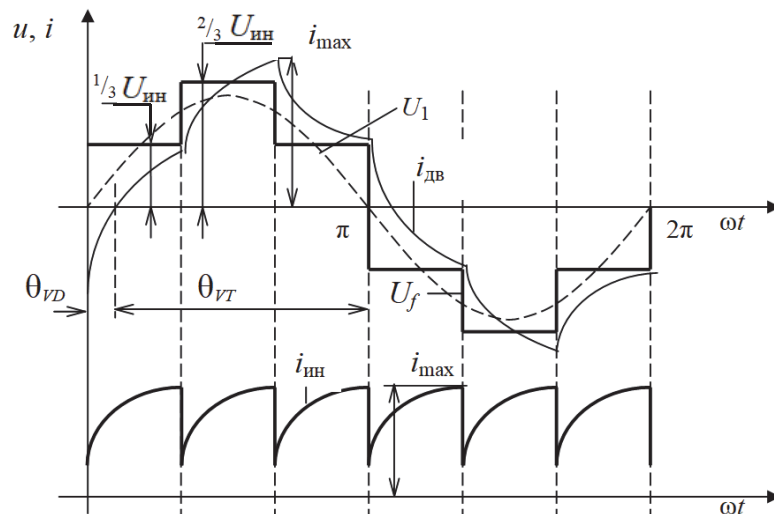


Рис. 4. Эпюры напряжения и тока инвертора со 180-градусным углом управления его полупроводниковыми ключами

Длительность включенного состояния полупроводникового ключа при таком алгоритме  $\theta$  равна  $\pi$ .

Алгоритм их переключения в течение периода выходного напряжения имеет вид

1-2-3  
 2-3-4  
 3-4-5  
 4-5-6  
 5-6-1  
 6-1-2

} Один цикл переключения транзисторов  
 1-2-3 и т. д.

В соответствии с приведенным алгоритмом на рис. 5 показано формирование напряжения и дана при этом конфигурация соединений обмоток статора двигателя.

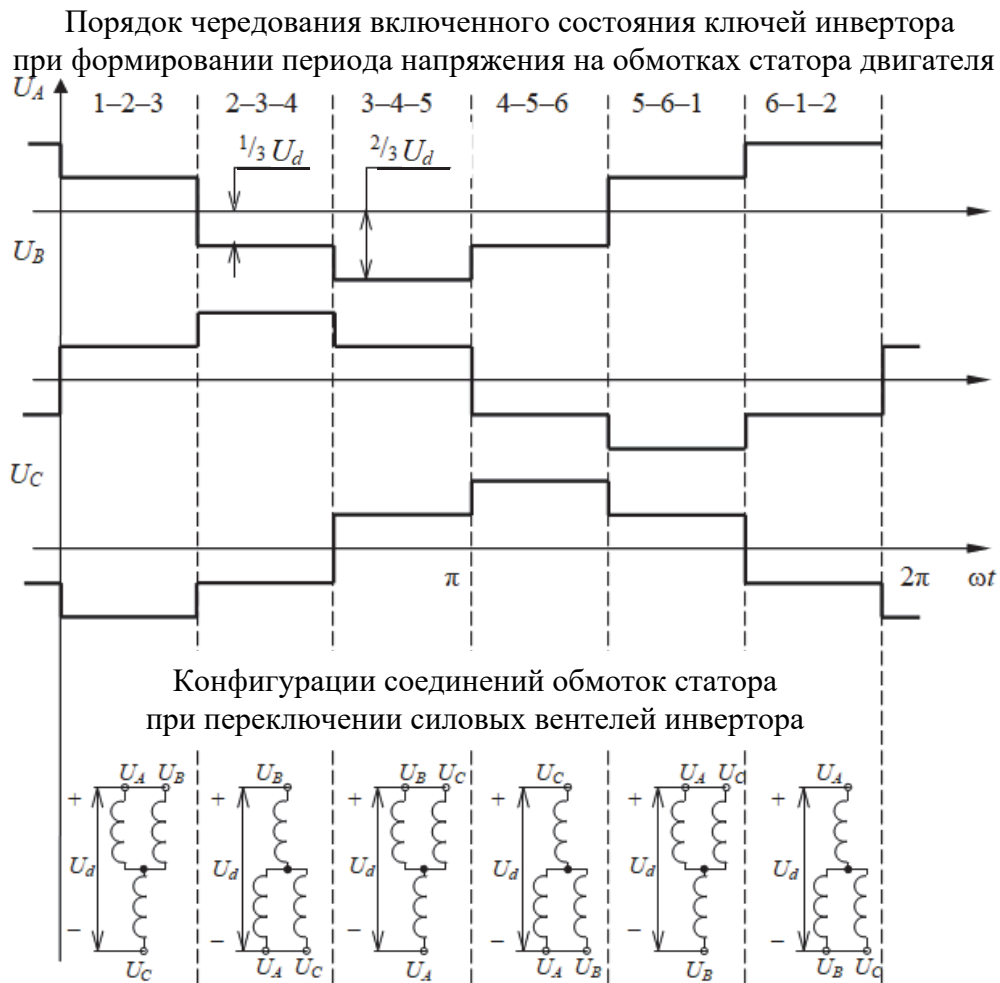


Рис. 5. Алгоритм формирования напряжения на обмотках статора двигателя при  $\theta = 180^\circ$

Электромагнитные процессы в инверторе разделяются на рабочие и коммутационные. Рабочие процессы связаны с протеканием

в элементах инвертора тока нагрузки, коммутационные процессы – с включением-отключением силовых ключей (в данном случае транзисторов). При анализе формирования выходного напряжения инвертора будут приняты во внимание только рабочие процессы. Рассмотрим их на примере работы схемы инвертора при включенных  $VT2$ ,  $VT3$ ,  $VT4$  (рис. 6). В этой схеме роль диодного моста возвратного тока выполняют диоды  $VD1$ – $VD6$ , присутствующие в структуре  $IGBT$  и используемые для построения схемы инвертора.

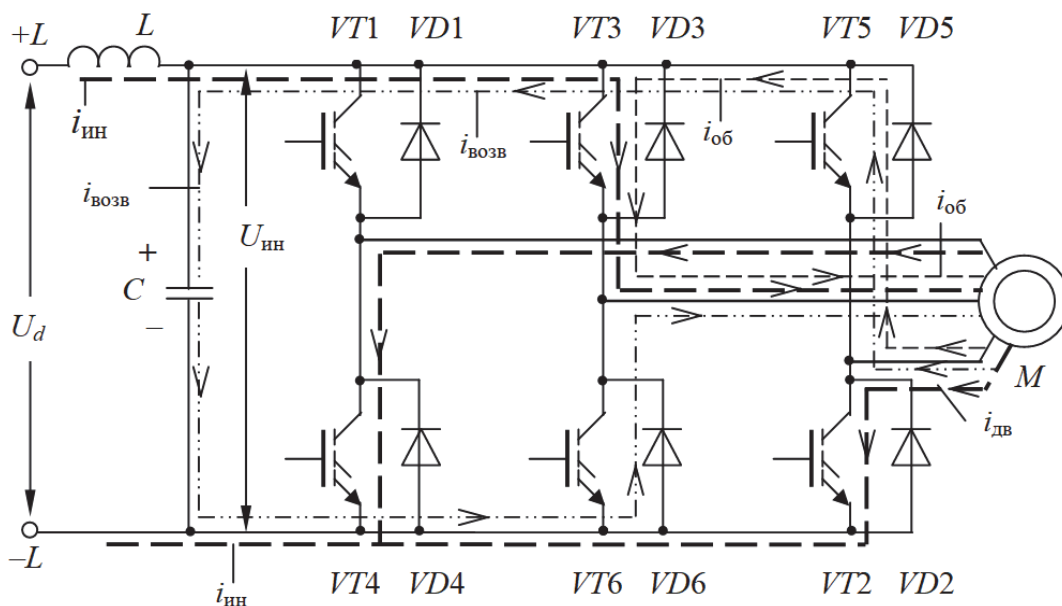


Рис. 6. Схема инвертора с траекториями тока инвертора  $i_{ин}$ , тока двигателя  $i_{дв}$ , тока возврата  $i_{возв}$ , тока обмена  $i_{об}$

Линии схемы, по которым протекает ток нагрузки, показаны жирными, а вспомогательные контуры, образовавшиеся в результате протекания тока в обменных процессах, – пунктиром. Согласно вышеприведенному алгоритму для получения нового состояния схемы выключается транзистор  $VT2$ , а включается  $VT5$ , что приводит к изменению полярности напряжения на обмотке фазы  $C$  нагрузки с отрицательного значения на положительное. В силу индуктивного характера нагрузки и наличия ЭДС вращения в фазных обмотках ток этой фазы не может мгновенно изменить свое направление. Под действием нового значения приложенного напряжения ток этой фазы начинает уменьшаться. Действующая в обмотке ЭДС вращения создает вспомогательные контуры из элементов схемы

инвертора, по которым протекает ток обмена  $i_{об}$ , производящий обмен электромагнитной энергией между фазами нагрузки (в рассматриваемом случае за счет открывшегося диода  $D5$  между фазами  $B$  и  $C$ ), и ток  $i_{возвр}$ , возвращающий запасенную электроприводом энергию с помощью ЭДС вращения, значение которой больше, чем напряжение на входе инвертора  $U_{ин}$  в конденсатор  $C$  звена постоянного тока (в рассматриваемом случае за счет открывшихся диодов  $VD5$  и  $VD6$ ). После уменьшения тока фазы  $C$  до нуля он начинает возрастать и протекать в направлении, соответствующем приложенной полярности напряжения  $U_{ин}$ . Шунтированный ранее работающим диодом  $VD5$  транзистор  $VT5$  включится, поскольку, согласно алгоритму управления, на его базе присутствует разрешающее включение напряжения. Аналогичным образом протекают процессы при переключении остальных транзисторов. Эпюры напряжения на выходе инвертора, формирующиеся указанным алгоритмом переключения транзисторов инвертора и прикладываемые к фазам нагрузки, приведены на рис. 5. Форма выходного напряжения на фазе не зависит от коэффициента мощности нагрузки ( $0 < \cos \varphi_{нагр} < 1$ ). Анализ значений напряжений, приложенных к фазе нагрузки, при равенстве сопротивлений обмоток всех ее фаз позволяет сказать, что напряжение на фазе может быть равным  $1/3 U_{ин}$  или  $2/3 U_{ин}$ . Такие изменения осуществляются скачком через каждую одну треть полупериода выходного напряжения. Из этого следует, что физические величины несинусоидальные и в конечном счете приводят к неравномерности электромагнитного момента и скорости двигателя, что негативно сказывается на работе механизма. Одним из способов устранения этого недостатка в работе инвертора является использование третьего алгоритма коммутации его силовых ключей, а именно широтно-импульсной модуляции выходного напряжения инвертора. Причем на этот вид модуляции возлагается регулирование амплитуды выходного напряжения, что является обязательным для частотного управления.

Основной способ регулирования амплитуды выходного напряжения в преобразователях постоянного и переменного тока – фазовое управление либо широтно-импульсное регулирование.

Достоинствами фазового способа являются:

– возможность использования для любого типа инвертора с любым видом коммутации и алгоритмом переключения вентиля;

– независимость формы выходного напряжения от напряжения на входе инвертора;

– широкий диапазон регулирования.

Широтно-импульсное регулирование в цепи постоянного тока приводит к дополнительному преобразованию энергии, к снижению КПД и усложнению схемы преобразователя. Кроме того, широтно-импульсный преобразователь обладает односторонней проводимостью энергии, что препятствует его применению в приводах, работающих в генераторном режиме. Поэтому для амплитудного регулирования постоянного напряжения используются управляемые выпрямители, недостатками которых считаются низкий коэффициент мощности для питающей сети, необходимость фильтрации выходного напряжения, увеличивающей весогабаритные показатели и снижающей динамические свойства преобразователя. Кроме того, применение управляемых выпрямителей в автономных инверторах, силовыми ключами которых являются тиристоры, приводит к тому, что при уменьшении напряжения на входе инвертора уменьшается начальное напряжение на его коммутирующих конденсаторах. Это снижает коммутационную устойчивость, но требует увеличения емкости коммутирующих конденсаторов, или специальных устройств, что усложняет схему инвертора. Другие используемые способы регулирования амплитуды выходного напряжения связаны с совмещением функции регулирования напряжения и частоты в самом инверторе. В результате этого создается сложный алгоритм переключения ключей инвертора, который может быть реализован в инверторах на полностью управляемых вентилях (транзисторах) либо в инверторах с двухступенчатой коммутацией.

Известно три таких способа:

– широтное регулирование;

– широтно-импульсное регулирование;

– широтно-импульсная одно- и двухполярная модуляция.

Первый способ наиболее прост и состоит в изменении длительности проводящего состояния всех вентилях инвертора при фиксированных моментах их включения. При изменении длительности проводящего состояния вентилях от  $\pi$  до нуля амплитуда первой гармоники выходного напряжения изменяется от максимального значения до нуля. Однако при этом резко возрастают амплитуды

высших гармоник напряжения и тока, что приводит к резкому увеличению потерь в двигателе, к неравномерности вращения его вала в результате колебаний электромагнитного момента.

Широтно-импульсное регулирование и широтно-импульсная модуляция обладают лучшими показателями изменения напряжения. Сущность этих способов состоит в формировании полупериода выходного напряжения из однополярных или двухполярных импульсов с изменяемой скважностью (или шириной). При этом изменяется амплитуда первой гармоники, высшие гармоники имеют большие номера и хорошо сглаживаются фильтрующими свойствами двигателя. Различие между этими способами состоит в том, что при широтно-импульсном регулировании заданная скважность однополярных импульсов остается неизменяемой (не в переходных процессах) в течение полупериода выходного напряжения, а при широтно-импульсной модуляции – скважность однополярных или ширина двухполярных импульсов непрерывно изменяется по некоторому закону.

Вышеизложенные особенности создания частотно-регулируемых электроприводов на основе автономных инверторов напряжения привели к разработке одной основной его схеме, в которой имеется неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока с устройством поглощения возвращаемой электроприводом запасенной энергии или без него, инвертор с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения по синусоидальному закону, эпюры которого для двухполярной модуляции приведены на рис. 7.

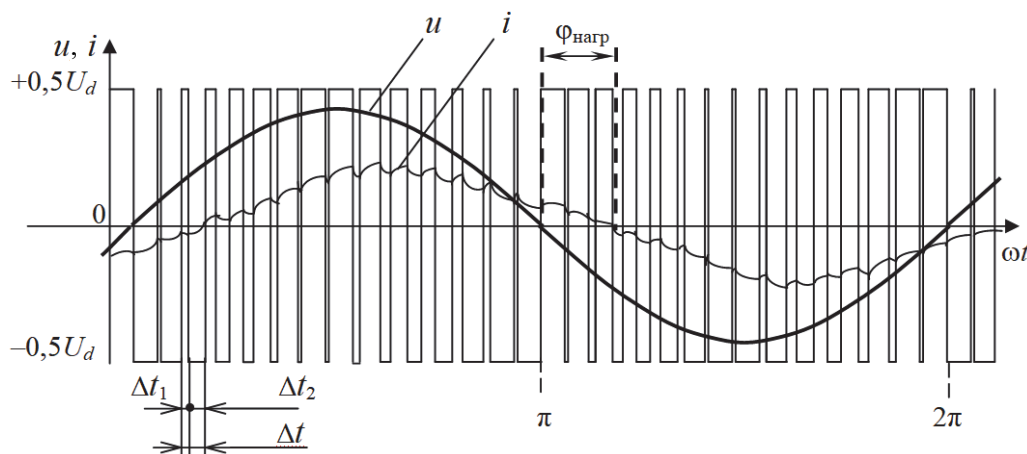


Рис. 7. Эпюры напряжения и тока при широтно-импульсной модуляции

Принцип широтно-импульсной модуляции позволяет одним устройством (инвертором) выполнить и изменение среднего значения амплитуды выходного напряжения, и регулирование его частоты. Период выходного напряжения разбивается на большое количество интервалов малой длительности  $\Delta t$ , на которых создаются два разнополярных импульса напряжения длительностями  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ . Если длительности положительного и отрицательного импульса одинаковы, то среднее значение напряжения на интервале  $\Delta t$  равно нулю. В противном случае получают положительное или отрицательное среднее значение напряжения, пропорциональное модулю разности длительности этих импульсов,  $\pm |\Delta t_1 - \Delta t_2|$ ,  $\varphi_{\text{нагр}}$  – угол, характеризующий индуктивный характер нагрузки. Когда длительность одного из импульсов равна нулю, получают максимальное значение среднего напряжения, равного входному напряжению инвертора. Широтно-импульсная модуляция уменьшает высшие гармонические составляющие в выходном напряжении инвертора и тем самым формирует форму тока в нагрузке, приближающейся к синусоиде. Точность аппроксимации синусоиды повышается с увеличением частоты коммутации силовых ключей инвертора. В современных АИН соотношение между длительностями  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  на отрезках  $\Delta t$ , расположенных на полупериоде выходного напряжения, распределяется по синусоидальному закону, что еще больше способствует синусоидальности тока нагрузки, а частота коммутаций силовых ключей достигает 20 кГц. Рассмотренное формирование напряжения используется в выпускаемых промышленностью инверторах практически всех стран. Обобщенная функциональная схема такого инвертора приведена на рис. 8. Он имеет традиционное построение: неуправляемый выпрямитель (однофазный или трехфазный в зависимости от мощности преобразователя);  $LC$ -фильтр (звено постоянного тока); инвертор на IGBT; драйверы для управления IGBT; микроконтроллерная или микропроцессорная система управления инвертором; устройство ввода-вывода, связывающее АИН с внешними управляющими воздействиями.

При рассмотрении рабочих процессов инвертора было обращено внимание на то, что асинхронный двигатель в различных режимах, особенно в тормозных, с различной интенсивностью обменивается со звеном постоянного тока своей энергией. Эта энергия накапливается в конденсаторе фильтра, повышая напряжение на

входе инвертора. С целью устранения этого целесообразно возвращаемую энергию рассеивать на активном сопротивлении, для чего в схеме инвертора имеется дополнительный IGBT (*VT*-чопер), который по команде системы управления подключает параллельно входу инвертора активное сопротивление  $R_T$ , гасящее избыточную энергию нагрузки.

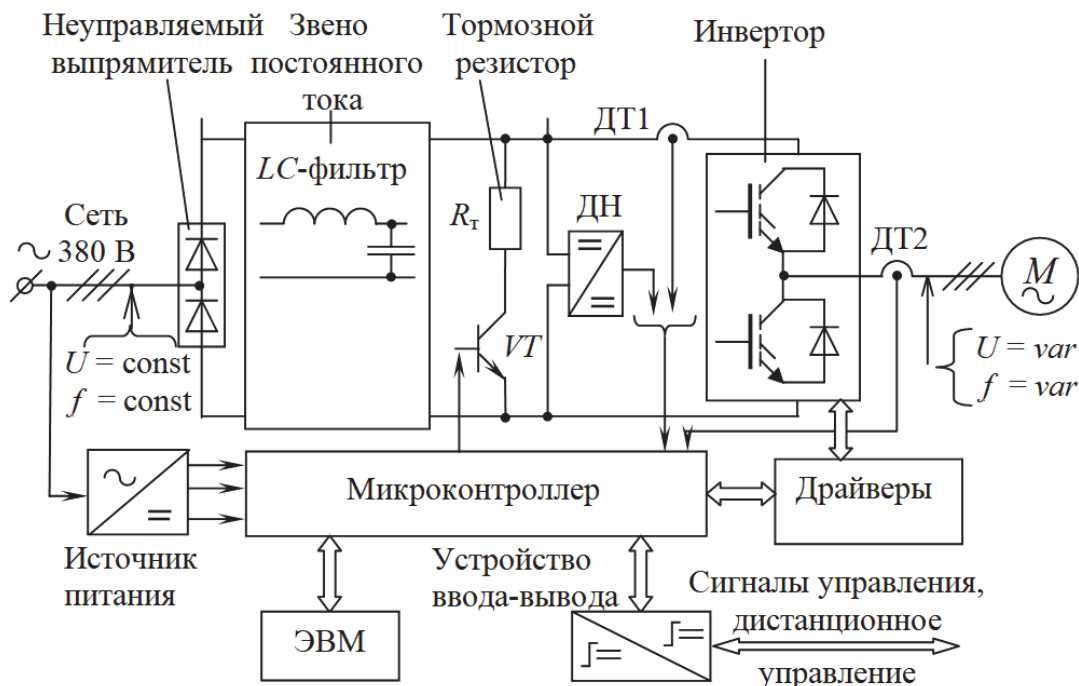


Рис. 8. Функциональная схема электропривода с АИН

Управление такими АИН безусловно выполняется микроконтроллером или микропроцессором, поскольку кроме простого переключения силовых ключей инвертора необходимо выполнять определенные законы частотного регулирования. Имеются различные законы, которые в основном определяются требованиями момента или скорости, например закон сохранения перегрузочной способности электродвигателя или закон компенсации падения напряжения на активном сопротивлении обмоток статора двигателя. Эти законы либо заносятся в память микроконтроллера, микропроцессора, либо формируются на основании заданий управления и сигналов обратных связей от датчиков координат технологического процесса, технологической машины и электропривода.



## Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.

2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).

3. Наведите мышью курсор на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).

4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».

5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».

6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд». В открывшемся окне предложены два варианта анимационных схем для изучения автономного инвертора напряжения.

7. Выберите правый вариант «Изучение работы схем инвертора», кликнув курсором в виде руки по изображению электрической принципиальной схемы. Откроется окно лабораторного стенда, в котором предлагается познакомиться с составными частями АИН и асинхронного электродвигателя. Это выполняется наведением мышью курсора в виде руки в любом порядке на названия блоков, расположенных в правой части окна, в результате чего трассировкой и цветной заливкой на схеме АИН обозначится соответствующий блок. Изучение состава АИН можно выполнить аналогичным приемом при наведении курсора в виде руки на его любой схемный блок. При этом он обозначится цветной заливкой, а трассировка покажет его название.

8. Рассмотрите последовательно все шесть режимов переключения транзисторов инвертора согласно алгоритму, соответствующему их 180-градусному управлению, перейдя к анимационной схеме АИН. Первым к рассмотрению подлежит режим, создающийся силовыми вентилями  $VT1$ ,  $VT2$ ,  $VT3$ . Кликните курсором в виде руки по изображению этой иконки. Откроется окно для рассмотрения работы схемы инвертора, присоединенного к обмоткам асинхронного двигателя. Схема показывает переключения его силовых вентиляей (транзисторов). Проследите за движением токов в цепях инвертора, в звене постоянного тока и в обмотках двигателя.

Обратите внимание на окна с комментариями, дающими некоторые разъяснения о происходящих процессах. Проследите работу схемы за полный цикл переключения. Его окончание обозначится опять появившимся текстом «Основной рабочий режим включения транзисторов  $VT1$ ,  $VT2$ ,  $VT3$ ».

9. Перейдите к рассмотрению второго режима, создающегося силовыми вентилями  $VT2$ ,  $VT3$ ,  $VT4$ . Кликните курсором в виде руки по изображению этой иконки. В открывшемся окне представлены в конспективном виде результаты переключения указанных вентилях, организующих рабочее протекание токов в компонентах инвертора и обмотках электродвигателя, возврат тока в звено постоянного тока и обмен токами между обмотками электродвигателя. На каждом этапе работы вентилях проследите за движением токов в цепях инвертора, в звене постоянного тока и в обмотках двигателя. Для этого с двух сторон центрального информационного окна расположены стрелки, кликание курсором в виде руки по которым позволяет ознакомиться с содержанием указанных режимов. Изучайте текст центрального информационного окна, комментарии которого окажут помощь в понимании работы схемы. Обратите внимание, что обмотка фазы, меняющая полярность напряжения, обменивается энергией с другими обмотками и со звеном постоянного тока ( $LC$ -фильтром). Обратите внимание на то, какие элементы инвертора вступают в работу при протекании тока по схеме. Ознакомьтесь с формированием эпюр выходного напряжения инвертора. При этом приводится формирование эпюр выходного напряжения инвертора при частоте 50 и 30 Гц.

10. Ознакомьтесь со всеми оставшимися состояниями схемы инвертора согласно алгоритму переключения его силовых вентилях путем последовательного кликание по иконкам « $VT3$ ,  $VT4$ ,  $VT5$ », « $VT4$ ,  $VT5$ ,  $VT6$ », « $VT5$ ,  $VT6$ ,  $VT1$ » и « $VT6$ ,  $VT1$ ,  $VT2$ ».

11. Вернитесь в меню. Для этого кликните курсором в виде руки по иконке руки, расположенной в левом нижнем углу окна.

12. В меню выберите левый вариант анимационный схемы, кликая курсором в виде руки по иконке «Изучение режимов работы частотно-управляемого электропривода». Откроется окно, в котором предлагается познакомиться с работой электропривода с различной частотой напряжения, питающего обмотки статора электродвигателя. Ознакомьтесь с содержанием окна.

13. Подайте на вход АИН трехфазное напряжение переменного тока кликанием курсором в виде руки по иконке, изображающей автоматический воздушный выключатель  $Q$ . Откроется окно для управления работой электродвигателя. Готовность к работе демонстрирует индикация окна «3 ~ 50 Гц, 380 В» зеленым цветом. Ознакомьтесь с его содержанием (СИФУ – система импульсно-фазового управления выпрямителем; СУИ – система управления переключением силовых вентилях инвертора; АЛУ – аналоговое логическое устройство управления СИФУ и СУИ). Обратите внимание на цвета проводов, соединяющих фазы инвертора с фазными обмотками электродвигателя. Цвета определены ГОСТ 26772–85.

14. Опробуйте работу электропривода вентилятора на выходном напряжении инвертора с частотой  $f_{ин} = 5$  Гц. Кликните курсором в виде руки по иконке кнопки «Пуск». Проанализируйте работу электропривода вентилятора и эпюры напряжений, соответствующие его заданной частоте. Запишите показания измерителя скорости (индикатора датчика угла поворота),  $\omega_{дв}$  – частота вращения вала электродвигателя – рад/с).

15. Опробуйте работу электропривода вентилятора на выходном напряжении инвертора с частотами, предлагаемыми задатчиком частоты, открыв его окно и выбирая последовательно значения частоты питающего электродвигатель напряжения. Запишите показания измерителя скорости при заданной частоте. Анализируйте форму напряжения и скорость вентилятора.

16. Выключите электропривод вентилятора, кликнув курсором в виде руки по иконке кнопки «Стоп».

17. Ознакомьтесь с реверсивным вращением вентилятора, кликнув курсором в виде руки по иконке кнопки «Реверс». Включите электропривод вентилятора, кликнув курсором в виде руки по иконке кнопки «Пуск» и убедитесь, что вентилятор изменил направление вращения. Обратите внимание на эпюры напряжения, питающего обмотки электродвигателя.

18. Выключите электропривод вентилятора, кликнув курсором в виде руки по иконке кнопки «Стоп». Электропривод вентилятора остановится.

19. Постройте график зависимости  $\omega_{дв} = f(f_{ин})$ .

20. Завершите работу на электронном стенде, отключив от него трехфазное напряжение переменного тока, кликнув мышью курсор

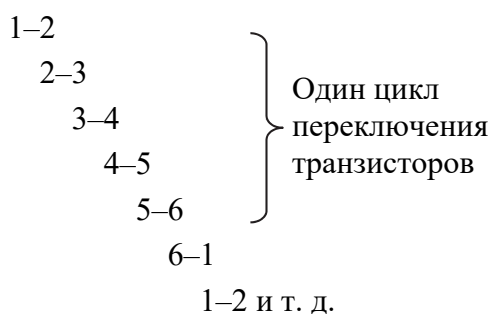
в виде руки по изображению автоматического воздушного выключателя  $Q$ . Появится окно начального состояния электронного стенда. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Приведите результаты, полученные при выполнении пунктов 14 и 15. Постройте график зависимости  $\omega_{дв} = f(f_{ин})$ .
3. Сформулируйте краткие выводы по содержанию работы.

### Контрольные вопросы

1. В результате работы каких элементов АИН изменяется частота выходного напряжения инвертора?
2. В результате работы каких элементов АИН изменяется амплитуда выходного напряжения инвертора?
3. Для каких целей АИН имеет звено постоянного тока?
4. Какую функцию выполняет диод, присоединенный параллельно транзистору?
5. Какую функцию выполняет  $LC$ -фильтр?
6. В каких случаях энергия, запасенная электроприводом, возвращается в источник питания?
7. Какую форму будет иметь выходное напряжение при следующем алгоритме включения транзисторов инвертора?



8. Для каких целей служат резистор  $R_T$  и транзистор  $VT$  (рис. 8)?
9. С какой целью применяется широтно-импульсная модуляция выходного напряжения инвертора?
10. В каких элементах инвертора накапливается или где рассеивается энергия, запасенная электроприводом?

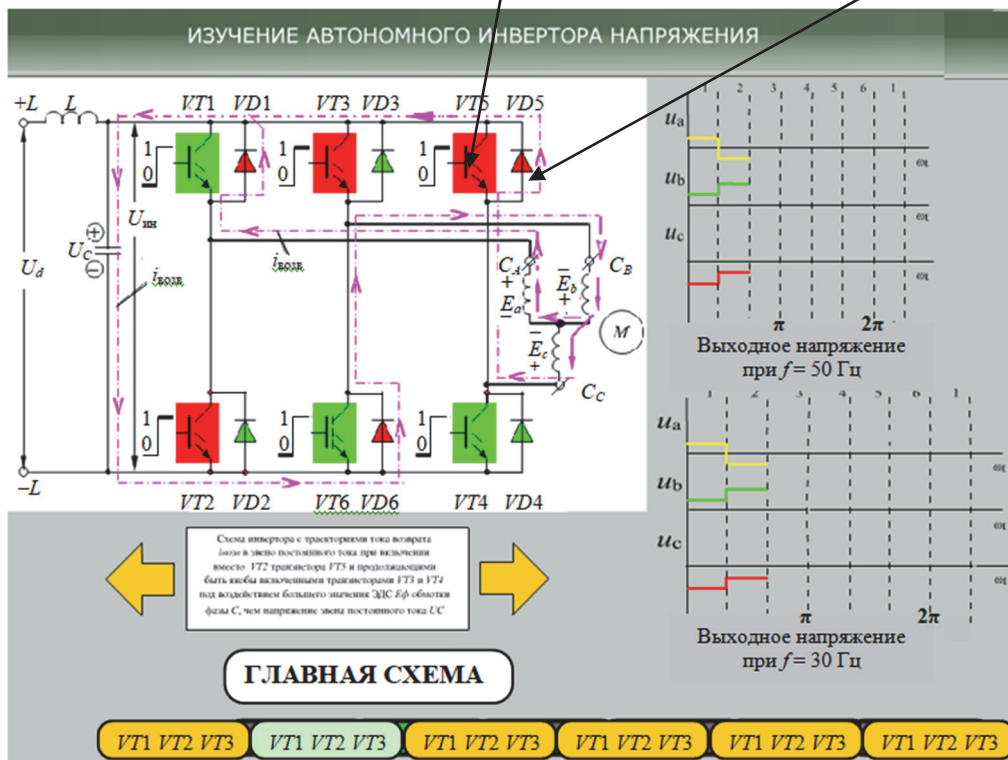
11. В каком соотношении делится входное напряжение инвертора на обмотках двигателя при 180-градусном управлении?

12. Какой режим работы инвертора демонстрируется схемой, в которой траектории протекания тока обозначены сиреневым цветом?

13. В каком порядке переключаются транзисторы инвертора? Какой алгоритм формирования напряжения при этом выполняется? Приведите эюр этого напряжения.

14. При каком соотношении напряжений звена постоянного тока инвертора и ЭДС обмоток электродвигателя создаются условия возврата запасенной ими электромагнитной энергии в конденсатор звена постоянного тока?

15. Объясните, почему на приведенном скриншоте (вторая схема при  $VT_2, VT_3, VT_4$ ) ток возврата протекает через диод  $VD_5$ , а не через открытый транзистор  $VT_5$ ?



Дорисуйте справа эюр формирующего инвертором напряжения за весь цикл переключения транзисторов.

## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА СВЕТОВОЙ ИНДИКАЦИИ

**Цель работы:** изучение назначения, устройства и принципа действия элементов световой индикации.

### Теоретические сведения

В устройствах визуальной информации широко используются полупроводниковые *семисегментные* знакосинтезирующие индикаторы (ЗСИ). Они органически вписываются в устройства цифровой автоматики, где информация представляется двоичным или двоично-десятичным кодом. Устройство семисегментного ЗСИ показано на рис. 1.

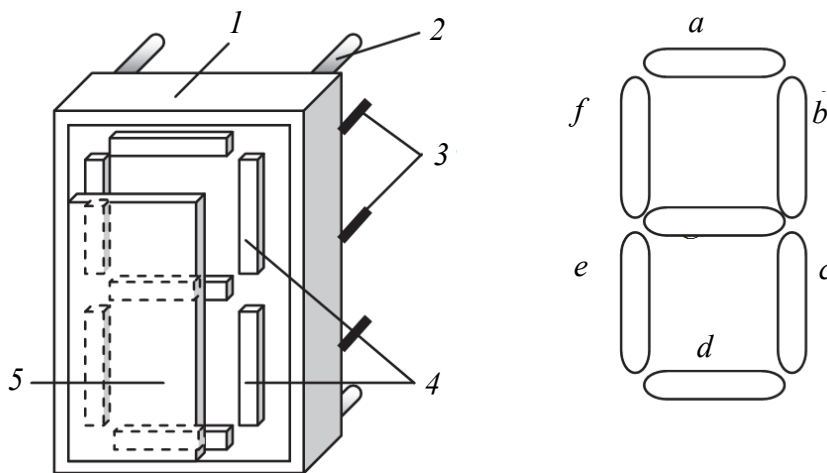


Рис. 1. Схематическое устройство (а) и обозначение светящихся элементов (б) семисегментного ППИ-индикатора:

- 1 – пластмассовый корпус; 2 – крепежные ножки;
- 3 – выводы сегментов; 4 – непрозрачные электроды в виде сегментов; 5 – стекло с нанесенными прозрачными электродами в виде сегментов

Эти индикаторы имеют низкие напряжения питания (1,5–3 В), токи отдельных светодиодов или сегментов составляют 2–30 мА, большой угол обзора (до 120°), возможность получения свечения

разного цвета, разнообразие конструктивных форм и плотности расположения знаков, высокую надежность, значительный срок службы. Для управления семисегментными ЗСИ используются дешифраторы. Рассмотрим принцип построения дешифратора для управления семисегментным ЗСИ, элементы которого могут отображать числа, буквы, знаки. Рассмотрим задачу отображения чисел от 0 до 9. На рис. 2 представлено схемное элементное решение двоично-десятичного дешифратора, а в таблице – его логическое состояние.

Таблица

**Таблица состояний дешифратора**

$2^0 = 1$	$X1$				$X1$	$\bar{X}1$		
$2^1 = 2$	$X2$			$X2$	$\bar{X}2$			
$2^2 = 4$	$X3$		$X3$	$\bar{X}3$				
$2^3 = 8$	$X4$	$\bar{X}4$						
0	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1	1	0
2	0	1	0	1	1	0	0	1
3	0	1	0	1	1	0	1	0
4	0	1	1	0	0	1	0	1
5	0	1	1	0	0	1	1	0
6	0	1	1	0	1	0	0	1
7	0	1	1	0	1	0	1	0
8	1	0	0	1	0	1	0	1
9	1	0	0	1	0	1	1	0

Отображение десяти чисел данной схемы выполняются в двоичном коде, благодаря чему, имея комбинацию из четырех единиц и четырех нулей, можно перемещать информацию от числа к числу, причем без совпадений по комбинациям. Поэтому собрав все логические единицы логическими элементами 4И–9И, получим на выходе логическую единицу, соответствующую зашифрованному индикаторному элементу числа семисегментного ЗСИ, который даст визуальное восприятие этого элемента. Дешифратор представляет собой комбинацию инверторов для входных сигналов, конъюнкторы для сбора сигналов активизации элементов ЗСИ. По конструкции ППИ могут быть одноразрядными, многоразрядными и шкальными.

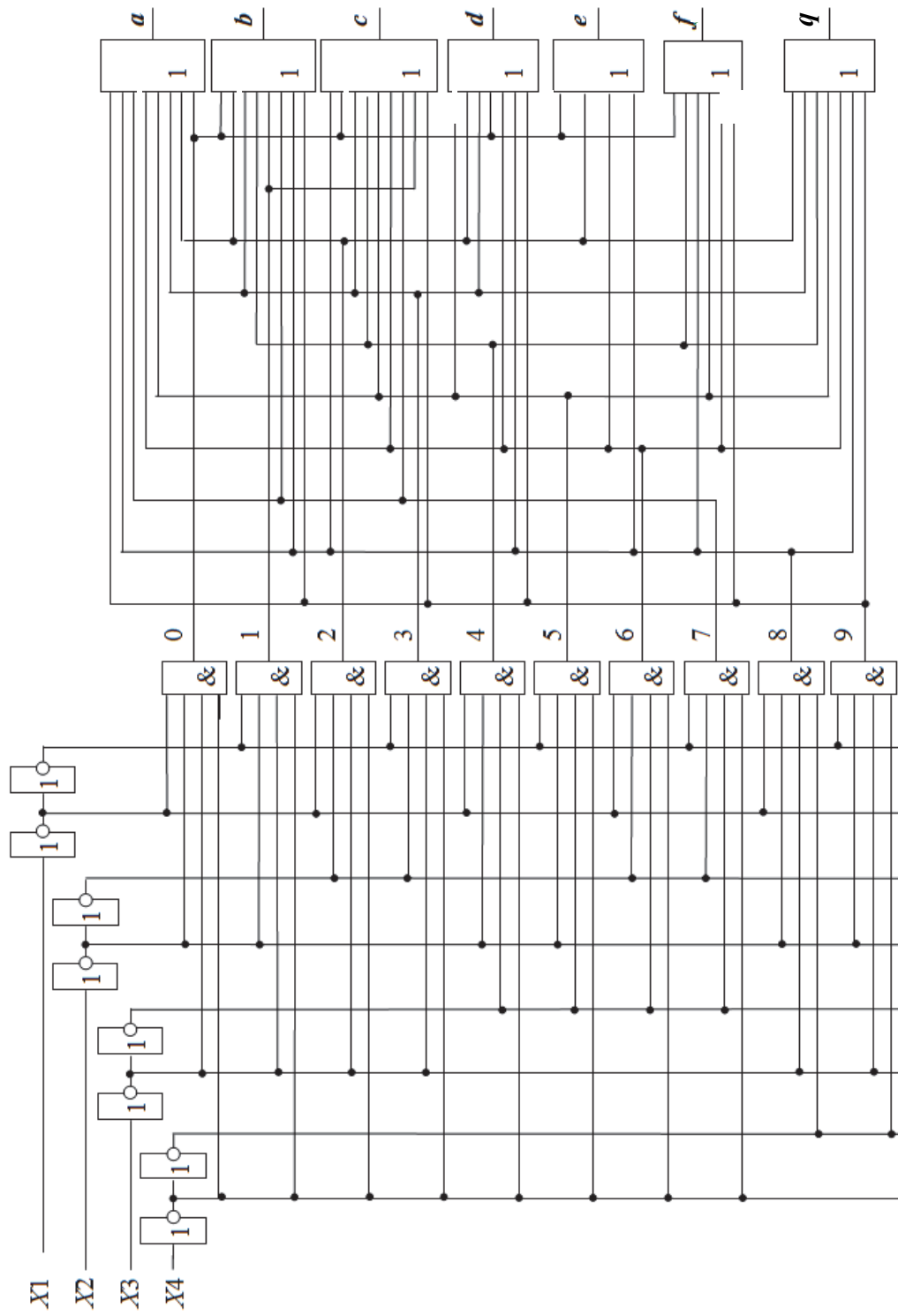


Рис. 2. Схема построения двоично-десятичного дешифратора



Отображение информации в виде знаков, цифр или символов оказывается не всегда удобным при непрерывном слежении за состоянием нескольких параметров. В этих случаях более эффективным является графический способ представления информации в виде отрезков прямых линий или отдельных точек. Такую информацию можно отобразить с помощью шкальных (линейных), матричных и мозаичных индикаторов.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.

2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).

3. Наведите мышью курсор на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).

4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».

5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».

6. Известным приемом кликните курсором в виде руки по иконке «Электронный стенд». Откроется окно «Устройство и схема индикации». Изучите состав стенда и его электрическую принципиальную схему.

7. Перейдите к анимационному варианту схемы стенда, кликнув курсором в виде руки по схеме.

8. В открывшемся окне (рис. 3) изучите элементы устройства и схемы наведением курсора в виде руки на любой элемент. Он будет подсвечиваться трассировкой. Проанализируйте состояние выходов счетчиков, дешифраторов и входов двухразрядного семисегментного индикатора десятичного числа (наличие логических «1» и «0»).

9. Приведите схему в нулевое (начальное) состояние, кликнув курсором в виде руки по изображениям кнопок «Сброс» двух счетчиков. Проанализируйте состояния выходов счетчиков, дешифраторов, входов двухразрядного семисегментного индикатора десятичного числа и его ЗСИ (наличие логических «1» и «0»).

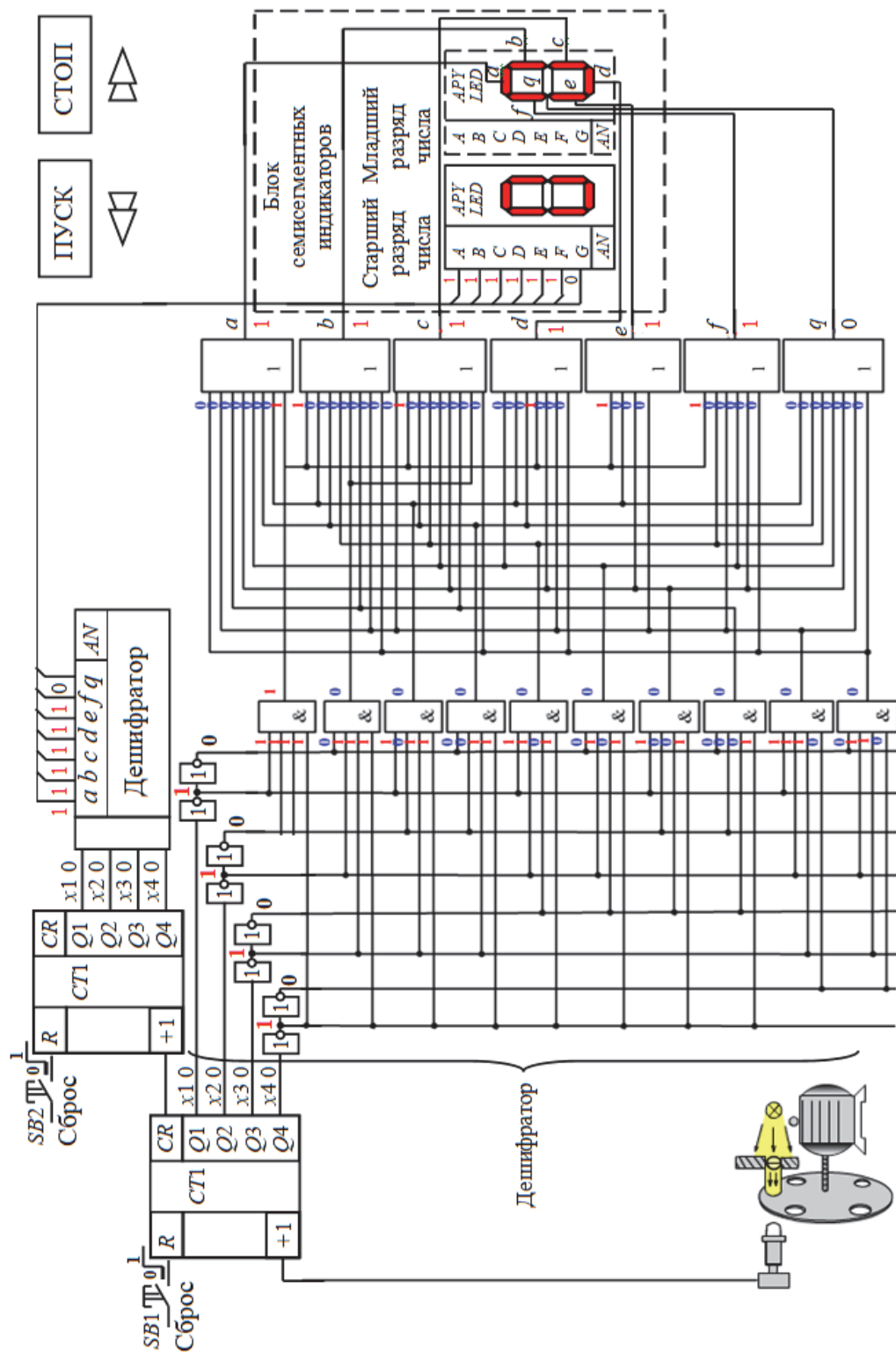




Рис. 3. Устройство и схема системы индикации десятичных чисел

10. Приведите в действие устройство индикации количества импульсов, формируемых индикаторным диском при вращении электродвигателя, кликнув курсором в виде руки по изображению кнопки «Пуск». Проследите за вращением индикаторного диска, формированием импульса, поступающего на счетчик, состоянием выходов счетчиков, дешифраторов, входов двухразрядного семисегментного индикатора десятичного числа (наличие логических «1» и «0»). Обратите внимание на формирование сегментами индикации этого количества импульсов, вырабатываемых светосчитывающим устройством (индикаторным диском). В процессе функционирования схемы можно кнопкой «Стоп» (известным методом) зафиксировать текущее состояние для спокойного детального изучения наличия логических «1» и «0» на выходах счетчиков, дешифраторов, входах двухразрядного семисегментного индикатора десятичного числа. После изучения указанного состояния продолжение работы схемы выполняется кнопкой «Пуск».

11. Проследите за работой схемы до полного заполнения двухразрядного семисегментного индикатора и дальнейшей работой схемы. Убедитесь, что индикатор обнулится, и началось новое его заполнение.

12. Схема может создавать пошаговое вращение индикаторного диска, в результате чего формируются единичные импульсы от светосчитывающего устройства. Это позволяет проследить за перемещением логических «1» и «0» по выходам счетчиков, дешифраторов, входам двухразрядного семисегментного индикатора числа и за формированием им десятичных чисел. Для этого имеются иконки в виде «  » для прямого вращения и «  » для обратного вращения (условно). Кликанием курсором в виде руки по изображению этих иконок приводим во вращение электродвигатель, на валу которого находится индикаторный диск.

13. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Приведите результаты, полученные при выполнении пункта 10.
3. Сформулируйте краткие выводы по содержанию работы.

## Контрольные вопросы

1. Спроектируйте схему для отображения трехразрядного десятичного числа.
2. С какой целью выполняется предустановка счетчиков?
3. Какие неисправности имеются в дешифраторе, если в семи-сегментном индикаторе не высвечивается  $d$ -сегмент или  $f$ -сегмент?
4. Какие будут наблюдаться искажения в изображении числа на семисегментном индикаторе, если выйдет из строя пятый сверху элемент 4И дешифратора?
5. Какие будут наблюдаться искажения в изображении числа на семисегментном индикаторе, если на выходе  $Q_2$  счетчика  $CT_1$  из-за его неисправности всегда имеется логический ноль?
6. Какое сочетание логических «1» и «0» должно быть на входах двухразрядного семисегментного индикатора для отображения десятичного числа, равного 4?
7. Сколько оборотов должен сделать индикаторный диск для отображения любого десятичного числа?

## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

**Цель работы:** изучение функционального назначения устройства защитного отключения, его схемного решения и работы на электропотребитель.

### Теоретические сведения

**Функциональное назначение устройства.** Устройство защитного отключения трехфазного электродвигателя (УЗОТЭ) является одним из приборов электронных устройств автоматики. Рассмотрим его функции на примере устройства типа УЗОТЭ-2У, которое предназначено для защитного отключения электропотребителей (электродвигателей, нагревательных элементов, например, трубчатых электронагревателей ТЭНов, галогенных ламп копировальных рам и т. п.) при возникновении аварийных ситуаций в их работе. Устройство выполняет свои функции в следующих аварийных ситуациях:

- обрыв линейного (фазного) провода в линии электроснабжения электропотребителя независимо от места обрыва;
- перекос фаз питающей сети, например, в линии электроснабжения печатной, резальной машин и т. п., в линии электропитания приводного асинхронного двигателя, например, позолотного прессы, сталкивателя стопы бумаги резальной машины и т. п.;
- превышение номинального или рабочего тока электропотребителей при возникновении неисправностей технологического оборудования;
- превышение пускового тока и времени пуска электропривода технологического оборудования.

**Описание принципа действия устройства.** Устройство защитного отключения получает информацию об аварийных значениях тока в цепях энергопотребителя от трансформаторов тока, включенных в две фазы напряжения питания этого энергопотребителя. Трансформаторы тока включаются между силовыми контактами

коммутационного аппарата  $QF$  ручного управления (воздушный автоматический выключатель) и силовыми контактами коммутационного аппарата  $KM$  дистанционного управления (электромагнитный пускатель). Принципиально устройство состоит из двух одинаковых каналов, воздействующих на отключающий электронный ключ  $VS$  (симистор – электронный аналог релейного контакта), находящийся в цепи питания катушки пускателя, управляющего включением-отключением силовой нагрузки (коммутирующего силовую нагрузку), т. е. энергопотребитель (рис. 1).

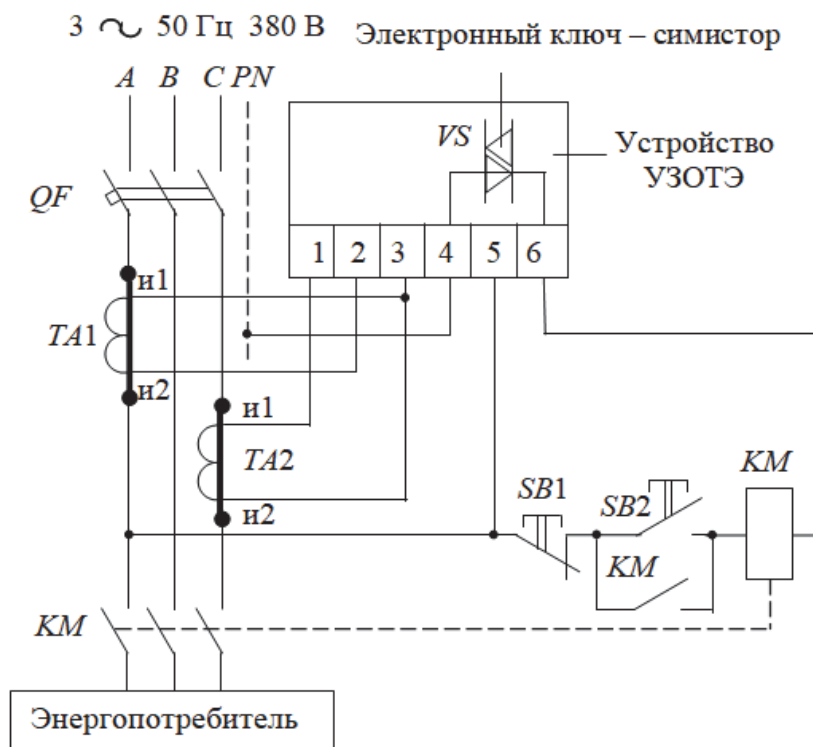


Рис. 1. Схема подключения УЗОТЭ с катушкой пускателя на напряжение 220 В

Канал токовой защиты преобразует напряжение, снимаемое со вторичных обмоток и1–и2 (в пределах 0,4–0,8 В) одного или двух трансформаторов тока ( $TA1$ ,  $TA2$ ), в постоянное напряжение выпрямителем  $UZ1$ , емкостными фильтрами  $C1$  и  $C2$ , работающими на нагрузочный резистор  $R2$  (рис. 2). Значение этого напряжения пропорционально току, потребляемому энергопотребителем. Напряжения, снимаемые со вторичных обмоток трансформаторов, не должны отличаться друг от друга на величину более 20%, что обеспечивается достаточным равенством токов, протекающих в фазных проводах энергопотребителя.

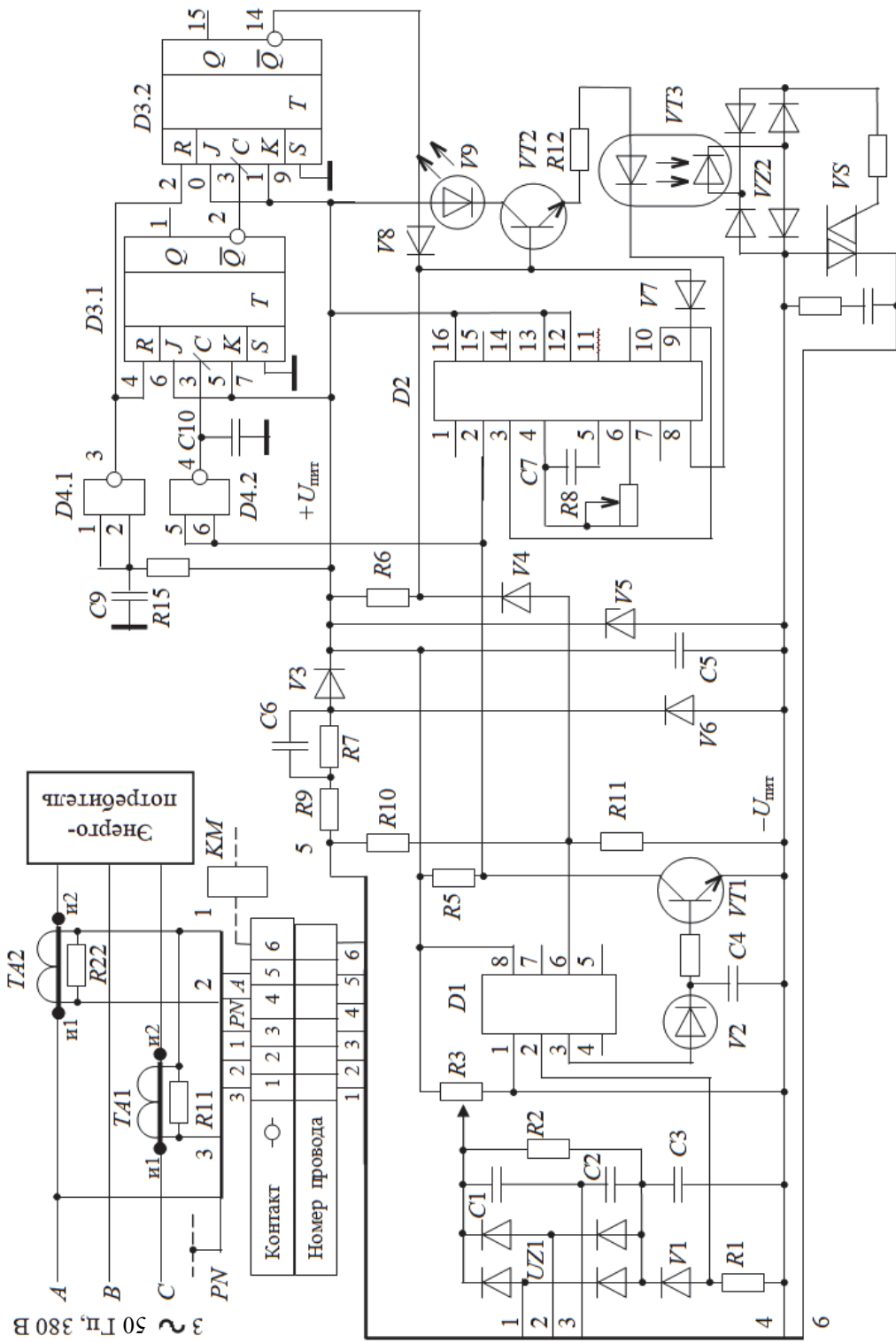


Рис. 2. Схема устройства защитного отключения

Напряжение на резисторе  $R2$  участвует в распределении напряжения питания  $U_{\text{пит}}$  между сопротивлением  $R1$  и частью сопротивления переменного резистора  $R3$ . Напряжение, снимаемое с сопротивления  $R1$ , поступает на вход 2 преобразователя частоты  $D1$ . Перед включением энергопотребителя на его схему управления подается напряжение ( $SB1$ ,  $SB2$  и  $KM$ , рис. 1). Одновременно оно поступает на устройство защитного отключения (точки 4, 5). При отсутствии тока энергопотребителя отсутствует напряжение на сопротивлении  $R2$ , поэтому на сопротивлении  $R1$  достаточно высокий уровень напряжения, который прикладывается ко входу 2 преобразователя частоты  $D1$ . Если на входе 2 высокий уровень, то на выходе 3 низкий, а на выходе 6 имеется знакопеременное напряжение прямоугольной формы. Это напряжение выпрямляется диодом  $V4$ , создавая ему положительный уровень, и поступает на базу транзистора  $VT2$ . В результате транзистор  $VT2$  открывается, и от напряжения питания через него, светодиод  $V9$  и оптопару  $VT3$ , которая закорачивает диагональ выпрямительного моста  $UZ2$ , начинает протекать ток. Напряжение 220 В, приложенное к симистору  $VS$  (точки 4, 6), через сопротивление  $R14$  по управляющему электроду включает симистор, тем самым подготавливает цепь включения пускателя  $KM$  (рис. 2). Нажатием кнопки  $SB2$  подается напряжение на катушку пускателя  $KM$ , который включается и своими силовыми контактами  $KM$  подает напряжение на энергопотребитель. При включении энергопотребителя возникают пусковые токи, превышающие его номинальные значения. При пусковых токах напряжение на сопротивлении  $R2$  превышает выставленное резистором  $R3$ , и это приводит к низкому уровню напряжения на сопротивлении  $R1$ , что вызывает снижение уровня напряжения на выходе 6 преобразователя частоты  $D1$  и появление колебаний положительного напряжения прямоугольной формы  $U_3$ . Это напряжение дифференцируется цепочкой из светодиода  $V2$  и конденсатора  $C2$ . Положительные импульсы этого продифференцированного напряжения через сопротивления  $R4$  подаются на базу транзистора  $VT1$ , который включается-отключается с частотой дифференцирующего напряжения. Напряжение  $U_3$  приводит к импульсному свечению светодиода  $V2$ , тем самым предупреждая о протекании пусковых токов. С коллектора транзистора  $VT1$  напряжение поступает на вход 2 микросхемы  $D2$ , в которой объединены таймер и триггер. Напряжение, поступающее на



вход 2, запускает таймер. Время, определяющее задержку появления напряжения на выходе таймера после появления такового на входе, задается  $RC$ -цепью из резистора  $R8$  и конденсатора  $C7$ . Это время должно превышать нормативное время действия пусковых токов. У различных энергопотребителей время действия пусковых токов различно, и поэтому для использования устройства имеется возможность изменения времени задержки таймера. Эта возможность реализуется изменением сопротивления  $R8$ . Если за время работы таймера пусковые токи уменьшились до нормативных значений, на выходе 3 микросхемы  $D1$  появится низкий уровень напряжения, что приведет к закрытию транзистора  $VT1$  и появлению напряжения на входе 2 микросхемы  $D2$ , которое остановит работу таймера. Устройство защиты не отключит энергопотребитель. Если продолжительность действия пусковых токов превысит нормативное значение, то после отработки таймером выдержки времени его выходное напряжение приведет в действие триггер, который устанавливается в единичное состояние, в результате чего на выходе 9 микросхемы  $D2$  появится низкий уровень напряжения, закрывающий транзистор  $VT2$  и оптопару  $VT3$ . Отключение оптопары расшунтирует диагональ выпрямителя  $UZ2$  и снимет напряжение с управляющего электрода симистора  $VS$ , в результате чего он закроется. Закрытие симистора  $VS$  отключает пускатель  $KM$ , а его силовые контакты отключают энергопотребитель от напряжения питания. После появления низкого уровня на выходе 9 микросхемы  $D2$  положительный уровень напряжения на выходе 6 микросхемы  $D1$  уменьшается. Это создает срыв колебаний и появление на выходе 3 высокого положительного уровня напряжения, устойчиво открывающего транзистор  $VT1$ , что дает постоянное свечение светодиода  $V2$ . Закрытие транзистора  $VT2$  прекращает свечение светодиода  $V9$ . Для возвращения устройства защиты в исходное состояние необходимо снять с него напряжение питания примерно на 10 с. При этом разрядится времязадающий конденсатор  $C7$ , и при повторной подаче напряжения питания на устройство триггер микросхемы  $D2$  восстанавливает высокий уровень напряжения на выходе 9 микросхемы  $D2$  и подготовит устройство к работе.

В ходе работы энергопотребителя могут возникнуть токи перегрузки, от которых также следует его защитить. Эту функцию приведенное устройство выполняет, поскольку канал токовой защиты

фиксирует повышение тока в фазах питания энергопотребителя, следовательно, повысится напряжение на сопротивлении  $R2$ , вступит в действие микросхема  $D1$  и далее устройство будет работать по описанному выше алгоритму. В случае если есть необходимость отключения энергопотребителя сразу после появления токов перегрузки, то схему устройства следует дополнить схемой, состоящей из четырех микросхем  $D3.1$ ,  $D3.2$ ,  $D4.1$ ,  $D4.2$  ( $JK$ -триггер, 2И-НЕ). Микросхема  $D4.1$  (2И-НЕ) совместно с резистором  $R15$  и конденсатором  $C9$  устанавливает  $JK$ -триггеры по их  $R$ -входу в нулевое состояние ( $Q = 0$ ,  $\bar{Q} = 1$ ) за счет импульсного заряда конденсатора  $C9$ . При включении энергопотребителя и появлении пусковых токов напряжение, поступающее на вход 2 микросхемы  $D2$ , с помощью микросхемы  $D4.2$  и конденсатора  $C10$  по тактовому входу  $C$  переведет триггер  $D3.1$  в единичное состояние ( $Q = 1$ ,  $\bar{Q} = 0$ ). Поскольку на тактовом входе триггера  $D3.2$  появится логический ноль, которым он не управляется, то его состояние сохранится. При появлении токов перегрузки появившееся вновь напряжение на входе 2 микросхемы  $D2$  микросхемой  $D4.2$  по тактовому входу  $C$  триггера  $D3.1$  переведет его в нулевое состояние ( $Q = 0$ ,  $\bar{Q} = 1$ ). Появление логической единицы на тактовом входе  $C$  триггера  $D3.2$  переведет его в единичное состояние ( $Q = 1$ ,  $\bar{Q} = 0$ ). Низкий уровень на выводе 14 этого триггера через диод  $V8$  закроет транзистор  $VT2$  и, как следствие дальнейшей работы устройства, отключит энергопотребитель от напряжения питания, предотвратив тем самым без задержки его перегрузку.

Для детализации работы устройства рассмотрим построение аналого-цифрового интегрального таймера марки КР1006ВИ1, используемого, в частности, в устройстве УЗОТЭ. Его функциональная схема представлена на рис. 3. В него входят резисторный делитель  $R1 = R2 = R3$ , два компаратора  $DD1$  и  $DD2$ ,  $RS$ -триггер  $T$  с тактирующим входом  $E$ , выходные транзисторы  $VT1$ ,  $VT2$ ,  $VT3$ . Напряжение питания таймера  $U_{пит}$ , распределенное резисторным делителем, подается на входы компараторов. Одно напряжение  $U_{вх1}$  подается на инверсный вход компаратора  $DD1$ , второе напряжение  $U_{вх2}$  – на неинверсный вход компаратора  $DD2$ . Напряжения с выходов компараторов управляют по  $RS$ -входам состояниями триггера  $T$ . Триггер может устанавливаться в нулевое состояние ( $Q = 0$ ,  $\bar{Q} = 1$ ) по тактируемому входу  $E$  сигналом низкого уровня  $E = 0$ . Если на

выводе 6 таймера напряжение  $U_6 > U_{вх1}$ , то с выхода компаратора  $DD1$  поступит сигнал на  $R$ -вход триггера для установки его в нулевое состояние. Если на выводе 2 таймера напряжение  $U_2 < U_{вх2}$ , то с выхода компаратора  $DD2$  поступит сигнал на  $S$ -вход триггера для установки его в единичное состояние.

Если на входы триггера одновременно поступают сигналы установки его в различные состояния, то он будет переключаться в соответствии со следующим приоритетом сигналов.

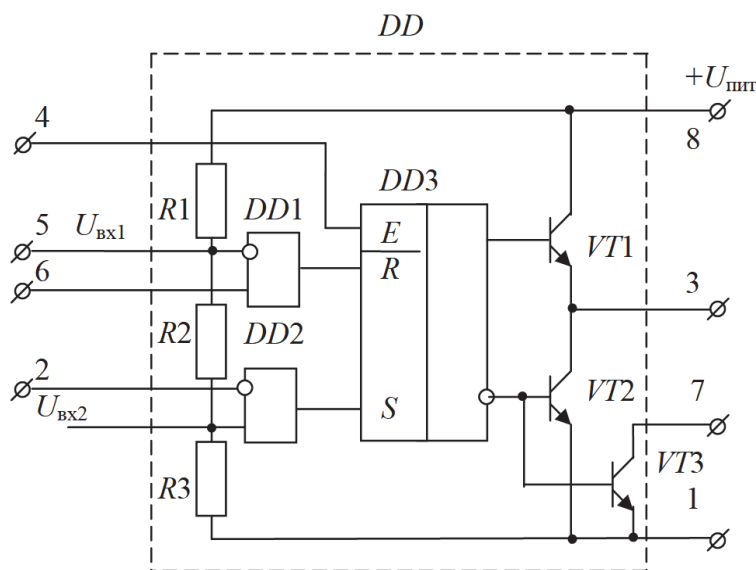


Рис. 3. Схема таймера КР1006ВИ1

Первый приоритет имеет сигнал на выводе 4 – это сигнал разрешения  $E$ . Если  $E = 1$  (на тактовом входе триггера высокий уровень сигнала), то работа таймера разрешена. Если  $E = 0$ , то триггер находится в нулевом состоянии. Вторым по приоритету является непрерывный сигнал  $U_{вх2}$  на выводе 2. Если  $E = 1$  и  $U_2 < U_{вх2}$ , то на выходе  $Q$  триггера имеется высокий уровень сигнала  $Q = 1$ , и такое состояние триггера не зависит от логического состояния вывода 6, т. е. от соотношения напряжений  $U_6$  и  $U_{вх1}$ . Третий приоритет имеет непрерывное напряжение  $U_6$ . При  $U_6 > U_{вх1}$ ,  $U_2 > U_{вх2}$  и  $E = 1$  это напряжение  $U_6$  устанавливает триггер в нулевое состояние. Транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  обеспечивают по току (до 100 мА) непосредственное управление электромагнитным реле. Основная схема включения таймера приведена на рис. 4. Режим ее работы соответствует режиму одновибратора. Выход (точка  $a$ ) времязадающей интегрирующей

$RC$ -цепи присоединен к выводам 6 и 7 таймера, а сама  $RC$ -цепь – к напряжению источника питания  $U_{пит}$ . Исходно на выводе 2 поддерживается напряжение  $U_2 > U_{вх2}$ , а тем самым на входе  $S$  триггера имеется логическая единица, что ставит его в нулевое состояние  $\bar{Q} = 1$ , в результате чего транзистор  $VT3$  открыт и на выходе  $RC$ -цепи так же имеется нулевой потенциал.

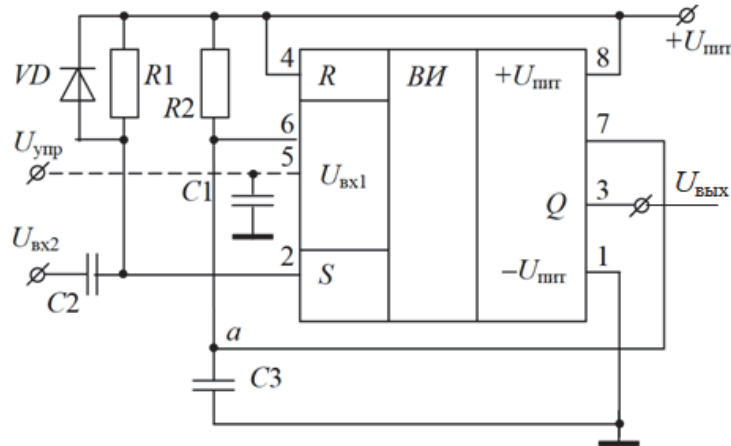


Рис. 4. Схема одновибратора на основе таймера КР1006ВИ1

Одновременно открывается транзистор  $VT2$ , и на выходе таймера (вывод 3) имеется нулевой потенциал. Если на вход таймера подать отрицательное напряжение  $U_{вх2}$  (рис. 3), которое обеспечило бы выполнение условия  $U_2 < U_{вх2}$ , то на входе  $S$  триггера  $T$  появится логическая единица, переводящая его в единичное состояние ( $Q = 1$ ,  $\bar{Q} = 0$ ). В результате этого транзисторы  $VT2$  и  $VT3$  закрываются, а транзистор  $VT1$  открывается. На выходе таймера (вывод 3) появляется напряжение положительного уровня, а конденсатор  $C3$  начнет заряжаться от напряжения питания  $U_{пит}$  через резистор  $R2$ . Когда конденсатор  $C3$  зарядится до напряжения, равного  $U_{вх1}$ , на  $R$ -входе триггера появится логическая единица, переводящая его обратно в нулевое состояние. Это снова приведет к открытию транзисторов  $VT2$  и  $VT3$ , закрытию транзистора  $VT1$  и появлению на выходе 3 нулевого потенциала. Этим моментом времени заканчивается формирование длительности выходного импульса таймера  $t_{имп}$ , которая определяется параметрами времязадающей  $RC$ -цепи:  $t_{имп} = R2 \cdot C3 \cdot \ln 3 = 1,1 \cdot R2 \cdot C3$ . Кроме того, формирование длительности выходного импульса может выполняться сигналом «разрешение», поступающим на вывод 4, который прерывает процесс заряда

конденсатора  $C3$ . Если этого не требуется, то на вывод 4 подается напряжение питания  $+U_{\text{пит}}$ . Следующим приемом изменения длительности выходного импульса служит управление работой таймера по входу 5. Внешним управляющим напряжением  $U_{\text{упр}}$  осуществляется изменение напряжения  $U_{\text{вх1}}$ , до которого заряжается конденсатор  $C3$ . При этом длительность выходного импульса будет равна  $t_{\text{имп}} = R2 \cdot C3 \cdot \ln 3 [U_{\text{пит}} / U_{\text{пит}} - U_{\text{упр}}]$ . Наименьшая длительность выходного импульса ограничена быстродействием логических элементов таймера, наибольшая – допустимыми габаритами конденсатора  $C1$  времязадающей цепи. Повышение помехозащищенности работы таймера достигается соединением вывода 5 с общим выводом через конденсатор  $C1$  порядка 0,01 мкФ. Возможны и другие схемы включения таймера КР1006ВИ1.

**Устройство защитного отключения.** Конструктивно прибор выполнен в пластмассовом корпусе, состоящем из основания и крышки. Все элементы электронной схемы установлены на одной плате, укрепленной на основании. На плате установлен переменный резистор  $R8$  «УСТ. ВРЕМЯ», служащий для установки времени отсечки пусковой перегрузки. Здесь же размещен резистор  $R3$  «УСТ. ТОКА», служащий для установки номинального тока нагрузки. Световая индикация выполнена на двух светодиодах. Один светодиод  $V9$  «НОРМА» (зеленого цвета) сигнализирует о нормальном режиме работы электропотребителя, второй светодиод  $V2$  «ПЕРЕГРУЗКА» (красного цвета) сигнализирует об аварийном режиме работы электропотребителя при одновременном свечении с индикатором  $V9$  «НОРМА». При отдельном свечении светодиода  $V2$  «ПЕРЕГРУЗКА» сигнализирует об отключенном двигателе в аварийной ситуации. Подключение внешних цепей производится через клеммник, укрепленный на основании устройства.

*Примечание.* При подаче питания на прибор возможна кратковременная засветка светодиодного индикатора  $V2$  «ПЕРЕГРУЗКА», связанная с переходными процессами, протекающими в схеме при ее включении.

### **Настройка устройства в производственных условиях.**

1. Произведите пуск электродвигателя и установите такой технологически возможный режим нагрузки на его валу, чтобы потребляемый им ток был *номинальным*. В этом режиме работы двигателя проконтролируйте значения напряжений, поступающих с

трансформаторов тока на прибор. Контроль значений следует производить с помощью вольтметра переменного тока любого типа с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм между контактами 1–2 и 1–3 клеммника прибора. Измеренные значения должны находиться в пределах 0,4–0,8 В (при этом ток  $I_0 \sim 1$  А) и отличаться друг от друга на величину не более 20%.

Если напряжения больше или меньше указанного, то:

- необходимо соответственно уменьшить или увеличить площадь сечения проводника  $S_0$ ;
- использовать половину или всю обмотку трансформатора тока (трансформатор имеет отвод от средней точки);
- выходное напряжение можно увеличить, сделав несколько витков проводом токоотвода вокруг сердечника трансформатора тока.

Если значения измеренных напряжений отличаются на величину более 20%, то необходимо, проконтролировав равенство токов, протекающих в фазных проводах электродвигателя в одном режиме его работы (разброс не более 20%), проверить установку трансформаторов тока и крепление токоотводов (положение, установка и крепление должны быть одинаковыми для двух фаз). По окончании работ вновь проконтролируйте величины напряжений на вышеуказанных контактах и убедитесь в том, что их значения находятся в пределах 0,4–0,8 В, а отклонения друг от друга – не более 20%.

2. Отрегулируйте положение потенциометра  $R3$  «УСТ. ТОКА», для чего подайте питание на прибор и включите электродвигатель. Установите такой технологически возможный режим на валу электродвигателя, при котором потребляемый им ток был бы максимальным. Через 20–30 с плавным вращением движка потенциометра  $R3$  «УСТ. ТОКА» добейтесь мигания или засветки индикатора  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА». Вращением движка вправо на угол 5–10° установите потенциометр в такое положение, чтобы индикатор  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» перестал светиться. Зафиксируйте положение потенциометра  $R3$  «УСТ. ТОКА». Это положение будет соответствовать току защиты.

3. Отрегулируйте положение потенциометра  $R8$  «УСТ. ВРЕМЯ», для чего подайте питание на прибор и включите электродвигатель. Индикатор  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» должен светиться во время пуска двигателя. Измерьте это время с помощью секундомера. Оно будет соответствовать времени пуска двигателя. Выключите двигатель. Установите потенциометр  $R3$  «УСТ. ТОКА» в крайнее левое

положение (диагностический режим). Индикатор  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» должен засветиться. По истечении времени, установленного потенциометром  $R8$  «УСТ. ВРЕМЯ», индикатор «НОРМА» выключится, что соответствует моменту срабатывания прибора и аварийного отключения электродвигателя. Сброс индикатора  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» производится после отключения прибора от сети. По секундомеру вращением потенциометра  $R8$  «УСТ. ВРЕМЯ» установите время срабатывания устройства на 3–4 с больше времени пуска. Верните потенциометр  $R3$  «УСТ. ТОКА» в положение, соответствующее току защиты по пункту 2.

**ВНИМАНИЕ!** При замене электродвигателя или изменении его режимов работы регулировку по пунктам 2, 3 повторить.

4. Функциональная проверка прибора. Подготовьте прибор к проведению функциональной проверки, для чего отключите питание от прибора и электродвигателя. Удалите перемычку, установленную между контактами 4–6 прибора при проведении работ по пунктам 1, 2, 3.

5. Проверьте работу прибора при перегрузке двигателя, для чего произведите его пуск и установите такой технологический режим, при котором нагрузка на валу двигателя будет минимальной.

Установите потенциометр  $R3$  «УСТ. ТОКА» в положение, когда индикатор  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» находится на грани включения. Увеличьте нагрузку на валу двигателя (если нет возможности регулировать нагрузку, установите потенциометр  $R3$  «УСТ. ТОКА» в положение, при котором индикатор  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» засветится). Индикатор  $I2$  «ПЕРЕГРУЗКА» должен засветиться, и после истечения времени, установленного в пункте 3, прибор должен аварийно отключить двигатель. Верните потенциометр  $R3$  «УСТ. ТОКА» в положение тока защиты (желательно повторить пункт 2). После проведения вышеуказанных проверок прибор готов для работы по прямому назначению.

6. Для ввода прибора в действие питание на него подается до пуска электродвигателя, например воздушным автоматическим выключателем  $QF$ , как указано на рис. 1.

7. Если в процессе работы произошли перегрузка и отключение электродвигателя, то повторный его пуск может быть осуществлен после отключения напряжения питания от прибора на время примерно 10 с.

8. В случае необходимости исключения воздействия схемы защиты на работу электродвигателя достаточно установить перемычку между контактами 4–6 или заземлить контакт 6 клеммника устройства.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с устройством лабораторного стенда.
2. Поставьте рукоятку ЛАТРа (лабораторного автотрансформатора), расположенного на правой стенке стенда, в крайнее левое положение.
3. С помощью выключателя (тумблера), расположенного справа внизу на лицевой панели стенда, подайте напряжение питания 220 В на лабораторный стенд. Загорится сигнальная лампочка «Напряжение подано».
4. Зрительно зафиксируйте свечение информационных светодиодов согласно описанию устройства.
5. Нажатием кнопки «Вкл» включите пускатель, который своими силовыми контактами подаст напряжение на энергопотребитель.
6. Медленно поворачивайте рукоятку ЛАТРа по часовой стрелке, имитируя возрастание тока в силовой цепи энергопотребителя. Следите за состоянием светодиодов.
7. По звуку отключающегося пускателя определите момент срабатывания УЗОТЭ-2У. Проконтролируйте это состояние по светодиодам.
8. Верните рукоятку ЛАТРа в исходное положение.
9. В случае необходимости снимите напряжение с энергопотребителя нажатием кнопки «Откл», что приведет к отключению пускателя. Проверьте это при любом положении рукоятки ЛАТРа.
10. Проверьте работу устройства при быстром повороте рукоятки ЛАТРа, т. е. при быстром нарастании тока перегрузки.

### **Содержание отчета**

1. Укажите название и цель работы.
2. Приведите результаты измерения времени срабатывания устройства защиты.
3. Краткие выводы по функционированию отдельных элементов устройства.



## Контрольные вопросы

1. С какой целью введен в схему УЗОТЭ-2У таймер?
2. Какие элементы являются источником информации о токе перегрузки энергопотребителя?
3. В каких ситуациях устройство УЗОТЭ-2У выполняет свои функции?
4. Какими элементами задается временная функция срабатывания устройства УЗОТЭ-2У?
5. Объясните работу схемы таймера КР1006ВИ1.
6. Какую функцию выполняет электронный ключ  $VS$ ?
7. С помощью каких элементов, приборов получают информацию о токовой нагрузке энергопотребителя?
8. Какую функцию выполняет оптопара  $VT3$ ?

## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ СВЕТОВОЙ ЗАВЕСЫ

**Цель работы:** изучение устройства и принципа действия электронной световой завесы.

### Теоретические сведения

В полиграфическом производстве имеется некоторое профессиональное оборудование, при обслуживании которого появляется необходимость вмешательства оператора или в технологический процесс, или в пространство работающих механизмов. Реализация концепции обеспечения безопасности работы на промышленных установках без физических ограждений достигается созданием эргономичной рабочей среды световыми завесами. Световые завесы надежны, безопасны, эффективны и экономичны. Световая завеса используется на современном технологическом оборудовании и предназначена для контроля областей пространства около движущихся частей технологического оборудования. Примерами могут служить случаи вмешательства оператора в каждый цикл технологического процесса, например при загрузке детали или загрузке и выгрузке материала. Другой пример – это применение регистрации объектов при их перемещении конвейером, а также размещении продукта в ячейке на автоматическом складе или для определения наличия либо отсутствия детали на платформе.

Область применения световых завес распространяется на оборудование послепечатных процессов, автоматические упаковочные машины, ленточные транспортеры, прессы и штамповочное полиграфическое оборудование. На крупных полиграфических предприятиях имеются ремонтные цеха, где установлены сварочные машины; автоматизированные склады; токарные, фрезерные и сверлильные станки; обрабатывающие центры и станки с ЧПУ и т. п. Оснащение этого оборудования световыми завесами также является актуальным. Безопасное взаимодействие человека (оператора) и технологической машины, работающей в автоматическом

режиме, должно обеспечиваться оптоэлектронными защитными устройствами. Световая завеса обнаруживает пересечение контролируемой зоны посторонними объектами. Нарушение светового потока (лучей) фиксируется электронными устройствами, которые формируют соответствующие сигналы в системах управления оборудованием. В результате этого система управления блокирует движущиеся части механизма или запрещает их работу до устранения помехи в рабочей зоне.

Рассмотрим построение световой завесы промышленного изготовления. Световая завеса – это электронное устройство, состоящее из двух блоков: передатчика оптического излучения (излучателя) и приемника оптического излучения. Структурная схема световой завесы приведена на рис. 1. В ее состав входят: передатчик оптического излучения (излучатель); оптическая система, формирующая диаграмму направленности излучения (лучи); массив излучателей (светодиодов), создающих инфракрасное излучение оптического диапазона; мультиплексор, вырабатывающий последовательность электрических импульсов на излучатели.

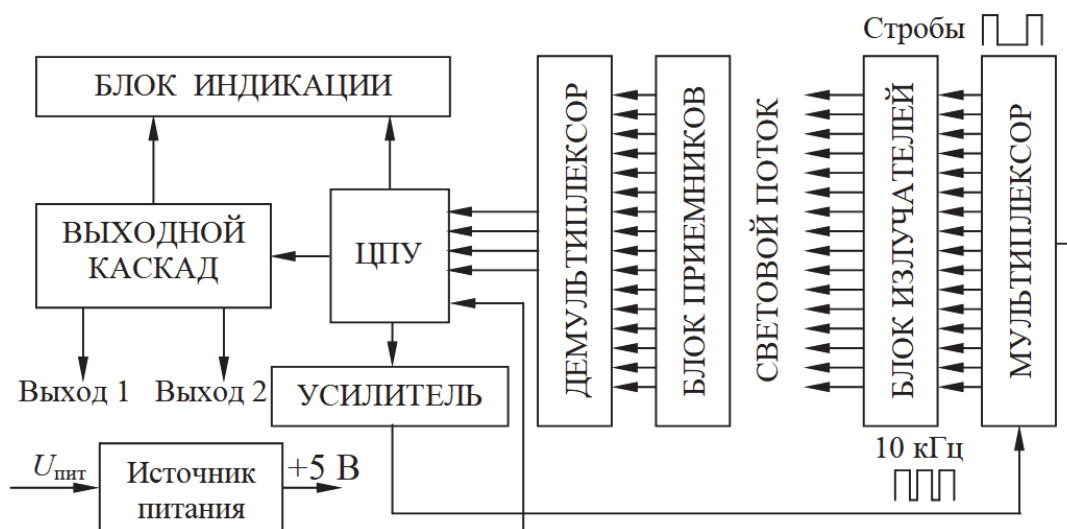


Рис. 1. Структурная схема световой завесы

В состав приемника излучения входят: оптическая система светового барьера, формирующая диаграмму направленности приемника излучения (лучи); массив фотоприемников, воспринимающий оптическое излучение и преобразующий его в электрические сигналы; усилители, усиливающие входные сигналы до необходимого

значения; микроконтроллер, измеряющий параметры входных сигналов, формирующий управляющие сигналы для передатчика и выходные сигналы светового барьера; электронные ключи, обеспечивающие коммутацию выходных токов, снабженные защитой от неверного включения, от перегрузки по току и короткого замыкания; светодиодные индикаторы, расположенные на лицевой стороне приемника, показывающие состояние выходных ключей и состояние каждого луча, что позволяет определить работоспособность фотоэлектрического барьера и обеспечить оперативность настройки. Принцип работы световой завесы основан на принципе световой локализации области пространства параллельными световыми лучами, образующими зону чувствительности. Как правило, в световых завесах, используется невидимое инфракрасное излучение, которое не создает неудобств обслуживающему персоналу. Зона чувствительности образуется в пространстве между излучателем и приемником светового барьера. Размер зоны чувствительности определяется расстоянием между излучателем и приемником (ширина зоны); количеством лучей и шагом между ними (высота зоны). Шаг между лучами определяет минимальный размер гарантированно обнаруживаемого световой завесой объекта (разрешающую способность). Чем меньше расстояние между световыми лучами, тем выше разрешение и способность распознавания. Световая завеса имеет функциональный резерв, который определяется как отношение максимального рабочего расстояния между излучателем и приемником к максимальной ширине контролируемой зоны. Функциональный резерв позволяет компенсировать ослабление сигнала в результате загрязнения оптики и наличия аэрозольных компонентов в окружающем пространстве.

Рассмотрим использование световой завесы на примере работы одноножевой резальной машины (ОРМ), общий вид которой представлен на рис. 2. Начальный технологический этап работы оператора состоит в укладке стопы бумаги на стол 12, с последующим перемещением ее к подавателю 5. При выполнении основного технологического этапа (резки бумаги) подаватель перемещает стопу в зону нахождения марзана 6, где выполняется рез стопы бумаги. Во время этой работы оператор по неосторожности может ввести руки, поправить положение стопы или внести посторонний предмет в зону стола. Это приведет к аварии или повреждению человеческих

рук (производственной травме). Для обеспечения безопасной работы оператора машина оснащается световой завесой, состоящей из панелей со светоизлучателями и фотоприемниками, а также из системы управления ими. Одна из принципиальных электрических схем световой завесы приведена на рис. 3.

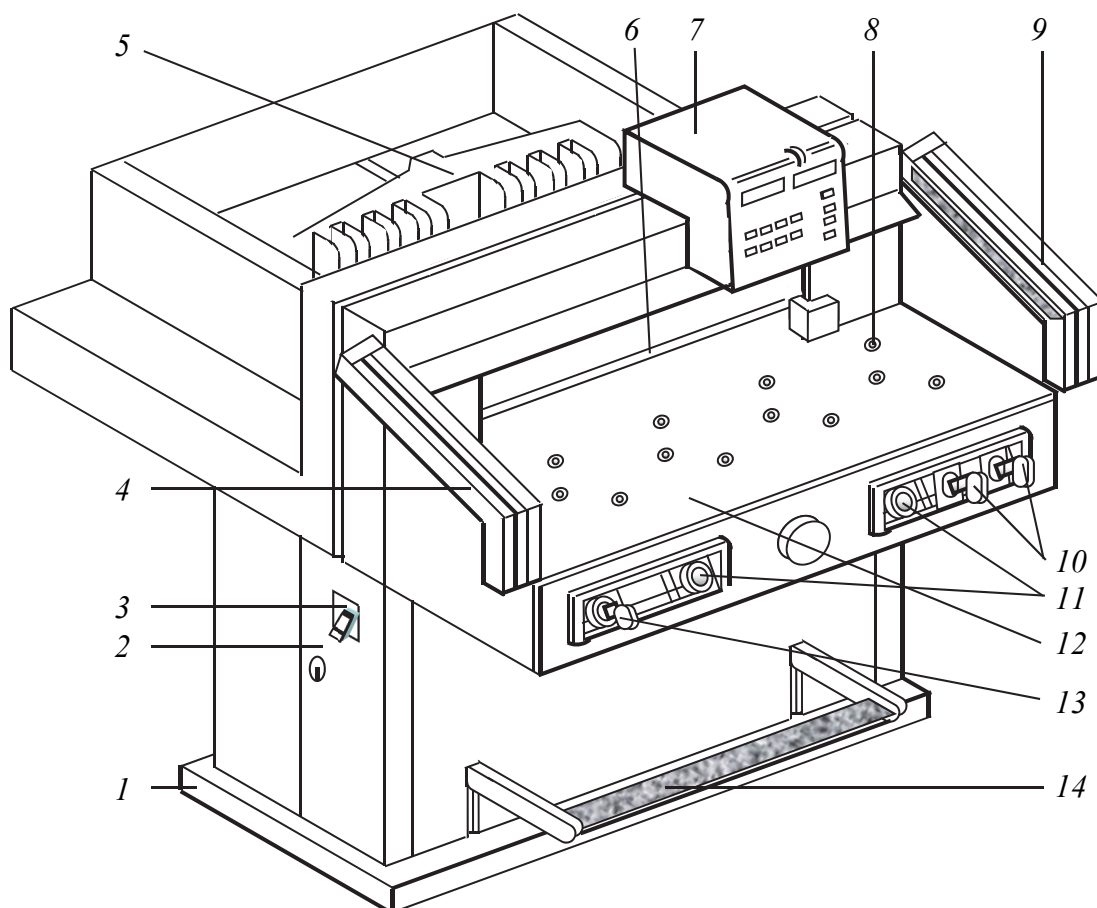


Рис. 2. Общий вид одноножевой резальной машины:

- 1 – корпус; 2 – шкаф с электрооборудованием;
- 3 – вводной воздушный выключатель; 4 – панель с фотоприемниками;
- 5 – подаватель; 6 – марзан; 7 – пульт электронного управления;
- 8 – сопла воздушной подушки приемного стола;
- 9 – панель со светоизлучателями; 10 – переключатели режимов;
- 11 – две кнопки «Пуск»; 12 – стол; 13 – замок с ключом;
- 14 – педаль

Световая завеса организована фотоэлектрическими датчиками SQ1–SQ6, каждый из которых контролирует определенной ширины горизонтальную зону.

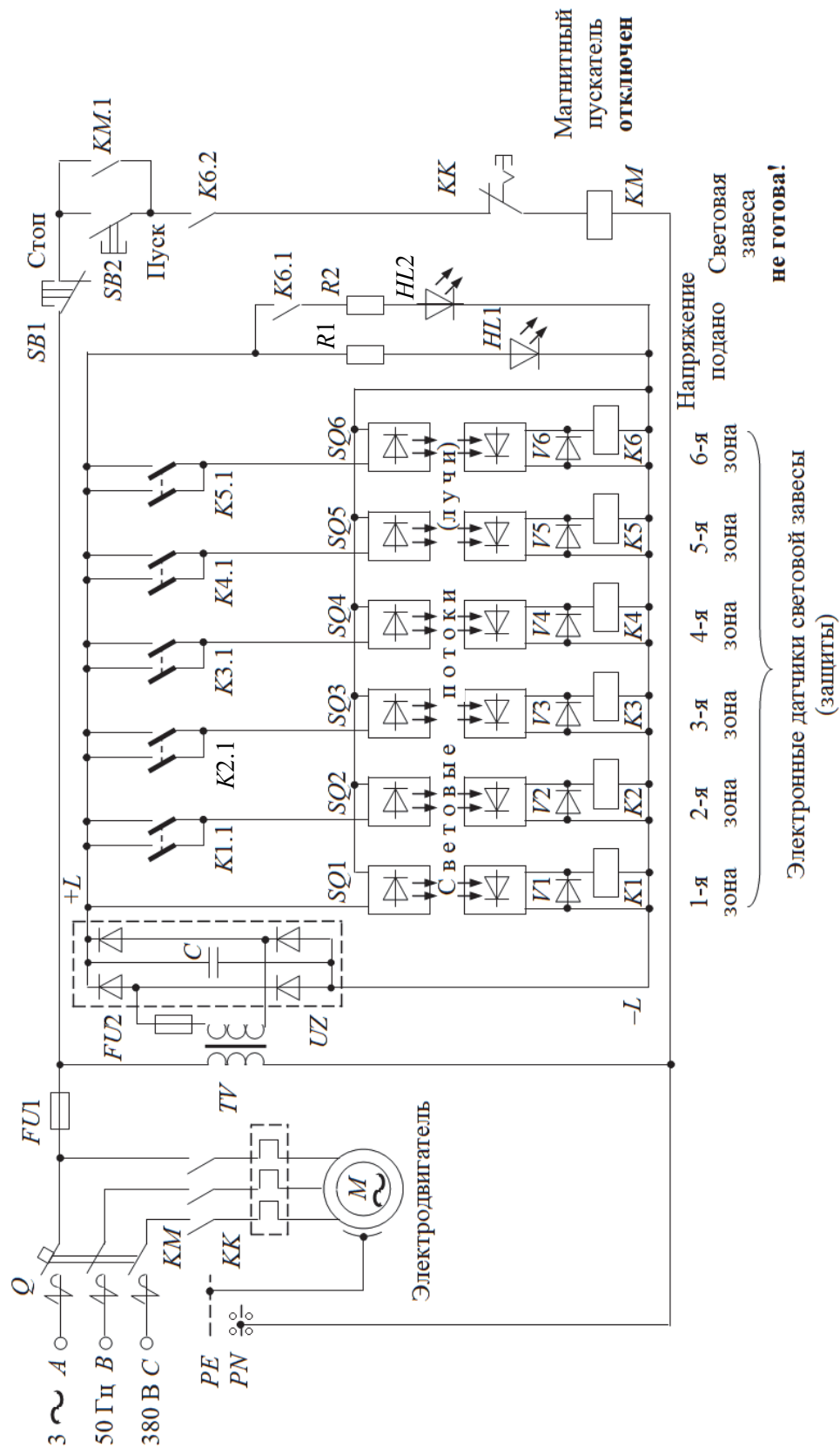


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема световой завесы

Фотоэлектрический датчик представляет собой устройство, имеющее источник излучения, фотоприемник и схему усиления выходного сигнала, поступающего на исполнительное электромеханическое реле, например *K1*. Датчики *SQ1–SQ6* и световая сигнализация *HL1*, *HL2* имеют индивидуальный источник питания, состоящий из трансформатора *TV* и диодного двухполупериодного выпрямителя *UZ*, рабочие цепи которого защищены плавким предохранителем *FU2*. Напряжение питания на схему подается включением вводного автоматического выключателя *Q3*, расположенного на боковой стенке шкафа с электрооборудованием 2.

Работа схемы приводится в действие включением автоматического воздушного выключателя *Q*, подающего на схему напряжение 3 ~ 50 Гц, 380 В. При наличии напряжения загорается светодиод *HL1* – «Напряжение подано». Одновременно светоизлучатель фотоэлектрического датчика *SQ1* сформирует световую полосу, которая своим воздействием на фотоприемник датчика приведет к включению реле *K1*. Его параллельно соединенные для надежного контакта замыкания замыкающие контакты *K1.1* подадут напряжение питания на фотоэлектрический датчик *SQ2*. Это, как и в предыдущем случае, сформирует световую полосу, которая своим воздействием на фотоприемник датчика приведет к включению реле *K2*. Его контакты подадут напряжение питания на фотоэлектрический датчик *SQ3*. Аналогичные действия включающихся элементов схемы приведут к включению светодиода *HL2* – «Световая завеса готова» (замкнется контакт *K6.1*). Одновременно замкнувшийся контакт *K6.2* подготовит цепь включения магнитного пускателя *KM*, который управляет работой электродвигателя *M* замыканием/размыканием своих силовых контактов в цепи обмоток статора двигателя, например механизма резания. Осуществляется это управление оператором нажатием кнопки *SB2* «Пуск». При включении магнитного пускателя *KM* его контакт *KM.1* шунтирует замыкающий контакт кнопки *SB2* и тем самым становится на самопитание. Нажатие кнопки можно прекратить. Если рука оператора или любой объект пересечет световую завесу в какой-то из шести контролируемых зон, то отключится магнитный пускатель и двигатель остановится. Допустим, это произойдет в зоне действия фотоэлектрического датчика *SQ3*. Перекрытие светового потока приведет к прекращению его воздействия на фотоприемник датчика и, как

следствие, к отключению реле  $K3$ . Контакты  $K3.1$  разомкнутся в цепи питания фотоэлектрического датчика  $SQ4$ , что приведет к пропаданию светового потока в этом датчике и, как следствие, к отключению реле  $K4$ . Контакты  $K4.1$  разомкнутся в цепи питания фотоэлектрического датчика  $SQ5$ , что приведет к пропаданию светового потока в этом датчике и, как следствие, к отключению реле  $K5$  и т. д. В конечном счете, отключится реле  $K6$  и его замыкающий контакт  $K6.2$  разомкнется обесточив обмотку пускателя  $KM$ . Он отключится и своими силовыми контактами снимет напряжение с обмоток электродвигателя. Двигатель остановится. Светодиод  $HL2$  погаснет, что соответствует тому, что «Световая завеса неготова». В случае освобождения охранной зоны от рук оператора и посторонних объектов схема автоматически восстановит свое функционирование по вышеописанному алгоритму. Прекращение действия световой завесы достигается снятием напряжения питания со схемы автоматическим воздушным выключателем  $Q$ . На рис. 4 приведен эскиз расположения элементов световой завесы и световых полос защитных зон.

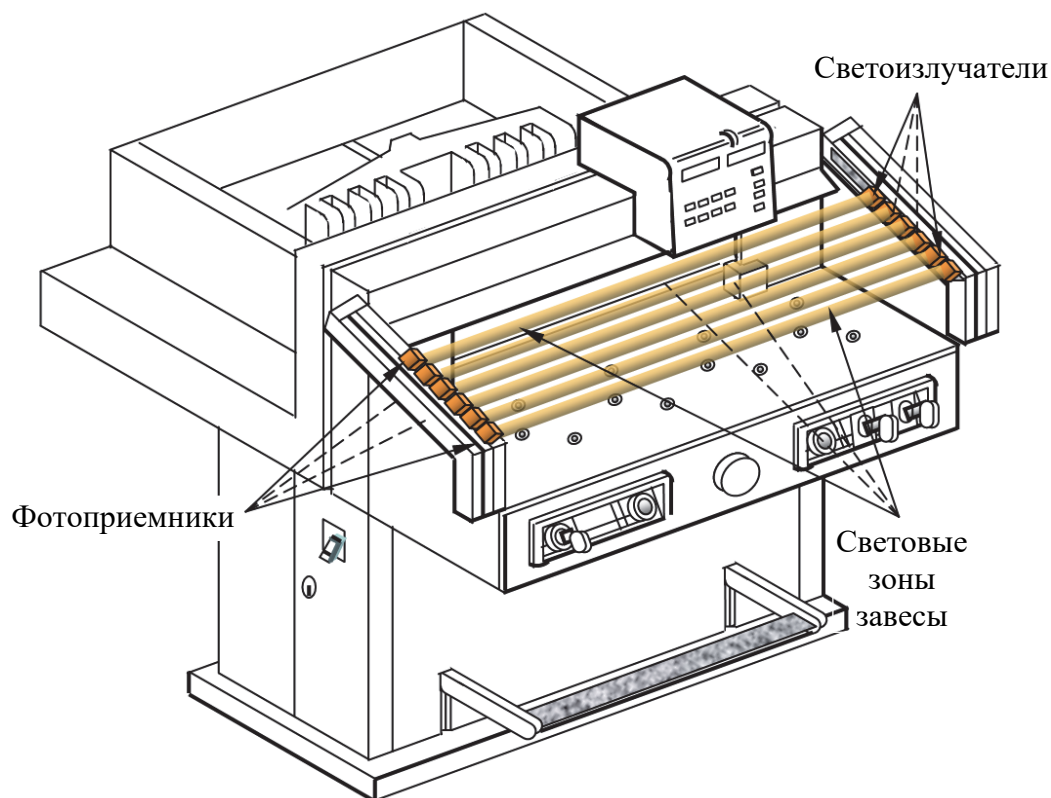


Рис. 3. Эскиз расположения световой завесы одноножевой резальной машины



## Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.
2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).
3. Наведите мышью курсор на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).
4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».
5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».
6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд», в котором изучите состав стенда и его электрическую принципиальную схему.
7. Откройте анимационное окно стенда, кликнув курсором в виде руки по схеме. Визуально ознакомьтесь с элементами схемы и их цветовой окраской.
8. Подайте трехфазное напряжение переменного тока на стенд. Для этого наведите мышью курсор в виде руки на надпись « $3\sim 50$  Гц, 380 В» и кликните левой клавишей мыши. Табло засветится – напряжение подано на стенд. Обратите внимание на то, что изображение вводов трех фаз *A*, *B* и *C* приобретут цвета, соответствующие ГОСТу.
9. Подайте автоматическим воздушным выключателем *Q* трехфазное напряжение переменного тока на схему, кликнув курсором в виде руки по изображению выключателя *Q*. Проследите за замыкающимся состоянием контактов выключателя. Обратите внимание на появление световой индикации о выполнении этой команды (светодиод *HL1* будет излучать желтый цвет и появится окно «Напряжение подано»). Обратите внимание на цвет начального состояния элементов схемы. Красный цвет обозначает, что элемент находится в отключенном состоянии. Зеленый цвет сообщает о том, что элемент перешел во включенное состояние. Наблюдайте последовательное включение зон световой завесы (от первой зоны до шестой). Это индицируется желтым цветом каждого фотоэлектрического датчика *SQ*. После готовности шестой зоны (последней) включается реле *K6*, его замыкающие контакты замкнутся и включат светодиод *HL2*, появится табло «Световая завеса включена».

10. Обратите внимание на появляющееся табло подсказок, указывающих дальнейшие действия со схемой. Например, «Электрооборудование готово к работе. Для включения схемы нажмите кнопку *SB2*».

11. Приведите в действие электрооборудование (электродвигатель *M*). Для этого наведите мышью курсор на изображение кнопки *SB2* и кликните левой клавишей мыши. Проследите за состоянием контактов кнопки *SB2*, катушки пускателя *KM*, его силовых контактов, блок-контактов и работой электродвигателя (он должен прийти во вращение).

12. Отработайте действие световой защиты. Слева появилось изображение руки. Кликните курсором на него. Выберите любую световую зону для проверки работы световой завесы наведением мышью курсора на изображение зоны и кликанием левой клавишей мыши. Рука переместится в эту зону и перекроет ее световой поток. Начнется отключение аппаратуры, контролирующей соответствующие зоны, по логике построения принципиальной электрической схемы световой завесы. Проследите работу схемы по отключению электрооборудования (электродвигателя) – выполнение защитной функции световой завесы. При этом слева появится в качестве примера изображение одноножевой резальной машины, в составе которой имеется световая завеса с шестью охранными зонами. Этим демонстрируется действие световой завесы на физическом объекте. Проследите на этом объекте работу световой завесы.

13. Повторите пункт 12 для других защитных зон. Убедитесь в корректной работе световой завесы.

14. Отключите электрооборудование (электродвигатель) кликанием курсором по изображению кнопки *SB1*. Проследите за переключениями аппаратов и их элементов в схеме.

15. Для завершения лабораторной работы отключите трехфазное напряжение питания со схемы кликанием курсором по изображению автоматического воздушного выключателя *Q*. Затем отключите трехфазное напряжение питания от стенда кликанием курсором по изображению табло с надписью «3~50 Гц, 380 В». Табло погаснет – напряжение отключено.

16. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

## Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Опишите порядок переключения аппаратов и их элементов в схеме при выполнении пункта 13.
3. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

## Контрольные вопросы

1. Какие защитные зоны сохранят свое действие, а какие прекратят, если, например, третью защитную зону перекроет посторонний объект?
2. С какой целью подача напряжения питания на фотоэлектрические датчики  $SQ$  выполняется параллельно включенными замыкающими контактами реле  $K$ ?
3. Какие защитные зоны сохранят свое действие, а какие прекратят, если, например, шестую защитную зону перекроет посторонний объект?
4. Для чего предназначена емкость конденсатора  $C$ , включенная параллельно выходу двухполупериодного диодного выпрямителя? Поясните ответ графическим изображением этого процесса.
5. Правильно ли включен светодиод  $HL1$  или  $HL2$  для выполнения своей функции?
6. Для чего применен трансформатор  $TM$  в схеме питания элементов световой завесы? Объясните почему.
7. Объясните назначение сопротивления резистора, включенного в цепь питания светодиода  $HL1$  или  $HL2$ .
8. Что называется функциональным резервом световой завесы?

## ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ СИНХРОНИЗАТОРА

**Цель работы:** изучение построения схемы синхронизатора и его функционирования.

### Теоретические сведения

Силовые полупроводниковые устройства в виде управляемых выпрямителей, автономных инверторов напряжения, полупроводниковых регуляторов напряжения, силовых полупроводниковых ключей имеют системы управления, которые синхронно с входным напряжением формируют импульсы управления их силовыми вентилями с наличием на них прямого силового напряжения для нормативного включения. Для выполнения данного условия системы управления такими устройствами имеют в своем составе блоки синхронизации, в схемное выполнение которых в большинстве случаев положен принцип использования тех же силовых напряжений. Они прикладываются к силовым вентилям. Из этих напряжений зачастую формируется пилообразное напряжение, с помощью которого строится горизонтальная или вертикальная система управления с использованием аналоговых сигналов для получения импульсов управления, имеющих регулируемый сдвиг относительно начала отсчета. Использование логических цифровых устройств, таких как микросхемы, микроконтроллеры, микропроцессоры, предусматривает создание внешних или внутренних синхронизаторов цифрового исполнения. В качестве примера рассмотрим схему синхронизатора системы управления полупроводникового регулятора напряжения, реализующего широтно-импульсную модуляцию питающего асинхронный двигатель напряжения (рисунок). Синхронизатор состоит из трехфазного диодного выпрямительного моста  $UZ$  переменного напряжения питания силового преобразователя. В каждое плечо выпрямителя включена одна часть оптопары, например  $VD1$ . Вторая часть которой формирует с помощью отдельного источника питания  $U_{пит}$  логический сигнал, характеризующий интервалы силового напряжения, на которых следует выполнять управление силовыми вентилями преобразователя.

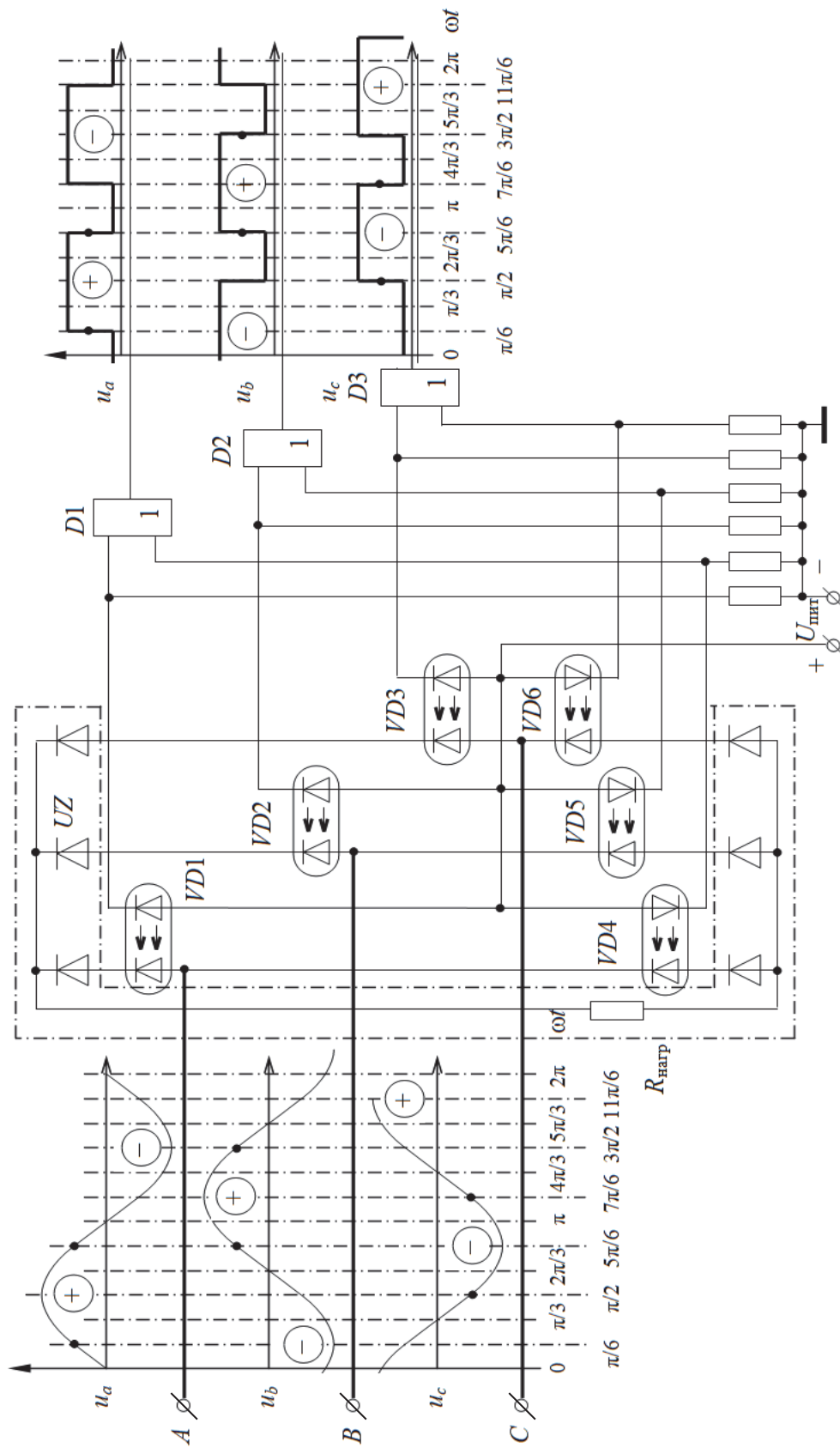


Схема синхронизатора

Оптопара в каждом плече начинает функционировать только на том интервале переменного напряжения, где его значение превышает значение напряжения других фаз или меньше значения напряжения других фаз. Например, для положительного значения напряжения фазы  $A$  этот интервал находится между  $\pi/6$  и  $5\pi/6$ , на нем напряжение фазы  $A$  больше по значению напряжения фазы  $C$  в начале интервала и напряжения фазы  $B$  в конце интервала. После фазы  $A$  наступает такой же интервал для фазы  $B$  и находится он между  $5\pi/6$  и  $3\pi/2$ , а затем – интервал для фазы  $C$  между  $3\pi/2$  и  $13\pi/6$  (или между  $\pi/2$  и  $\pi/3$ ). Для отрицательного значения напряжения фазы  $A$  этот интервал находится между  $7\pi/6$  и  $11\pi/6$ , на нем напряжение фазы  $A$  меньше по значению напряжения фазы  $C$  в начале интервала и напряжения фазы  $B$  в конце интервала. После фазы  $A$  наступает такой же интервал для фазы  $B$  и находится он между  $11\pi/6$  и  $5\pi/2$ , а затем – интервал для фазы  $C$  между  $5\pi/2$  и  $19\pi/6$  (или между  $\pi/2$  и  $7\pi/6$ ). После появления тока фаз в указанных интервалах оптопара, включаясь, подает высокий логический уровень (напряжение отдельного источника питания) на входы логических элементов типа «ИЛИ» соответствующей фазы, и на выходе этих элементов также появляется единичный высокий логический уровень. Полученные последовательности импульсов на выходах логических элементов  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$  ( $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$ ) используются для разрешающего сигнала при формировании силовыми вентилями широтно-импульсного напряжения на выходе регулятора.

Синхронизатор в данной схеме выполняет три функции: первая заключается в гальванической развязке питающей сети, с которой синхронизируется система управления силовыми вентилями регулятора, вторая – в выделении участков напряжения силовой цепи, на которых управляются силовые ключи (участки  $a - b$ ,  $c - d$ ,  $e - f$ ), а третья – в преобразовании аналогового сигнала (синусоидальных напряжений на входе синхронизатора) в цифровой сигнал (в комбинацию логических единиц и нулей на выходе синхронизатора). Первая и третья функции выполняются путем использования в схеме синхронизатора оптронных пар, вторая – схемным решением синхронизатора. На выходных эпюрах синхронизатора знаками «плюс» и «минус» обозначены полупериоды выходного напряжения, из которых получены логические единицы.

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.
2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с. 4).
3. Наведите мышью курсор на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).
4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».
5. Внимательно ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».
6. Известным приемом кликните курсором в виде руки по иконке «Электронный стенд». Откроется окно «Схема синхронизатора». Изучите его электрическую принципиальную схему.
7. Перейдите к анимационному варианту схемы стенда, кликнув мышью курсором в виде руки по схеме.
8. В открывшемся окне (рисунок на с. 110) изучите элементы устройства и схемы наведением курсора в виде руки на любой элемент. Он подсвечивается трассировкой.
9. Изучите работу схемы синхронизатора. Приведите ее в действие, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке кнопки «Пуск». Проследите за изменением входного в синхронизатор напряжения, за работой каждого элемента схемы: выпрямительного моста, работающего на активную нагрузку; оптопар в каждом плече этого моста, а также за формированием напряжения на выходах элементов  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$ . Определите по эпюрам выходного напряжения продолжительность (в единицах времени) логической единицы любой фазы, полагая, что частота входного напряжения 50 Гц. Вычислите в процентном отношении ее долю в продолжительности периода входного напряжения.
10. При выполнении пункта 9 кнопкой «Стоп» остановите работу схемы синхронизатора. Проанализируйте состояние схемы, сделав вывод о ее работе. Продолжите работу схемы включением кнопки «Пуск».
11. Для повторной работы схемы снова воспользуйтесь кнопками «Пуск» и «Стоп».

12. Завершите лабораторную работу, закрыв электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсор в виде руки по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Приведите результаты, полученные при выполнении пункта 9.
3. Приведете краткие выводы по содержанию работы.

### Контрольные вопросы

1. Изобразите, каким будет напряжение на выходе синхронизатора, если в каком-либо плече выпрямителя  $UZ$  выйдет из строя диод и образуется разрыв цепи.

2. Изобразите, каким будет напряжение на выходе синхронизатора, если в каком-либо плече выпрямителя  $UZ$  выйдет из строя диод и образуется соединение цепи.

3. Изобразите, каким будет напряжение на выходе синхронизатора, если напряжение  $U_{пит}$  имеет пилообразную форму.

4. С какой целью в каждом плече трехфазного мостового выпрямителя  $UZ$  включены оптронные элементы?

5. Как называются логические элементы, обозначенные на схеме  $D1, D2, D3$ ? Составьте таблицу истинности для этого типа цифрового элемента.

6. Почему цифровой сигнал на выходе синхронизатора не имеет отрицательной области?

7. Приведите схему, в которой начерчена траектория протекания тока через один любой нагрузочный резистор.



## ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ РЕВЕРСИВНОГО СЧЕТЧИКА

**Цель работы:** изучение схемы и принципа работы реверсивного счетчика.

### Теоретические сведения

Счетчиком (от англ. *counter*) называется автомат, выполняющий функции подсчета количества импульсов единичных сигналов, поступивших на его вход, а также функции формирования и запоминания некоторого двоичного кода, соответствующего этому количеству. Другими словами, счетчик является преобразователем числоимпульсного кода в некоторый двоичный код. Помимо указанных функций счетчики иногда также могут выполнять функции приема и выдачи кода. Входными сигналами счетчика является сигнал суммирующего или вычитающего счета, при этом одновременная подача этих сигналов запрещена. В качестве выходной функции счетчика может быть задан сигнал переполнения, получающийся при суммировании, или сигнал заема, возникающий при вычитании во время перехода счетчика через нуль. Основным результатом работы счетчика является накопленный в нем код, определяемый состояниями элементарных автоматов.

Число элементарных автоматов (триггеров), необходимых для построения счетчика с заданным коэффициентом пересчета, равно числу его разрядов и определяется по формуле

$$m = \log_2 N,$$

где  $N$  – коэффициент пересчета (модуль, период счетчика) – максимальное число внутренних состояний, которое должен иметь счетчик. Очевидно, что это число равно максимальному числу входных сигналов, которое может сосчитать счетчик. К другим важнейшим характеристикам счетчика относятся:

– время регистрации: интервал времени между поступлением входного сигнала и окончанием самого длинного переходного процесса в схеме;

– разрешающая способность: минимально допустимый период следования входных сигналов, когда счетчик работает без сбоев.

Схемы счетчиков можно классифицировать по следующим признакам.

1. По основанию системы счисления счетчики делятся на двоичные и десятичные (двоично-десятичные). Двоичные счетчики, в свою очередь, подразделяются на счетчики, модуль пересчета которых равен  $2^m$  (где  $m$  – разрядность счетчика). Последние называются счетчиками по модулю  $M$  ( $M$  – число, не кратное степени двойки).

2. По направлению переходов счетчики принято подразделять на суммирующие, вычитающие и реверсивные. К последним относятся счетчики, способные выполнять операции суммирования и вычитания.

3. По способу построения цепей сигналов переноса различают счетчики: с последовательным переносом, со сквозным переносом, с параллельным (сквозным) переносом, с частично групповым переносом.

4. По способу организации счета счетчики подразделяют на синхронные и асинхронные.

Время установки кода  $t_{уст}$  является основным фактором, определяющим выбор способа переключения триггеров. При асинхронном способе  $t_{уст}$  растет с увеличением числа триггеров ( $m$ ) в счетчике, а при синхронном способе  $t_{уст}$  не зависит от величины  $m$ . Следует также учитывать, что с триггеров счетчика снимаемый параллельный код иногда подается на комбинационную схему (например, на дешифратор). В этом случае при асинхронном способе из-за неодновременного срабатывания триггеров счетчика возможно появление ложных логических сигналов на выходах комбинационной схемы. Поэтому более предпочтительным, как правило, является синхронный способ организации счета, хотя при его использовании в счетчиках с большим числом триггеров ( $m > 5-10$ ) предъявляются повышенные требования к нагрузочной способности источников синхросигналов. Асинхронный способ целесообразно применять в счетчиках, используемых в качестве делителей частоты.

Некоторые счетчики имеют цепи внешней установки начального состояния. Это состояние может также устанавливаться с помощью цепей обратной связи, имеющихся в самом счетчике.

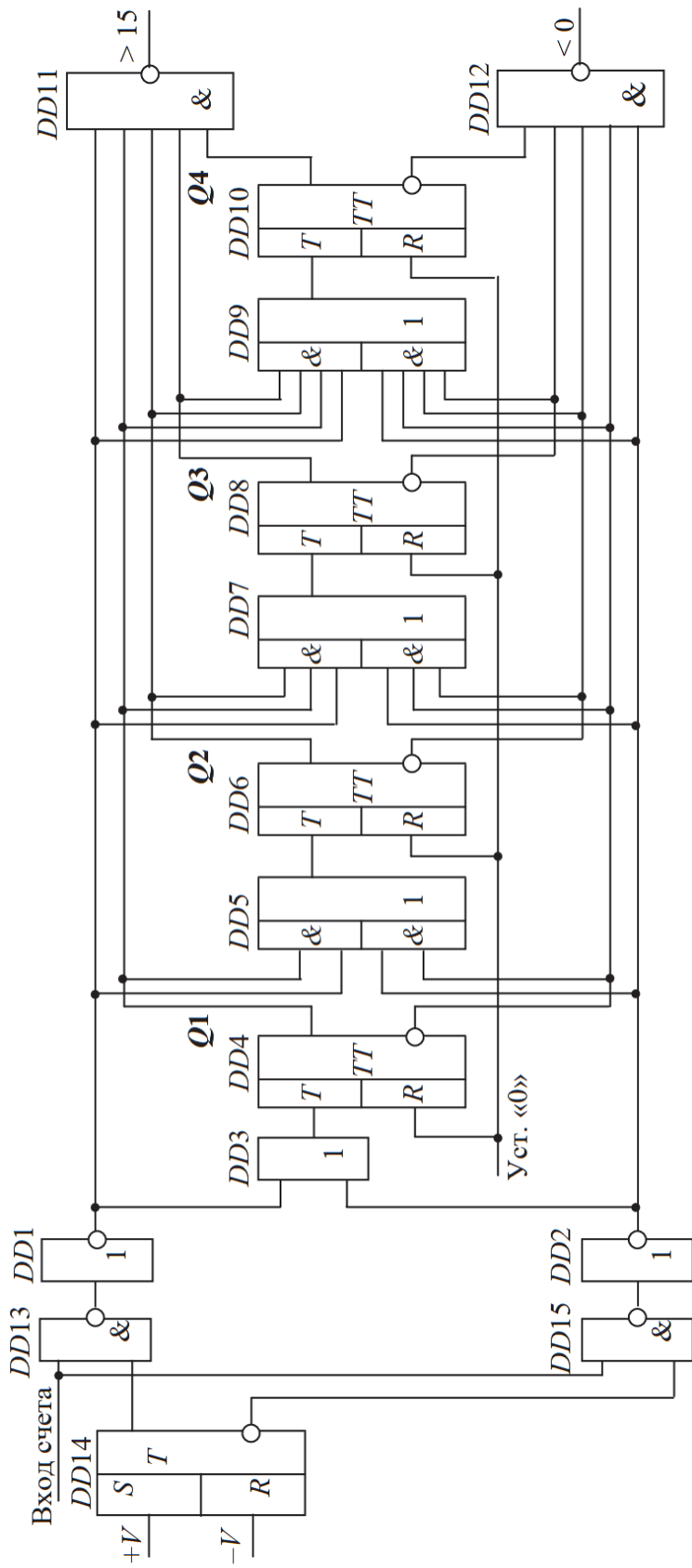


Рис. 1. Схема реверсивного счетчика:

$DD1, DD2$  – элемент «НЕ»;  $DD3$  – «2ИЛИ»;  $DD13, DD15$  – элемент «2И-НЕ»;

$DD4, DD6, DD8, DD10$  –  $T$ -триггеры;

$DD5$  – элемент «2И-ИЛИ»;  $DD7$  – элемент «3И-ИЛИ»;  $DD9$  – элемент «4И-ИЛИ»;

$DD14$  –  $RS$ -триггер;  $DD11, DD12$  – элемент «5И-НЕ»

Кроме того, счетчик может устанавливаться в начальное состояние после завершения одного цикла работы – подсчета количества входных сигналов, равного модулю счетчика. Схема реверсивного счетчика приведена на рис. 1. Вначале все триггеры реверсивного счетчика устанавливаются в нулевое состояние по  $R$ -входу активным уровнем сигнала (подачей логической «1»), в результате чего прямые выходы триггеров приобретают логический «0», таким образом, имеем  $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 0$ . Рассмотрим процедуру суммирования импульсов (сложения чисел). Для этого на вход  $+V$   $RS$ -триггера  $DD14$  подается логическая «1», чем и выбирается направление счета. Благодаря этому на одном из входов логического элемента «2И-НЕ»  $DD13$  в процессе суммирования будет всегда присутствовать «1». Второй вход этого элемента является входом счетчика – «Вход счета», на который поступает последовательность импульсов. Первый из них переводит  $T$ -триггер ( $DD4$ ) в состояние, при котором на его выходе появится логическая единица:  $Q_1 = 1$ . Она же выставится и на одном входе элемента «2И» ( $DD5$ ), подготовив его к управлению триггером ( $DD6$ ). Второй импульс входной последовательности через элементы  $DD13$  и  $DD1$  подаст логическую «1» на второй вход элемента «2И» ( $DD5$ ) и совместно с уже имеющейся логической «1» на его первом входе переведет в единичное состояние триггер следующего разряда ( $DD6$ ). Однако с переводом  $T$ -триггера  $DD6$  в единичное состояние второй импульс переведет  $T$ -триггер  $DD4$  в нулевое состояние, т. е. выход  $Q_1$  станет равным 0. Третий импульс снова переведет  $T$ -триггер  $DD4$  в единичное состояние, а  $T$ -триггер  $DD6$  сохранит свое состояние, поскольку его тактовый вход будет заперт элементом «2И», так как на одном его входе будет логический ноль от  $T$ -триггера  $DD4$  ( $Q_1 = 0$ ). При появлении четвертого импульса открываются элементы «2И» ( $DD5, DD7$ ), поскольку он создает на выходах  $T$ -триггеров  $DD4$  и  $DD6$ :  $Q_1 = Q_2 = 1$ , и  $T$ -триггер  $DD8$  переходит в единичное состояние  $Q_3 = 1$ , а  $T$ -триггеры  $DD4$  и  $DD6$  одновременно в нулевое:  $Q_1 = Q_2 = 0$ . Таким образом, переход импульса от младшего разряда к старшему синхронизирован входными импульсами. Этот переход происходит одновременно во всех разрядах с одинаковым запаздыванием, равным времени срабатывания одного  $T$ -триггера (время запаздывания распространения сигнала по триггеру). После 15-го импульса счетчик покажет максимальное число  $Y = 1111$ . При этом на всех входах конъюнктора «5И-НЕ» ( $DD11$ ), кроме тактового входа

(выход элемента «НЕ» ( $DD1$ )), будут логические единицы. Следовательно, 16-й импульс проходит на выход конъюнктора «5И-НЕ»  $DD11$ , обозначенный символом «>15». Этот сигнал указывает на окончание заполнения всех разрядов счетчика. Так, счетчик перебирает свои состояния в возрастающем порядке.

Процедура вычитания выполняется счетчиком в случае подачи на вход  $\bar{V}RS$ -триггера  $DD14$  логической «1», чем и выбирается обратное направление счета. Благодаря этому на одном из входов «2И-НЕ»  $DD13$  в процессе вычитания всегда будет присутствовать «0».

Счетчик начнет выполнять режим вычитания из выходов  $T$ -триггеров  $DD4 = DD6 = DD8 = DD10 = 1111$  последовательно поступающих импульсов. Шестнадцатый импульс проходит через открытый конъюнктор «5И» ( $DD12$ ) на его выход, обозначенный символом «<0». Этот сигнал указывает на окончание цикла вычитания в пределах четырех разрядов счетчика. Как в процессе суммирования, так и в процессе вычитания командой «Установка "0"» можно установить счетчик в нулевое состояние.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с инструкцией по навигации и изучению электронной лабораторной работы, общими правилами работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.

2. Откройте согласно пунктам 1 и 2 инструкции презентационное окно (титул) лабораторной работы (см. с.4).

3. Наведите мышью курсор в виде руки на иконку ЭУПО и кликните левой клавишей мыши – откроется меню (см. с. 5).

4. Повторите при необходимости теоретический материал лабораторной работы в разделе «Теоретические сведения».

5. Ознакомьтесь с разделом «Порядок выполнения работы».

6. Известным приемом откройте окно «Электронный стенд», в котором изучите состав стенда и его электрическую принципиальную схему.

7. Обратитесь к электронному лабораторному стенду (рис. 2) и изучите его схемное устройство. С помощью курсора определите расположение разрядов вычисляемого числа в построении счетчика.

8. Установите счетчик в нулевое состояние. Для этого наведите мышью курсор в виде руки на кнопку «Установка "0"» и кликните левой клавишей мыши. Проверьте это по состояниям выходов  $Q1$ ,

$Q2$ ,  $Q3$  и  $Q4$   $T$ -триггеров  $DD4$ ,  $DD6$ ,  $DD8$ ,  $DD10$  – на неинвертирующих выходах этих триггеров должен быть выставлен логический «0». Также доступна операция «Сброс установки нуля», реализуемая при наведении мышью курсора в виде руки и кликании левой клавишей мыши.

При работе с анимационной схемой счетчика все время фиксируйте состояния входов-выходов всех его логических элементов.

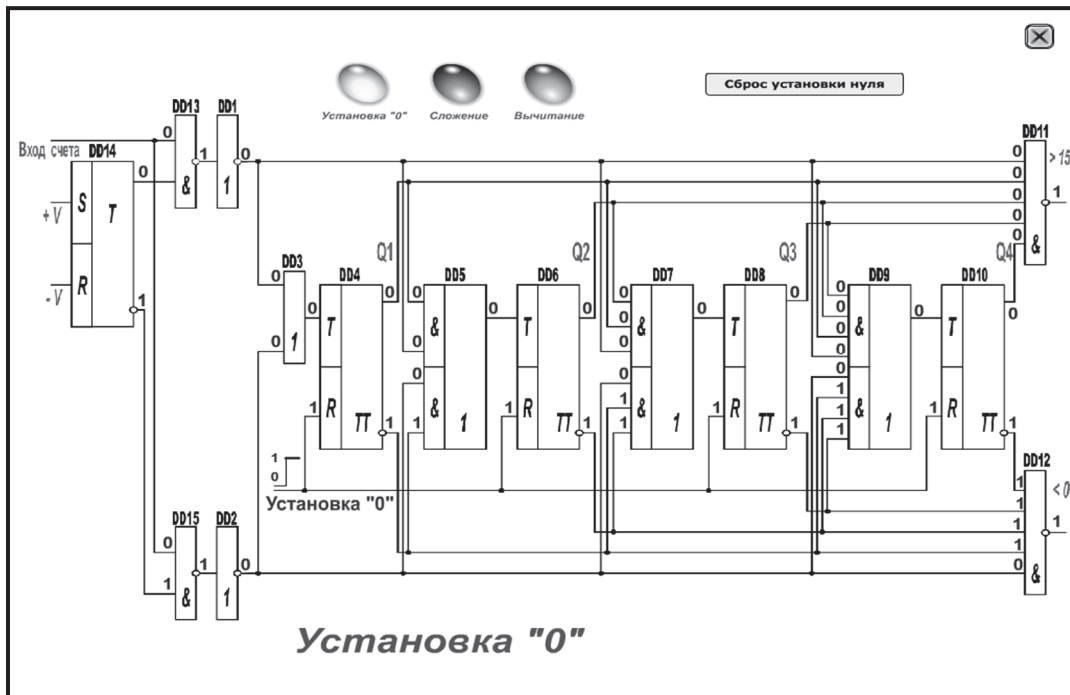


Рис. 2. Окно стенда со схемой счетчика для выполнения команды «Установка «0»»

9. Выберите операцию «Сложение», кликнув мышью курсор в виде руки по кнопке «Сложение». В результате этого по команде  $+V$  логическая «1» подается на вход  $S$   $RS$ -триггера  $DD14$ . Этим выбирается направление счѐта. Появится табло «Начало счѐта» и табло «Сложение – Управление счѐтом», а все входы-выходы элементов счетчика обозначатся логическими их состояниями.

10. Рассмотрите работу счетчика в режиме сложения, для этого необходимо подавать на «Вход счѐта» пошагово последовательность импульсов для их счѐта (рис. 3). Управление процедурой сложения выполняется кликанием мышью курсора в виде руки по кнопке

в форме треугольников, расположенные слева и справа от табло «Сложение – Управление счетом».

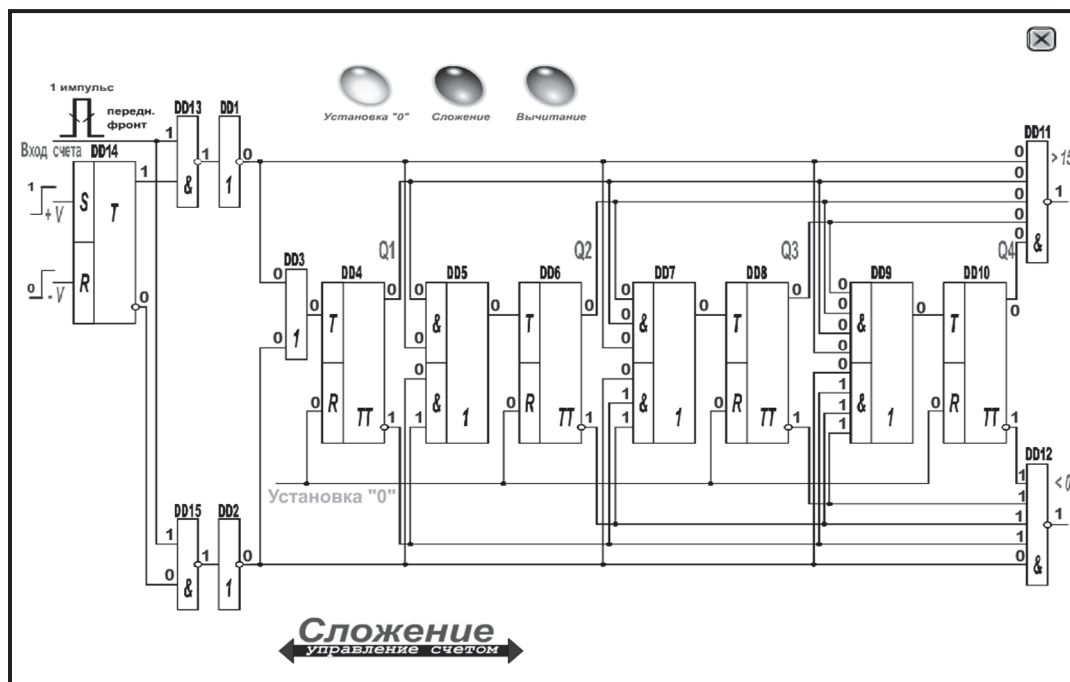


Рис. 3. Окно стенда со схемой счетчика при выполнении процедуры сложения

Рассмотрим управление счетчиком на примере прохождения первого импульса. Его появление на «Входе счета» вызывается кликом по треугольнику, расположенному справа от табло «Сложение – Управление счетом». Обозначается его номер «1 импульс» и «передн. фронт» (рис. 3). Исчезнет табло «Начало счета». При этом обратите внимание на первый вход логического элемента «2И-НЕ» DD13, на котором будет выставлена логическая «1». При необходимости вернитесь на шаг назад, кликнув по треугольнику, сположенному слева от табло «Сложение – Управление счетом». Второй клик по треугольнику, расположенному справа на указанном табло, инициирует работу логического элемента «2И-НЕ» DD13. В результате на его выходе выставляется логический «0». Третий клик в этом же месте инициирует работу логического элемента «НЕ» DD1. После чего на его выходе выставляется логическая «1». Проследите за состояниями входов-выходов всех логических элементов счетчика, особенно за входами логического элемента – конъюктора «5И» DD11, где накапливается результат счета. Четвертый

клик в этом же месте обозначает вступление в работу заднего фронта импульса. Появляется слева от импульса визуализация надписи «задн. фронт». На входе логического элемента «2И-НЕ» *DD13* выставляется логический «0». При этом на первом входе конъюктора «5И» *DD11* выставится логическая «1». Пятый клик по треугольнику, расположенному справа от табло «Сложение – Управление счетом», инициирует работу логического элемента «2И-НЕ» *DD13*. На его выходе выставляется логическая «1». Шестой клик в том же месте инициирует работу логического элемента «НЕ», седьмой клик в том же месте инициирует работу логического элемента счетного *T*-триггера *DD4*. В результате выставляется логическая «1» на его выходе, а также на первом входе логического элемента «2И-ИЛИ» *DD5*, на втором входе логического элемента «3И-ИЛИ» *DD7* и на третьем входе логического элемента «4И-ИЛИ» *DD9*. Восьмой клик в том же месте инициирует работу логического элемента – дизъюктора «2И» *DD3* и на его выходе выставляется логический «0». На этом действие первого импульса заканчивается.

Иницируйте появление второго импульса наведением мышью курсора в виде руки на желтый квадрат с изображением импульса на «Входе счета» и кликните левой клавишей мыши. Появится надпись «2 импульс». Верните курсор к табло «Сложение – Управление счетом». Кликните по треугольнику, расположенному справа указанного табло. Иницируется работа логического элемента «2И-НЕ» *DD13*. В результате на его выходе выставляется логический «0». Кликните по треугольнику еще раз – инициируется работа логического элемента «НЕ» *DD1*. В результате на его выходе выставляется логическая «1». Следующий клик по треугольнику обозначает вступление в работу заднего фронта импульса. Появляется слева от импульса визуализация надписи «задн. фронт». На входе логического элемента «2И-НЕ» *DD13* выставляется логический «0». Следующий клик инициирует его работу и на выходе *DD13* выставляется логическая «1». Следующий клик инициирует работу логического элемента «НЕ» *DD1* и на его выходе выставляется логический «0». На этом действие второго импульса заканчивается.

Иницируйте появление третьего импульса наведением мышью курсора в виде руки на желтый квадрат с изображением импульса на «Входе счета» и кликните левой клавишей мыши. Появится надпись «3 импульс». Верните курсор к табло «Сложение – Управление



счетом». Кликайте пошагово по треугольнику, расположенному справа на указанном табло, и последовательно следите за работой схемы счетчика по описанному выше алгоритму.

11. Выполняйте заполнение счетчика по процедуре «Сложение» до появления на входах конъюктора «5И» DD11 кодовой комбинации «01111».

12. **Внимание!** Иницируйте появление 16-го импульса наведением мышью курсора в виде руки на желтый квадрат с изображением импульса на «Входе счета» и кликайте левой клавишей мыши, пока не появится надпись «16 импульс». Верните курсор к табло «Сложение – Управление счетом». Кликайте по указанному треугольнику, иницируя работу логического элемента «2И-НЕ» DD13, логического элемента «НЕ» DD1 до появления на входах конъюктора «5И» DD11 кодовой комбинации «11111». Следующий клик по треугольнику иницирует работу конъюктора «5И» DD11, в итоге на его выходе выставляется логический «0», что соответствует сигналу «>15» и говорит о полном заполнении счетчика. После выполнения сложения шестнадцати импульсов из указанной последовательности появится окно «Счетчик заполнен. Результат сложения 16 импульсов достигнут».

13. Обнулите счетчик.

14. Рассмотрите работу счетчика в режиме вычитания (рис. 4).

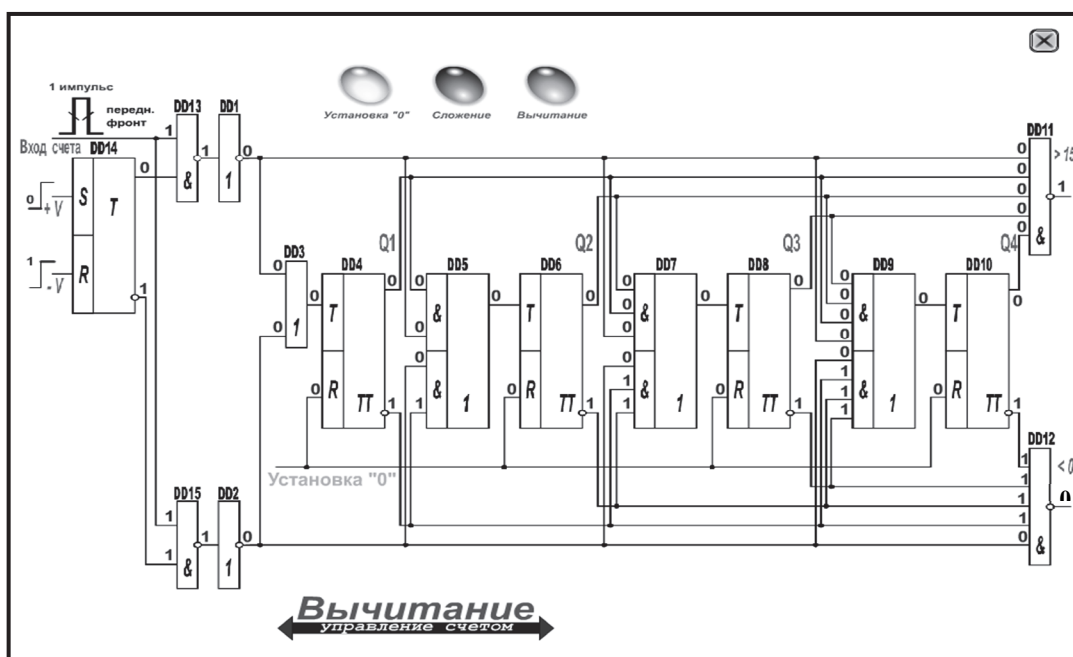


Рис. 4. Окно стенда со схемой счетчика при выполнении процедуры вычитания

Выберите операцию «Вычитание», кликнув мышью курсор в виде руки по кнопке «Вычитание». В результате этого по команде  $-V$  логическая «1» подается на вход  $R$   $RS$ -триггера  $DD14$ , за счет чего выбирается направление счета. Появятся табло «Начало счета» и табло «Вычитание – Управление счетом», а все входы-выходы элементов счетчика обозначатся логическими их состояниями. Управление процедурой вычитания производится описанными выше алгоритмами при выполнении сложения. При этом необходимо следить за работой логического элемента «2И-НЕ»  $DD15$ , логического элемента «НЕ»  $DD2$ , всех ранее указанных логических элементов счетчика, а также за работой конъюктора «5И»  $DD12$ . В конце процедуры вычитания на входах конъюктора «5И»  $DD12$  должна появиться кодовая комбинация «00000». Следующий клик по треугольнику инициирует работу конъюктора «5И»  $DD12$  и на его выходе выставляется логическая «1», соответствующая сигналу «<0» и свидетельствующая, что счетчик заполнен полностью. В результате будет выполнено вычитание шестнадцати импульсов из указанной последовательности и появится окно «Счетчик заполнен. Результат вычитания 16 импульсов достигнут».

15. Завершите работу со схемой счетчика его обнулением.

16. Закройте электронное издание лабораторного стенда, кликнув мышью курсора по иконке «Выход» в верхнем правом углу окна.

### Содержание отчета

1. Укажите название и цель работы.
2. Приведите краткие выводы по содержанию работы.

### Контрольные вопросы

1. Какая схема называется счетчиком?
2. По каким признакам классифицируют счетчики?
3. Какие схемы счетчиков называются реверсивными?
4. Каким образом осуществляется установка счетчика в нулевое состояние?
5. Какой код выставляется на входе и на выходе счетчика при подаче 16-го импульса (для операции сложения или вычитания)?

6. Какую функцию выполняют  $T$ -триггеры?

7. Какое состояние примет схема счетчика, если в процессе счета на вход «Установка "0"» поступит логический сигнал «1»?  
Объясните ответ.

8. Какие логические состояния входов и выходов элемента  $DD12$  будут соответствовать при выполнении команды «Сложение» или «Вычитание»?

9. Объясните понятие коэффициента пересчета счетчика.

10. Назовите некоторые важнейшие характеристики счетчика и приведите их разъяснения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Структуры систем управления автоматизированным электроприводом / О. П. Ильин [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1978. – 368 с.
2. Беляев, В. П. Электромеханика. Электромеханическое преобразование при частотном управлении электрическими машинами / В. П. Беляев, Л. М. Давидович. – Минск: БГТУ, 2004. – 82 с.
3. Беляев, В. П. Электронные устройства автоматики: учеб. пособие / В. П. Беляев. – Минск: БГТУ, 2005. – 102 с.
4. Беляев, В. П. Электронные устройства автоматики: курс лекций / В. П. Беляев. – Минск: БГТУ, 2008. – 136 с.
5. Глазенко, Т. А. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности / Т. А. Глазенко, В. И. Хрисанов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. – 61 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Инструкция по навигации и изучению электронной лабораторной работы .....	4
Общие правила работы на электронном стенде и оформления отчета по лабораторной работе.....	5
Лабораторная работа № 1. Изучение фотоэлектрического преобразователя перемещения.....	10
Лабораторная работа № 2. Изучение устройства электронного выключателя.....	29
Лабораторная работа № 3. Изучение устройства контроля подачи листов .....	34
Лабораторная работа № 4. Изучение схемы нагрева объекта .....	43
Лабораторная работа № 5. Изучение схем делителей частоты .....	51
Лабораторная работа № 6. Изучение схемы автономного инвертора напряжения .....	58
Лабораторная работа № 7. Изучение устройства световой индикации.....	78
Лабораторная работа № 8. Изучение устройства защитного отключения.....	85
Лабораторная работа № 9. Изучение устройства электронной световой завесы.....	98
Лабораторная работа № 10. Изучение схемы синхронизатора .....	108
Лабораторная работа № 11. Изучение схемы реверсивного счетчика .....	113
Литература.....	124

Учебное издание

**Беляев** Валерий Павлович  
**Грудо** Сергей Казимирович

**ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА  
ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**Лабораторный практикум**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Т. Е. Самсанович*  
Компьютерная верстка *Е. А. Матейко*  
Дизайн обложки *Е. А. Матейко*  
Корректор *Т. Е. Самсанович*

Подписано в печать 01.11.2023. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 7,3. Уч.-изд. л. 7,6.  
Тираж 30 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.