Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова»

ООО «Межрегиональный центр электронных образовательных ресурсов»

М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин

СИНТЕЗ ДИСКРЕТНЫХ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Учебное пособие

Рекомендовано Межрегиональным центром электронных
образовательных ресурсов к сертификации и государственной
регистрации в качестве издания для вузов

ООО «МЦ ЭОР»
Барнаул • 2018

УДК 681.511.013:62-83 (075.8)

Стальная М. И. Синтез дискретных САУ электропривода [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин. – Электрон., дан. и прогр. - Барнаул : ООО «МЦ ЭОР», 2018. – Режим доступа: http://mceor.ru/altgtu/18004 – 01.03.2018. – Загл. с экрана. ISBN 978-5-6040354-0-5

В данном методическом пособии рассмотрены методы анализа релейно-контакторных схем и синтеза дискретно-логических систем автоматического управления, приведены примеры, а также различные варианты выполнения САУ на дискретно-логических элементах электропривода с СШД. Рассмотрены вопросы аналитического нахождения записи алгебро-логических уравнений для систем автоматического управления с обратными связями и памятью.

Рецензент: д.т.н., профессор А. А. Багаев,
ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет.

© Стальная М. И., Еремочкин С. Ю., 2018
© ООО «МЦ ЭОР», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……. 5

1 АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (СУ)…… 6

1.1 Учет особенностей технологического процесса в промышленном производстве при составлении технического задания…… 10

1.2 Особенности при описании алгебрологической блок-схемы СУ 11

2 АЛГЕБРОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ САУ…… 14

2.1 Алгебрологическое описание по словесному алгоритму технического задания…….. 14

2.2 Алгебрологическое описание по известным релейно-контакторным и логическим схемам и их реализация на логических элементах в виде принципиальных электрических схем…… 16

2.3 Алгебрологическое описание по известным релейно-контакторным схемам, содержащим временные задержки …… 23

2.4 Алгебрологическое описание САУ по известной принципиальной схеме на логических элементах …….. 29

2.5 Алгебрологическое описание САУ по таблицам истинности……. 31

2.6 Составление алгебрологического уравнения по таблицам истинности с учетом элементов памяти…… 32

3 ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТЕЗА САУ ПО СЛОВЕСНЫМ АЛГОРИТМАМ И ТАКТОВЫМ ДИАГРАММАМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СШД……. 36

3.1 Коммутатор шагового двигателя…… 37

3.2 Реверсивные распределители импульсов……. 44

3.2.1 Реверсивные распределители импульсов с разночастотными генераторами…….. 47

3.3 Работа СШД в режиме дробления шага…… 50

3.3.1 Естественное дробление шага…… 51

3.3.2 Искусственное дробление шаг…….. 52

3.4 Стартстопный режим работы электропривода с СШД……... 56

3.4.1 Стартстопное управление СШД в режиме работы с дроблением шага…….. 61

3.5 Электропривод СШД с программным разгоном……. 62

3.6 Привод с шаговым двигателем в режиме самокоммутации…… 63

4 СИНТЕЗ ДИСКРЕТНОЙ САУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРОВ……. 68

4.1 Использование программируемых логических контроллеров…... 68

4.2 Принципы программирования промышленных контроллеров….. 73

4.3 Время обработки прохождения управляющих сигналов «тик» системы……. 77

5 МЕТОДЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТАННЫХ ДИСКРЕТНО-ЛОГИЧЕСКИХ САУ…… 84
5.1 Реализация разработанных САУ в виде монтажных схем (плат) 84
5.1.1 Изготовление монтажных плат навесным способом…… 85
5.1.2 Изготовление монтажных плат «жгутовым» способом….. 87
5.2 Порядок создания печатной платы в P-CAD……. 89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…… 102
ЛИТЕРАТУРА……. 103

ВВЕДЕНИЕ

Задачи повышения эффективности производства и качества выпускаемой продукции, а также обеспечения нового качества управляемости являются насущными для любого предприятия, особенно, если технологические процессы сложны и малейший сбой может привести к существенным экономическим потерям или создать опасную ситуацию.

Реальным инструментом для решения этих задач является автоматизированная система управления (АСУ).

АСУ агрегатами и технологическими процессами, построенные на основе управляющих логических устройств, и выполняющие логические функции, называются системами логического типа. Сложные системы логического типа имеют, как правило, трехъярусную структуру и иерархический процесс построения. Нижний ярус состоит их комплекса логических блоков, обеспечивающих выполнение логических операций управления по заданному алгоритму (техническому заданию). Второй ярус системы включает в себя устройства управления блоками первого яруса и выполняет функции программного управления агрегатами и группами механизмов. Третий ярус системы автоматически формирует требуемый алгоритм управления в зависимости от изменения условий и режима технологического процесса. В данном пособии будут рассмотрены способы решения вопросов характерных для первого и частично второго яруса.

Содержание учебного пособия составлено на основе проведенного анализа научно-технической литературы, а также личных разработок авторов, приобретенных в процессе синтеза и исследований управляющих логических устройств в условиях промышленного проектирования.

Авторы данного пособия считают, что представленный материал окажется полезным не только при подготовке специалистов по автоматизированному электроприводу и схемотехников, но и в практической инженерной работе каждого выпускника энергетических специальностей.

1 АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Синтез автоматических систем управления (АСУ) начинается с технического задания (ТЗ). Синтез дискретных автоматических систем управления электропривода, производимый даже по четко сформулированному ТЗ, в общем виде имеет бесчисленное множество решений. Во-первых, из-за многообразия технических решений по объекту управления; во-вторых, из-за разнообразных решений по АСУ объектом; в-третьих, из-за разнообразных способов реализации СУ. Например, надо разработать АСУ, обладающую точностью 0,1%, быстродействием - 0,1 с, перерегулированием 10%, определенной устойчивостью (с запасом по амплитуде – 12-8 дцб и по фазе – 35^0), времени достижения первого максимума – 0,04 с, колебательностью – 1,2 и т.д. Здесь сразу же возникает вопрос. На каком объекте все эти заданные показатели необходимо достигнуть (реализовать): на баке с водой, электровозе, в печи, прокатном стане, котле и т.д. и т.п.? Уже тут возникает бесчисленное множество решений. При этом, чтобы сузить задачу синтеза, всегда на первом этапе обозначают объект, для которого будет создаваться АСУ. Тогда задачу синтеза АСУ можно разбить на следующие этапы.

I – Выбор объекта, для которого разрабатывается АСУ: (трубопровод, электродвигатель, котел, станочная линия, бак с водой, мартеновская печь и т.д).

II – Определение исходных величин (параметров).

1. Определяют выходную величину, которая варьируется в результате управления. Например, для бака с жидкостью это: или уровень жидкости (H) или температура жидкости (t^o), или концентрация рассола жидкости, или давление жидкости и т.д.

2. Определяется входная величина, которая будет воздействовать (управлять, регулировать) на выходную величину. Это изменение напряжения (U), тока (I), сопротивления (R), частоты (f), момента (M), или изменение притока жидкости, или изменение расхода горючего, или концентрации рассола, или подогрев, или охлаждение, например, для получения жидкого азота и т.д.

3. Задаются (определяются) технические условия (ТУ) или техническое задание (ТЗ) качественных показателей на выходную (управляемую) величину: быстродействие перерегулирование, точность, устойчивость и т.д.

III – Выбор способа управления.

1. Разработка СУ производится в соответствии с ТЗ, при этом выбирают метод управления: по программе, по копиру, по стабилизации, по возмущению, по регулированию, оптимальное, экстремальное, адаптивное (саморегулирующее, самообучающее, самонастраивающее, самоорганизующее) и т.д.

2. В соответствии с принятым методом управления разрабатывают алгоритм управления.

3. В соответствии с разработанным алгоритмом управления выбирают способ реализации управления на аналоговых или дискретных элементах.

4. Если выбран, метод реализации алгоритма управления на дискретных элементах, то выбирают базис дискретных элементов (полупроводниковых, пневматических, релейно-контакторных, гидравлических, лазерных и т.д.).

5. Определяется количество, тип и установка дополнительных датчиков, необходимых для функционирования разработанный СУ, а также, если необходимо, то и установку различных преобразователей, при этом определяют типы силовых управляемых преобразователей, интерфейсы для преобразования и передачи сигналов с датчиков на СУ и с СУ на исполнительные устройства.

IV – Синтез (разработка) УЛУ (Устройства логического управления).

1. Всегда вначале составляется алгебрологическое описание разрабатываемой СУ.

2. Если управление простое и цель управления не меняется, то СУ выполняется на основе элементарной априорной информации с использованием отработанных и известных элементарных (релейно-контакторных, транзисторных, диодно-транзисторных и т.д.) логических блоков или жесткого микропроцессора, т.е. разрабатывается принципиальная электрическая схема УЛУ.

3. Если предполагается ограниченное число изменений программы и целей управления, а сама САУ не очень сложная, то желательно использовать модульную, жесткую микропроцессорную структуру со съемными платами (модулями).

4. Если закон управления и алгоритм, сложные и в процессе работы возможны нечастые изменения законов управления или целей управления, то лучше использовать микроконтрольное управление, а для этого также необходимо составить алгебрологическое описание процесса управления.

5. Если предполагается частое изменение программ управления и целей управления, то необходимо использовать вычислительные устройства (микроЭВМ, перепрограммируемые микроконтроллеры, микропроцессоры, ремиконты и т.д.).

6. Составляется общая монтажная схема соединений. Производится монтаж СУ с использованием съемных печатных плат.

V – Обеспечение качественных показателей САР.

1. Составляется математическое описание отдельных элементов и объекта управления САР и находятся их передаточные функции.

2. Определяется способ управления, регулирования или поддержания выходных величин. Это разомкнутый или замкнутый способ управления, регулировка, по возмущению или по управлению, а также подчиненное или неподчиненное, перекрестное или не перекрестное регулирование.

3. Уточняется место расположения датчиков входных, выходных и промежуточных величин и сравнивающих устройств.

4. Составляется общая структурная схема САР и ее математическое описание и проверка САР на устойчивость, а также по динамическим и статическим, качественным показателям.

5. В случае несоответствия существующих (исходных) качественных показателей с заданными значениями в ТЗ производится расчет и реализация

корректирующих устройств методом последовательной или параллельной коррекции.

6. Дополнительно монтируются в САУ корректирующие звенья, и уточняется монтажная схема всей САУ.

VI – Экспериментальное исследование.

1. На самом объекте по заранее обговоренной программе производится экспериментальное исследование разработанной САУ. Но это не всегда возможно как с технической точки зрения, например (часы – хрупкий механизм, атомная электростанция - большая опасность), так и с экономической точки зрения (гидроэлектростанция – строить ее только для экспериментов весьма накладно).

2. Эксперименты можно проводить: на моделях - точных, или с «выдержкой» основных параметров или блочных, или поэлементарных. Например, при большой мощности выключателей делают эксперименты отдельно на большое U и отдельно на большие токи.

VII – Разработка тест-программ. Диагностика.

VIII – Оценка и повышение надежности синтезированной АСУ.

IX – Составление описания работы САУ и инструкции пользователя.

X – Составление технической документации на разработанную САУ.

В данном курсе более подробно будут рассмотрены методы синтеза дискретно-логических систем автоматического управления, т.е. устройств логического управления (УЛУ).

Первоочередной задачей синтеза УЛУ является получение алгебрологических выражений (составление алгебрологического описания) для выходных и промежуточных переменных. Полученные выражения затем реализуются или в виде программного управления объектом или используются для построения принципиальных электрических схем, содержащих минимальное количество элементов дискретного действия.

В результате выполнения синтеза по алгебрологическим уравнениям возможно получение нескольких функционально равносильных вариантов как программной, так и схемной реализации. Это происходит потому, что задача нахождения одного единственного оптимального варианта является задачей многофакторной, причем в ряде случаев с взаимоисключающими требованиями. К факторам, влияющим на конечную реализацию, относятся: или микропроцессорный базис, или язык программирования, или принятый закон оптимальности, или показатели надежности, устойчивости, или экономические и технические показатели (габариты, стоимость, КПД и т.д.).

На рисунке 1.1 показана пооперационная блок-схема синтеза дискретных УЛУ состоящая из 5 (I-V) этапов.

Из рисунка 1.1 видно, что синтез УЛУ начинается с I этапа – технического задания на УЛУ, т.е. с подготовки технических данных с учетом особенностей данного производства.

На II этапе решается вопрос, каким методом будет получено алгебрологическое описание проектируемой САУ. В настоящее время в основном ис-

пользуется один из 9 наиболее распространенных методов, показанных на рисунке 1.1.

На III этапе производится минимизация полученных уравнений и проверка соответствия этих уравнений выполнению технического задания.

На IV этапе решаются вопросы схемной реализации или разработки программного продукта для реализации в сложных роботизированных производствах.

На V заключительном этапе оформляется вся техническая документация и составляется инструкция пользователя.

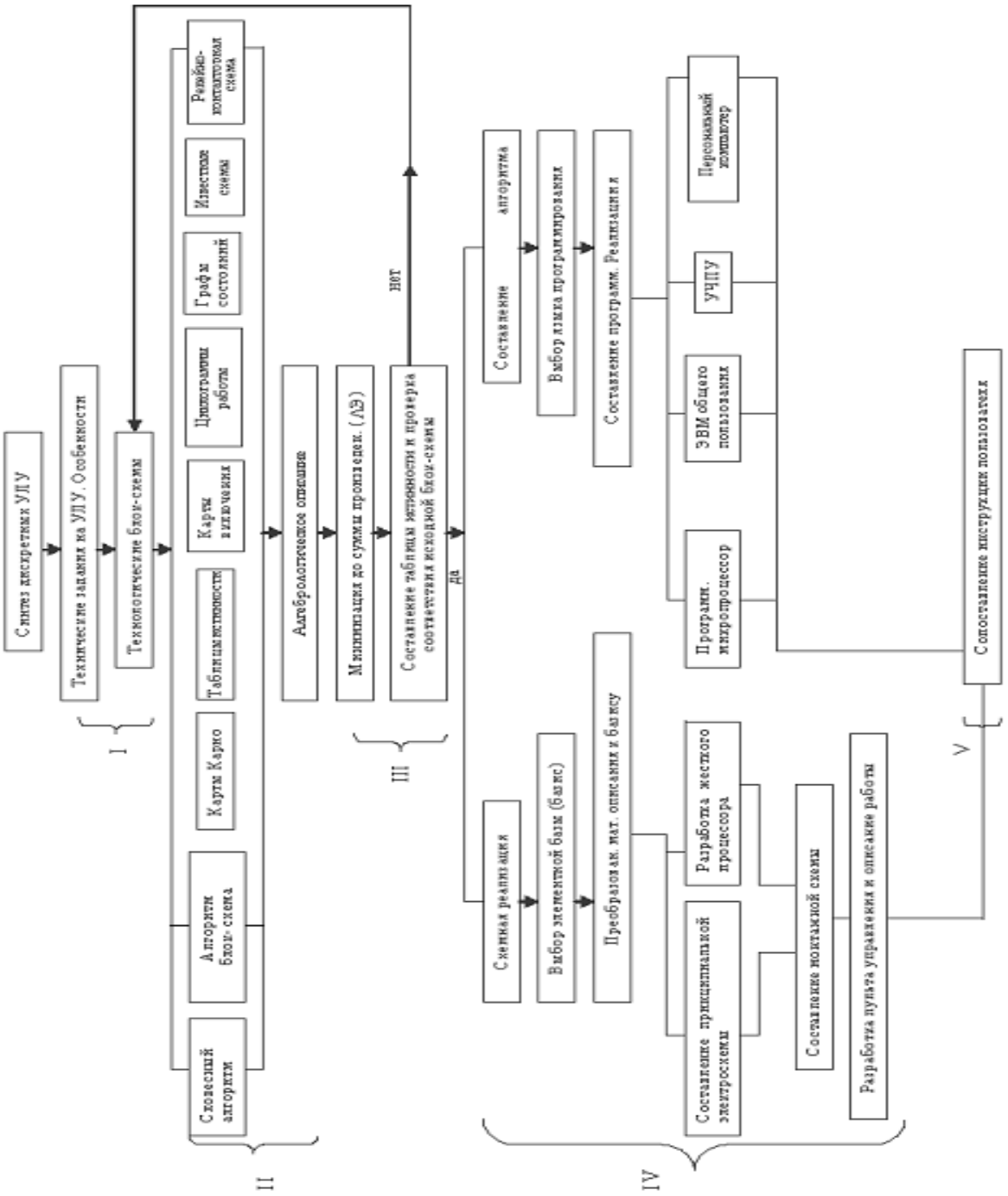


Рисунок 1.1 - Пооперационная блок-схема синтеза дискретных УЛУ

1.1 Учет особенностей технологического процесса в промышленном производстве при составлении технического задания

√ Предварительно изучается технологический процесс с точки зрения завершенности работ по его механизации и подготовленности к автоматизации, так как может быть, что в бак с водой кто-то, грубо говоря, кружечкой доливает воду для поддержания уровня воды в баке, т.е. система по механизации не готова к автоматическому управлению.

√ Уточняется последовательность технологических операций, и необходимые задержки по времени (в числовом выражении).

√ Устанавливаются (уточняются, определяются) параметры, подлежащие контролю, в ходе автоматизации технологического процесса и уточняются цифровые показатели.

√ Выбираются средства САК и САЗ (систем автоматического контроля и защиты).

√ Большое внимание должно быть уделено выбору датчиков входных, выходных, промежуточных сигналов.

√ Должны быть тщательно проанализированы и определены условия возникновения и исчезновения входных сигналов.

√ Производится выбор исполнительных элементов, воспринимающих входные и выходные сигналы СУ.

√ В поточно-транспортных системах и поточных линиях и устройств с отдаленными или разбросанными элементами объекта управления устанавливается необходимость дистанционного и местного управления работой технологического оборудования.

√ Определяются требования к выбранным видам управления (местного или дистанционного).

√ Местное управление предусматривается в связи с необходимостью включения отдельных механизмов при ремонтно-наладочных работах, установочных операциях и т.д. При местном управлении не должны действовать взаимные блокировки между схемами отдельных механизмов и устройств, но должны действовать блокировки безопасности.

√ Дистанционное управление предусматривается в случае, если намечается централизованный контроль сложным техническим процессом или в случае территориальной разбросанности элементов объекта управления (нефтяные скважины, прокатные станы, станочно-технологические линии, гидроагрегаты). Тогда дистанционное управление осуществляется с единого пульта управления.

√ Рассматриваются требования к предупреждающей, исполнительной, аварийной сигнализации.

√ При определении значений и величин показателей технологического процесса и условий протекания процесса необходимо руководствоваться действующими правилами и нормами Госстандарта, а также ведомственными техническими условиями на проектирование САУ и контроля технологических

процессов. Например, в Индии одни условия - жара, влажность, на севере другие условия - низкая температура, короткий день. Или, нельзя использовать какие-то блокировки, или сигнализацию. Например, в обществе глухих незачем ставить звуковую сигнализацию, а во взрывоопасных помещениях нельзя использовать звонки с разрывающейся электрической цепочкой, из-за искры и дуги и т.п.

√ Кроме того, необходимо изучить инструкции по обслуживанию_оборудования заводов-изготовителей в целях выявления специфических технологических условий, предъявляемых к управлению и контролю при эксплуатации этого оборудования.

В результате вышеперечисленной подготовительной работы уточняют выданное ТЗ и переходят к составлению технологической блок-схемы автоматизации процесса или составлению словесного алгоритма работы, проектируемой САР.

1.2 Особенности при составлении алгебрологического описания блок-схемы СУ

В каждом технологическом процессе и на каждом предприятии существуют свои особые условия, которые необходимо учитывать при разработке СУ.

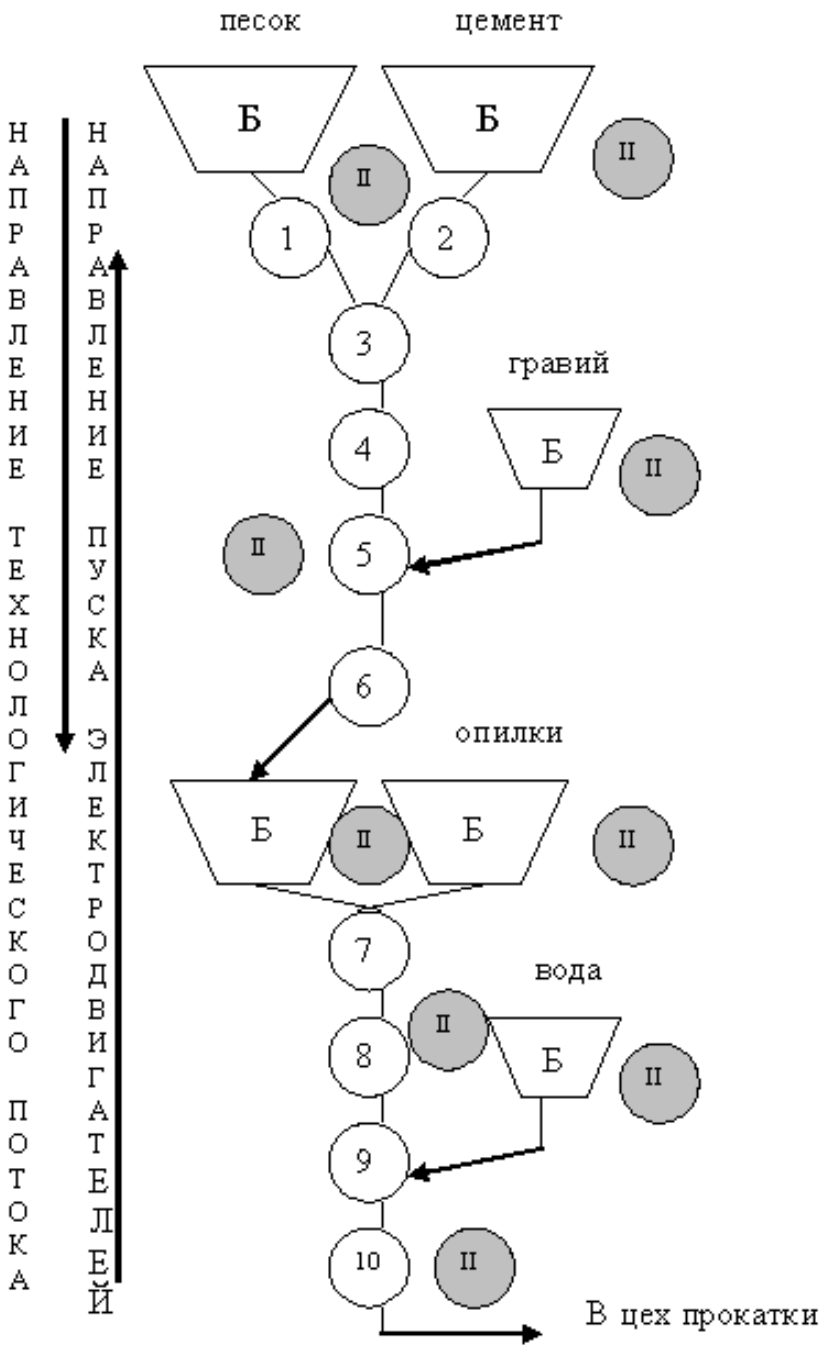
Например, технологическая блок-схема приготовления смеси для изготовления панельных плит имеет следующий вид (рисунок 1.2). Здесь, как видим, направление технологического потока идет сверху-вниз от начала технологического процесса к выдаче готовой продукции, а включение оборудования происходит, наоборот, от конца к началу. Выключение оборудования должно происходит, наоборот, от начала к концу. Это диктуется условиями соблюдения техники безопасности, т.к. в случае поломки какого-либо оборудования внутри технологической цепочки, не произойдет «завала» последующего оборудования.

Затем в соответствии с составленной технологической блок-схемой (рисунок 1.1) переходят ко II этапу синтеза, на котором используется один из 9 наиболее часто используемых на практике методов формализованной записи работы разрабатываемой АСУ, с помощью которой в дальнейшем находят математическое описание всей комплексной АСУ технологическим объектом (процессом).

На II этапе – могут встретиться следующие трудности.

Нахождение алгебрологического описания значительно усложняется при увеличении числа входных переменных. Так при использовании карты Карно или таблиц истинности количество входных переменных, как правило, желательно иметь не более 5 и 9 соответственно, даже при машинном способе нахождения математического описания. Таким образом, одной из важнейших задач на этом этапе является уменьшение числа входных переменных. Это можно сделать: или подразделив технологический объект на независимые блоки, установки и устройства или объединяя несколько входных переменных в одну эквивалентную переменную. Например: если в схеме управления лифта обозначить C_1, C_2, C_3… - сигналы закрытия дверей шахты, d – сигнал защиты от

перегрузки лифта (а следовательно, и двигателя), е – сигнал от контактов датчика обрыва каната, то можно записать эквивалентный сигнал q, разрешающий движение, как $q = C_1, C_2, C_3 \ldots \bar{d} \cdot \bar{e} = \bar{d} \cdot \bar{e} \prod_{i=1}^{n} Ci$



Б – бункеры накопители; 1, 2 – питатели ленточные (транспортеры); 3 – смеситель; 4 – элеватор, 5 – гравий - шнековой смеситель; 6 – ленточный конвейер; 7 – шнек-смеситель; 8 – ленточный транспортер: 9 - бетономешалка; 10 – элеватор; 11 – датчики.

Рисунок 1.2 - технологическая блок-схема приготовления смеси для изготовления панельных плит

Кроме того, если имеются входные переменные, которые заведомо входят в условие работы в качестве постоянного множителя при неизменном его значении, то эти входные переменные не следует вводить в таблицу истинности или карту Карно. Просто необходимо умножить полученное алгебрологическое выражение на символы этих постоянных входных переменных. К числу таких переменных можно отнести, например, сигналы переключателя режима (местное, дистанционное, автоматическое), сигнал наличия вагона под загрузкой и т.д.

Проделав эти операции, приступают к нахождению математического описания одним из вышеприведенных методов.

Ниже приводятся краткие сведения о некоторых вышеперечисленных методах (см. рисунок 1.1) представления САУ и получение с их помощью алгебрологического описания рассматриваемых САУ.

2 АЛГЕБРОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ САУ

2.1 Алгебрологическое описание по словесному алгоритму технического задания

На основании ТЗ о процессе и порядке срабатывания технологического оборудования составляется словесный алгоритм, по которому затем составляется математическое (алгебрологическое) описание.

Например, пусть имеется бак с водой (рисунок 2.1) и необходимо поддерживать уровень воды в баке, если туда наливается вода из трубы, т.е., если есть вода в трубе «С» открыта задвижка – «З», и если есть расход воды – «λ«. При этом имеются датчики верхнего уровня воды «А» и нижнего уровня воды «В». Таким образом, ставится задача (т.е. словесный алгоритм).

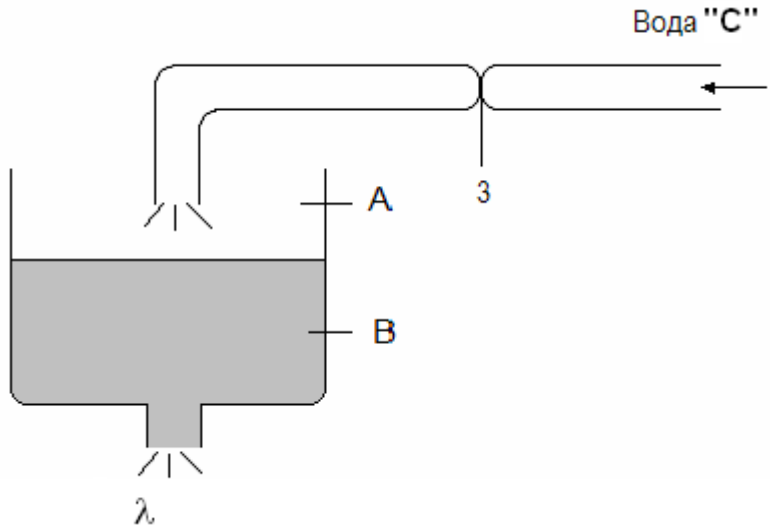


Рисунок 2.1 – Система поддержания уровня воды в баке

По рисунку 2.1 задается следующий словесный алгоритм:

1. Вода ниже уровня «В» – задвижка должна быть открыта.
2. Вода выше уровня «В», но не дошла до «А» – задвижка остается открытой.
3. Вода дошла до уровня «А» – задвижка закрывается.
4. Если воды в трубе «С» нет, то не должен идти расход воды – «λ« и уровень воды никак не регулируется.
5. Если расхода воды нет, то пусть уровень воды будет не выше уровня «А».

Тогда: во-первых, регулировка уровня должна происходить, когда есть расход – «λ «=1, и есть вода в трубе «С»=1, т.е. эти параметры выступают как постоянные сомножители.

Во-вторых, на основании словесного алгоритма можно осуществить (записать) следующую формализованную запись

$$\left\{\begin{array}{l} 1.A=0\ B=0,\ то\ З=1 \\ 2.A=0\ B=1,\ то\ З=1 \\ 3.A=1\ B=1,\ то\ З=0 \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l}(1)\\(2)\\(3)\end{array}$$

Отсюда алгебрологические уравнения записываются или по действительным значениям, для выходного параметра – «З», тогда

$$З=1=\overline{A}\cdot\overline{B}+\overline{A}B=\overline{A} \qquad (4)$$

или по их инверсным значениям, тогда

$$\overline{З}=A\cdot B\text{, т.е. } З=\overline{A\cdot B}$$

или

$$З=\overline{A}+\overline{B} \qquad (5)$$

или, с учетом постоянных сомножителей уравнения 4 и 5 запишутся

$$\text{как } З=\overline{A}\cdot\lambda\cdot c \qquad (4')$$

$$\text{и} \quad З=(\overline{A}+\overline{B})\cdot\lambda\cdot c \qquad (5')$$

т.е. ответы получаются различными, а это говорит о неправильном окончательном решении. В этом и заключается основной недостаток метода словесного алгоритма, т.к. словесный алгоритм не дает всеобъемлющего, однозначного, четкого описания.

А если использовать таблицу истинности, то эту ошибку можно избежать, а именно, по словесному данному алгоритму заполняем таблицу истинности, и соответственно имеем следующие значения.

Таблица 2.1 – Таблица истинности

	№	A	B	З
(1)	1	0	0	1
(2)	2	0	1	1
	3	1	0	0
(3)	4	1	1	0

Здесь насчет третьей строки таблицы истинности в Т.З. ничего не говорится, проанализировав Т.З. и данные третьей строки видим, что такого положения, когда вода есть на уровне «А» и нет на уровне «В» быть не может, поэтому в этой строке проставляется у параметров с набором №3-для задвижки - «0». Тогда составляются уравнения следующего вида для действий значения «З»:

$$З=1=\overline{A}\cdot\overline{B}+\overline{A}\cdot B=\overline{A},$$

и для инверсного значения «З»

$$\overline{З} = A \cdot B + A\overline{B} = A(B + \overline{B}) = A,$$

т.е. $З = \overline{A}$

Из приведенного примера видно, что теперь ответы одинаковые, и кроме того не нужен датчик «В», что упрощает систему автоматического контроля. Таким образом, получение математического описания с помощью таблиц истинности более точно и позволяет минимизировать количество используемых элементов.

Получение математического описания с помощью карт Карно, карт включений, циклограмм, графов и т.д. рассматривалось в курсе математические основы алгебрологики. Здесь надо самим вспомнить только достоинства-недостатки каждого из этих методов.

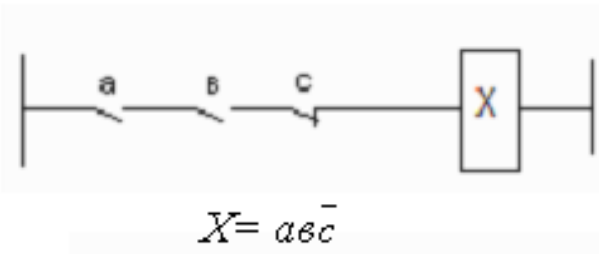
2.2 Алгебрологическое описание по известным релейно-контакторным схемам и их реализация на логических элементах в виде принципиальных электрических схем

Метод синтеза на основе имеющихся релейно-контакторных схем рассмотрим более подробно, т.к. он имеет ряд особенностей.

Во-первых, последовательно включенные контакты отображаются конъюнкцией (умножением), а параллельно соединенные контакты – дизъюнкцией (суммой). Во-вторых, замыкающие контакты (н.о) записываются в действительном виде, размыкающие (н.з) – в инверсном. В третьих, имеются структурные особенности построения релейных схем, а именно: или последовательный тип («П»), или последовательно-параллельный тип – («ПП»), или мостиковый тип («Н»).

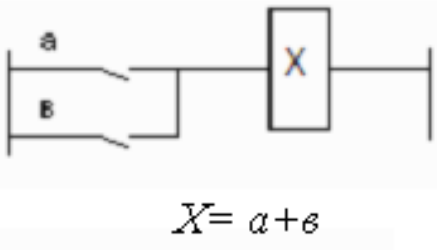
Тогда математическое описание систем управления (СУ) по релейно-контакторному варианту производится следующим образом.

Вначале записываются по релейно-контакторному варианту алгебрологические выражения в соответствии с цепочкой прохождения сигнала. При этом катушки обозначаются заглавными буквами, а их контакты прописными (маленькими) буквами, тогда для последовательных «П», и последовательно-параллельных схем типа «ПП» (рисунки 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6).



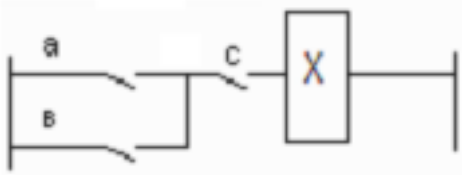
$X = ав\overline{с}$

Рисунок 2.2



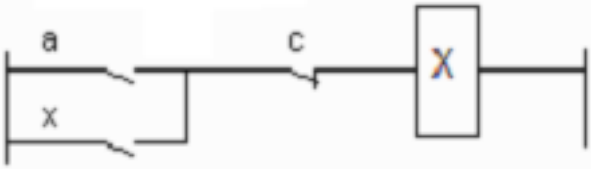
$X = а + в$

Рисунок 2.3



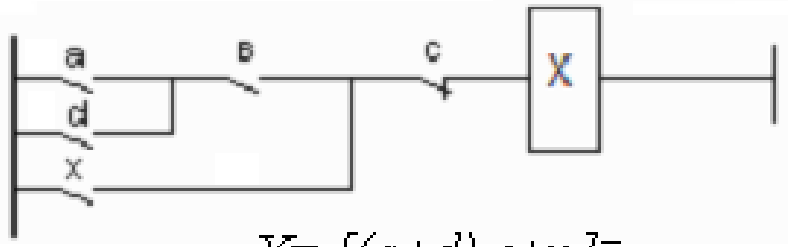
$X = c(a+в)$

Рисунок 2.4



$X = \bar{c}(a+x)$

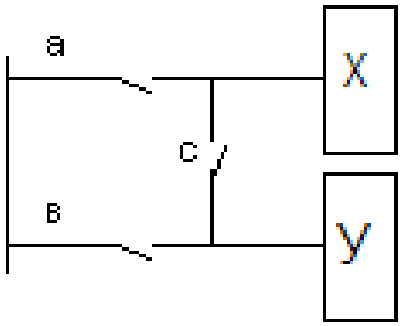
Рисунок 2.5



$X = [(a+d)\cdot в + x]\bar{c}$

Рисунок 2.6

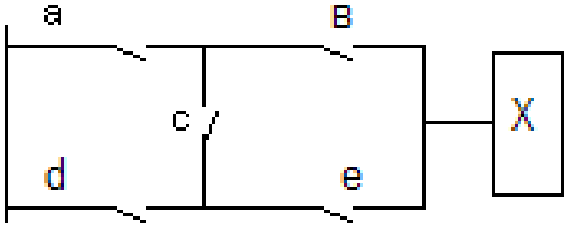
Если релейно-контакторная схема мостикового типа- типа «Н», то необходимо описать логическими формулами все цепочки прохождения сигнала до соответствующей катушки (рисунки 2.7, 2.8, 2.9, 2.10).



$X = a + вc$

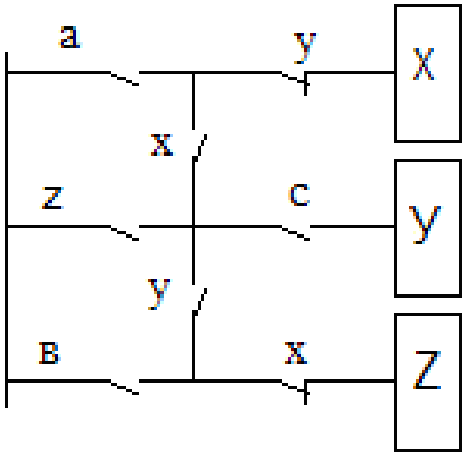
$У = в + ac$

Рисунок. 2.7



$X = (a+dc)в + e(d+ac)$

Рисунок 2.8

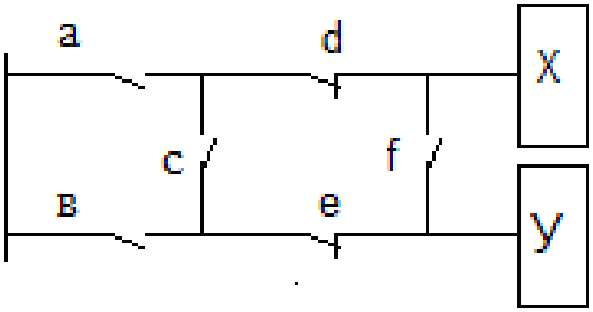


$X = \bar{y}\,(a + xz + xвy) = \bar{y}\,(a + xz)$

$Y = c(z + ax + вy)$

$Z = \bar{x}\,(в + y(z + ax) = \bar{x}\,(в + yz)$

Рисунок 2.9

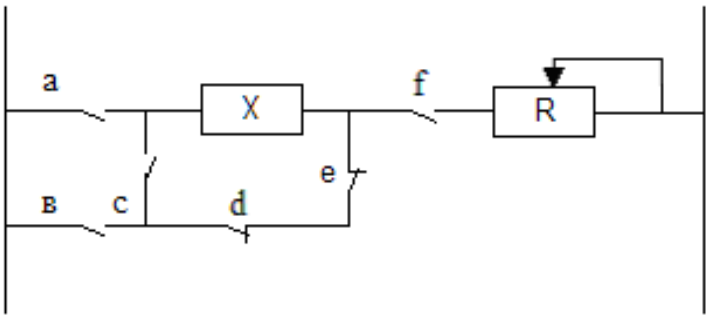


$X = (a + вc)\,\bar{d} + \bar{e}\,f(в + ac)$

$Y = \bar{e}\,(в + ac) + \bar{d}\,f(a + вc)$

Рисунок 2.10

Если в схеме имеются цепочки, шунтирующие катушку, то такая схема будет иметь вид: (рисунок 2.11). Эта шунтирующая цепочка записывается умножением в инверсном виде:



$$X = (a + вc) \cdot f \cdot \overline{\overline{d} \cdot \overline{e}}$$

Рисунок 2.11

Если при составлении математического описания для катушек X и У (рисунок 2.12) окажется, что они включены последовательно, а они последовательно работать не могут, в следствии того, что каждая из них рассчитана на полное напряжение, а при последовательном соединении на каждой из них получится половинное напряжение, что недостаточно для их срабатывания, то запись работы этих катушек осложняется.

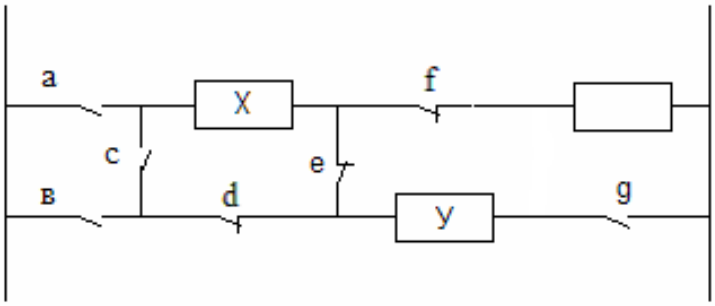


Рисунок 2.12

Так при записи уравнений для одной из катушек, которая, в данном случае, является промежуточной (для катушки X промежуточной будет катушка У и наоборот), путь через промежуточную катушку приравнивается нулю. Тогда уравнение с учетом вышесказанного для схемы рисунка 2.12 запишется как:
для катушки *У:*

$$У = (в + ac)\bar{d}\,g\overline{\bar{e}\cdot\bar{f}} + (a + вc)X\bar{e}g,$$

а так как $(a + вc)X\bar{e}g = 0$, то

$$У = (в + ac)\bar{d}g\overline{\bar{e}\cdot\bar{f}}$$

для катушки

$$X = (a + вc)\overline{\bar{d}\cdot\bar{e}}\cdot\bar{f} + (a + вc)\bar{e}Уg,$$

а так как $(a + вc)\bar{e}Уg = 0$, то

$$X = (a + вc)\overline{\bar{d}\cdot\bar{e}}\cdot\bar{f}$$

Кроме того, в случае синтеза сложной схемы, путем преобразования релейно-контакторной схемы в логическую схему, необходимо произвести подразделение всех аппаратов, участвующих в работе схемы на входные, промежуточные и выходные. Каждому из перечисленных аппаратов присваивается буквенное обозначение, и теперь они становятся «переменными» параметрами, причем катушки обозначают заглавными буквами, а их контакты, прописными. Тогда алгебрологические уравнения для реально существующих, реконструируемых схем, записываются только для выходных и промежуточных аппаратов, а именно, для их катушек.

К входным аппаратам относят: кнопки, ключи управления, командоконтроллеры, путевые и конечные выключатели, дверные контакты, датчики контроля электротехнических процессов, реле тока, ЭДС, напряжения, скоро-

сти и т.д. Кроме того, если датчик включается в силовой схеме через какие-либо контакты, то эти контакты обычно входят в датчик. Например (рисунок 2.13),

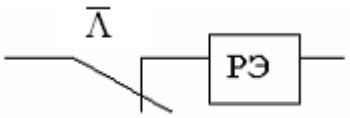


Рисунок 2.13

тогда датчик»D» запишется как $D=РЭ\cdot\overline{\Lambda}$.

Выходными аппаратами являются элементы управления исполнительными устройствами силовой схемы - силовые контакторы (их катушки), магнитные пускатели, силовые электромагниты, т.е. элементы, которые коммутируют (переключают) силовые цепи и управляющие силовые цепи.

К промежуточным аппаратам относят различные: промежуточные, размножающие, блокировочные, временные и т.д. реле, которые производят переключения только в системе управления катушек промежуточных и выходных аппаратов.

Кроме того, выделяются блоки с обратными связями и аппараты, обеспечивающие задержку по времени, о которых будет сказано ниже.

На рисунке 2.14 представлена силовая часть САУ управления ДПТ (двигателем постоянного тока), а на рисунке 2.15 релейно-контакторная часть САУ ДПТ с пуском напрямую и с динамическим торможением самовозбуждения в две ступени.

Здесь (рисунок 2.15) при нажатии на кнопку пуск «П» получает питание катушка контактора КМ1 и замыкает свои силовые контакты КМ1.1 и КМ1.2 в цепи (рисунок 2.14) постоянного питающего напряжения U_c и размыкает свой силовой контакт КМ1.3 в цепи динамического торможения. Кроме того, катушка КМ1 своим блокировочным контактом КМ1.4 ставит себя на самоблокировку (рисунок 2.15), шунтируя кнопку пуск, поэтому кнопку пуск можно отпустить, и размыкает блокировочным контактом КМ1.5 цепь питания катушек торможения КМ2 и КМ3.

Двигатель включается на напряжение U_c и разгоняется до рабочей скорости, обусловленной моментом нагрузки (моментом сопротивления).

При нажатии на кнопку стоп «С» катушка контактора КМ1 обесточивается, контакты КМ1.1, КМ1.2, КМ1.4 - размыкаются, а КМ1.3 и КМ1.5 - замыкаются, тем самым подготавливая к включению катушки КМ2 и КМ3 и подключая катушки ЭДС KV1 и KV2 (рисунок 2.14) на противо-ЭДС двигателя. Они, срабатывают, причем порог срабатывания у KV1, меньше чем у KV2, т.е. KV2 будет включенной, только при большом напряжении. Вследствие срабатывания катушек KV1 и KV2, через замкнутый блокировочный контакт КМ.1.5 и замкнутый контакт KV1.1 получит питание катушка КМ2, а КМ3 - не получит, т.к. контакт KV2.1 разомкнут. Контакты КМ2.2 контактора КМ2 замкнут силовую цепь (рисунок 2.14), подключающую тормозное сопротивление $R_т$ на за-

жимы якоря электродвигателя. Начнется режим электродинамического торможения с самовозбуждением.

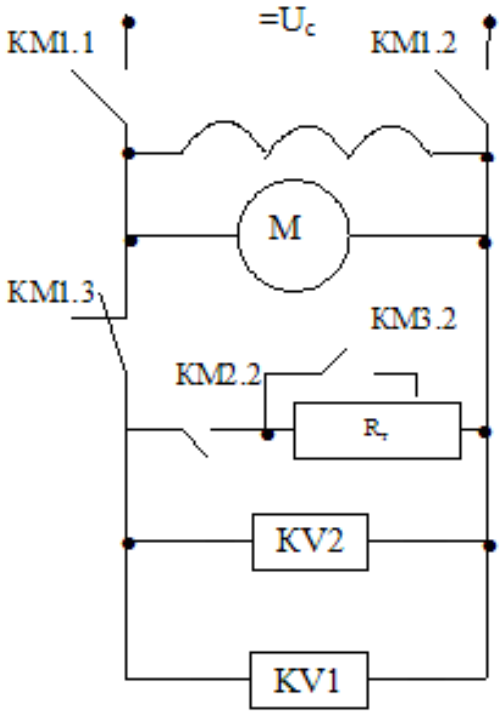


Рисунок 2.14

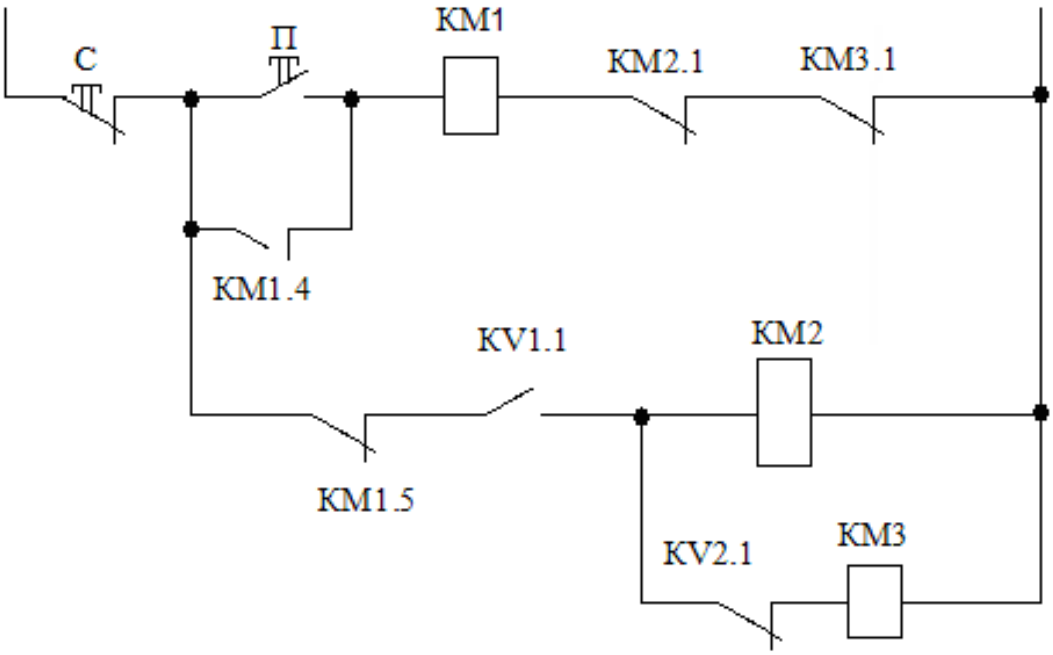


Рисунок 2.15

Как уже говорилось, катушка контактора КМ3 пока получать питание не будет, т.к. контакты KV2.1 на рисунке 2.15 разомкнуты, ЭДС двигателя имеет еще большое значение (т.к. скорость двигателя еще большая) и катушки реле

KV1 и KV2 еще втянуты. По мере торможения электродвигателя ЭДС двигателя падает, якорек магнитной системы катушки KV2, при уменьшенном напряжении отпадает, контакт KV2.1 в цепи катушки контактора КМ3 замыкается, и она получает питание. Своими силовыми контактами КМ3.2 (рисунок 2.14) контактор КМ3 зашунтирует часть тормозного сопротивления $R_т$ тем самым, выводя двигатель на (близко к естественной) следующую механическую характеристику динамического торможения, увеличивая при этом ток двигателя, и, следовательно, тормозной динамический момент двигателя. Двигатель интенсивно тормозится, скорость падает, и ЭДС двигателя падает. При малой скорости (примерно 0,1 $\omega_н$) ЭДС двигателя будет недостаточно, чтобы удерживать в притянутом состоянии магнитную систему реле KV1. Якорек реле KV1 отпадает, контакты KV1.1 в САУ (рисунок 2.15) размыкаются, катушки КМ2 и КМ3 обесточиваются, и силовая схема размыкается, т.к. контакты КМ2.2 отпадают, САУ приходит в исходное состояние. Следует заметить, что здесь в САУ предусмотрена так называемая «блокировка исключением» в виде размыкающих контактов КМ2.1 и КМ3.1 в цепи катушки контактора КМ1. Это сделано для того, чтобы пока не кончится торможение, а, следовательно, не замкнутся контакты КМ2.1 и КМ3.1, было бы невозможно вновь запустить двигатель, даже при нажатии на кнопку пуск – «П».

Таким образом, на основании вышеизложенного, в рассмотренной схеме входными элементами в данной САУ (входными аппаратами) являются:

С – кнопка «стоп»;

П – кнопка «пуск»;

KV1 - катушка датчика реле ЭДС 1;

KV2 - катушка датчика реле ЭДС 2;

Выходными элементами СУ (выходными аппаратами) являются:

КМ1 - катушка линейного контактора;

КМ2 - катушка контактора на первой ступени торможения;

КМ3 - катушка контактора на второй ступени торможения.

Промежуточных элементов, которые коммутировали бы элементы только в релейно-контакторной схеме, тут нет. Тогда, в соответствии с рисунком 2.15 и принятыми обозначениями для выходных элементов имеем:

$$KM1 = \overline{C}(П + KM1.4)\ \overline{KM2.1}\ \overline{KM3.1} \qquad (2.1)$$

$$KM2 = \overline{C} \cdot \overline{KM1,5} \cdot KV1.1 \qquad (2.2)$$

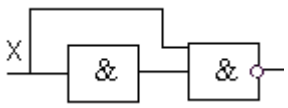
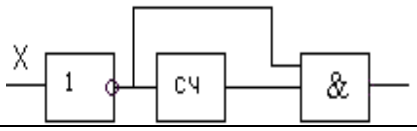
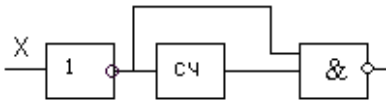
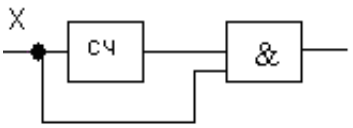
$$KM3 = \overline{C} \cdot \overline{KM1.5} \cdot KV1.1 \cdot \overline{KV2.1} \qquad (2.3)$$

Затем по этим уравнениям или строится электрическая схема на ЛЭ или записывается программа для использования в ВУ (вычислительных устройствах).

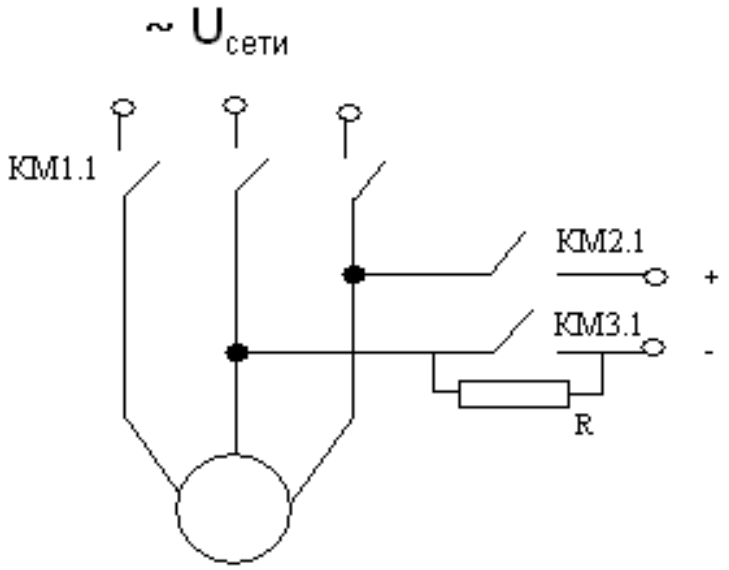
2.3 Алгебрологическое описание по известным релейно-контакторным схемам, содержащим временные задержки

Необходимо отметить, что на первом этапе помимо выделения трех предыдущих сигналов (входных, выходных и промежуточных) выделяются аппараты (факторы, сигналы) – реле времени, счетчики импульсов и т.п., обеспечивающие выработку сигналов, задержанных во времени. В этом случае к буквенным обозначениям задержанных по времени сигналов, добавляются обозначения временных задержек - τ. Например, сигнал должен поступить от реле времени X с задержкой, тогда это запишется как X_{τ}. Кроме того, если, сам контакт временного реле размыкающий, то он записывается как $\overline{X}$, если замыкающий, то соответственно - X. Если у размыкающего контакта должна осуществиться, выдержка времени на размыкание, запись производится как $\overline{X} \cdot \overline{\tau}$. В случае, если временной контакт замыкающий и работает с выдержкой времени на замыкание, то запись производится как, $X\tau$ то же, но с выдержкой времени на размыкание -. $X \cdot \overline{\tau}$ На основании изложенного, составлена таблица 2.2 обозначения временных контактов и их аналогов на логических элементах, где - & - означает счетчик времени любой формы и действия (цифровой, электронный, механический и т.п.).

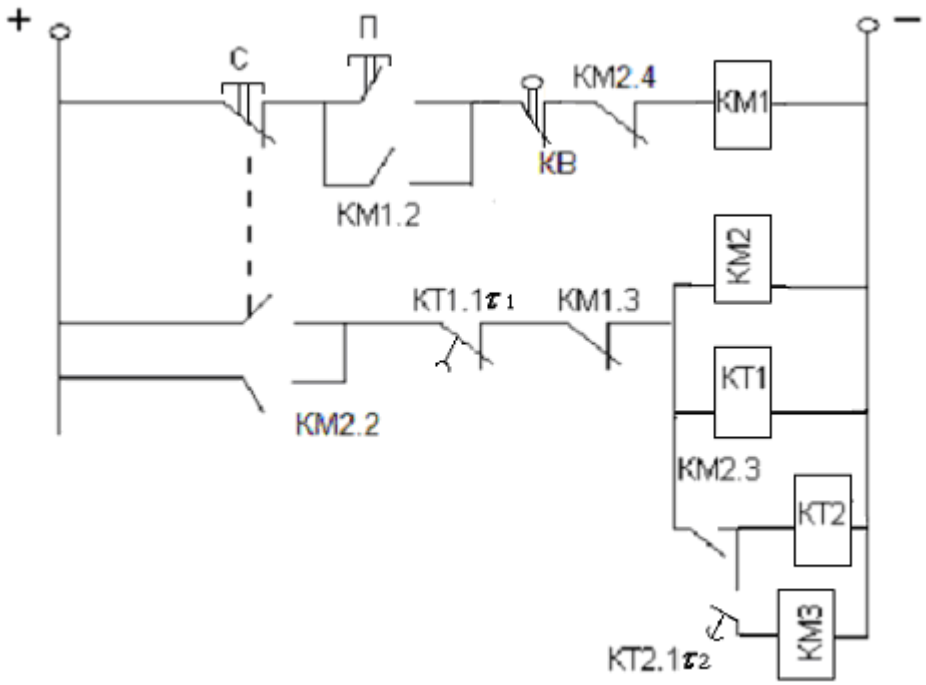
Таблица 2.2 – Обозначения временных контактов и их аналогов на логических элементах

x	$\overline{X}\overline{\tau}$	При появлении X=1, на выходе «0» появится с задержкой	
x	$\overline{X}\tau$	При X=0 на выходе «1» появится с задержкой	
x	$X\overline{\tau}$	При X=0 на выходе «0» появится с задержкой	
x	$X\tau$	При X=1 на выходе «1» появится с задержкой	

На рисунке 2.16 приведен второй пример САУ управлением асинхронным двигателем. Асинхронный КЗ двигатель пускается напрямую и тормозится в режиме динамического торможения постоянным током (рисунок 2.16 а) в одну ступень. Причем через наперед заданное время узел торможения отключается, и схема приходит в исходное состояние. В схеме (рисунок 2.16 б) предусмотрено ограничение движения механизма, приводимого в движение электродвигателем до защитной зоны с помощью конечного выключателя – КВ. Схема работает следующим образом.



а)



б)

Рисунок 2.16 - САУ управлением асинхронным двигателем

При нажатии на кнопку пуск «П» рисунка 2.16 б, если механизм не стоит в запретном месте (следовательно, контакты КВ замкнуты) и не идет процесс торможения (размыкающие контакты КМ2.4 замкнуты), катушка контактора КМ1 получает питание, магнитная система катушки притягивает якорь и замыкаются силовые контакты КМ1.1 (рисунок 2.16 а), блокировочный контакт

КМ1.3 размыкается, блокировочный контакт КМ1.2 замыкается. Двигатель разгоняется до рабочей скорости, обусловленной моментом сопротивления на валу двигателя. Если нужно остановить двигатель, то нажимают на кнопку «С»-стоп. Кнопка «стоп» имеет два механически (показано пунктиром на рисунке 2.16 б) связанных контакта, поэтому при нажатии на эту кнопку во-первых, размыкается цепь питания катушки контактора КМ1, вследствие чего размыкаются силовые контакты КМ1.1 и блокировочный контакт КМ1.2, и замыкается размыкающий контакт КМ1.3. Во-вторых, замыкается второй контакт кнопки «С», поэтому катушка контактора КМ2 – торможения и катушка реле времени – «КТ1» получают питание по цепочке: плюс источника, замкнутый контакт «С», замкнутый контакт КТ1.1, замкнутый контакт КМ1.3, катушки КМ2 и КТ1, минус источника питания. Силовые контакты контактора КМ2.1 торможения замыкаются и подают питание постоянным током в статор асинхронного двигателя через сопротивление R. Блокировочный контакт КМ2.2 тормозного контактора КМ2 замыкается, выполняя самоблокировку кнопки «С» и катушки КМ2. Кроме того, блокировочные контакты КМ2.3 контактора КМ2 замыкаются в цепи питания катушки контактора КМ3 и катушки реле времени КТ2 и одновременно размыкаются контакты КМ2.4 в цепи питания катушки КМ1, которая размыкает свои силовые контакты КМ1.1 в цепи питания асинхронного К.З. двигателя и тем самым отключает асинхронный двигатель от сети переменного напряжения. После отсчета времени τ_2 и замыкания контакта КТ2.1 получит питание катушка контактора КМ3, силовые контакты которого КМ3.1 зашунтируют резистор R, и выведут двигатель на естественную тормозную характеристику динамического торможения. Катушка реле времени КТ1, получив одновременное катушкой КМ2 питание, начинает отсчет времени τ_1. Через время $\tau_1 >> \tau_2$ размыкающие контакты КТ1 разомкнуться и обесточат катушки КМ2, КТ1, КМ3 и КТ2. Силовая схема и СУ придут в исходное состояние.

Здесь входными элементами являются:

С – кнопка «Стоп»;

П – кнопка «Пуск»:

КВ – конечный выключатель.

Выходными элементами являются:

КМ1- линейный контактор;

КМ2 и КМ3 – контакторы торможения.

Промежуточными элементами являются:

КТ1 и КТ2 – реле времени.

Тогда алгебрологическое выражение для катушек выходных и промежуточных элементов запишутся как:

$$КМ1 = \overline{С}(П + КМ1.2)\overline{КВ} \cdot \overline{КМ2.4} \qquad (2.4)$$

$$КМ2 = КТ1 = (С + КМ2.2)\overline{КТ1.1}\,\overline{\tau_1} \cdot \overline{КМ1.3} \qquad (2.5)$$

$$KT2 = KT1 \cdot KM2.3 = KM2.3 \cdot (C + KM2.2)\overline{KT1.1}_{\tau_1} \cdot \overline{KM1.3} \qquad (2.6)$$

$$KM3 = KT2 \cdot KT2.1_{\tau 2} = KT2.1_{\tau 2} \qquad (2.7)$$

Из приведенных уравнений видно, что фактически надо на логических элементах реализовать уравнения только для КМ1, КМ2, КМ3, что значительно упрощает всю схему по сравнению с релейно-контакторной схемой.

Вторым этапом работы с алгебрологическими выражениями является их минимизация, если это необходимо. В нашем случае этого не требуется, поэтому на третьем этапе (после минимизации), по полученным выражениям или составляется программа, которая вводится в программируемое устройство или в соответствии с уравнениями 2.1÷2.3 и 2.4÷2.7 составляются структурно-логические схемы САУ (рисунки 2.17 и 2.18) соответственно, для схем рисунков 2.15, 2.16.

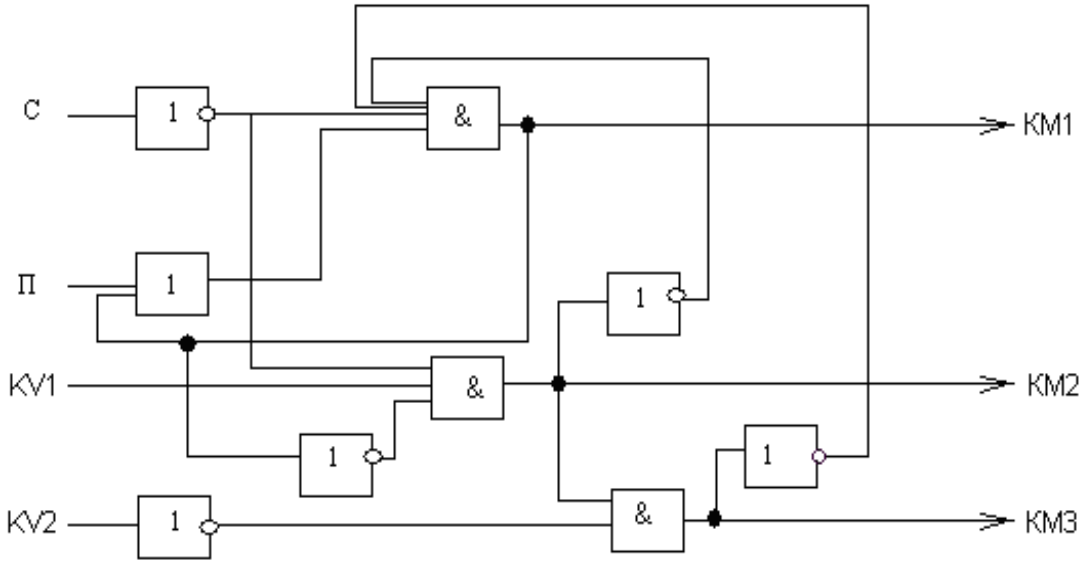


Рисунок 2.17 - Структурная электрическая схема САУ на ЛЭ
для схемы рисунка 2.15 б

Если схемы необходимо привести к базису, состоящему только из логических элементов И-НЕ или ИЛИ-НЕ, то вначале необходимо уравнения 2.1÷2.7 представить в соответствующем виде, используя в преобразованиях правило де-Моргана, а затем составлять структурные и принципиальные схемы САУ.

При сопоставлении релейно-контакторных схем со схемами на дискретных логических элементах следует отметить достоинства дискретно-логических схем:

√ Одно логическое реле времени, т.е. счетчик, может иметь > число разных выдержек времени, на замыкание, так и на размыкание, что не всегда удается выполнить на релейно-контакторном варианте.

√ Не надо специального реле размножения, а можно просто взять микросхему с большим коэффициентом разветвления выходного сигнала.

√ Можно для реализации схемы использовать ПЛМ (программируемые логические матрицы).

√ Очень часть путем минимизации уравнений можно значительно понизить число элементов схемы, а значить повысить ее надежность.

√ Отсутствие механических замыкающих - размыкающих контактов, что также повышает надежность схемы.

√ Уменьшаются габариты, стоимость и потребляемая мощность.

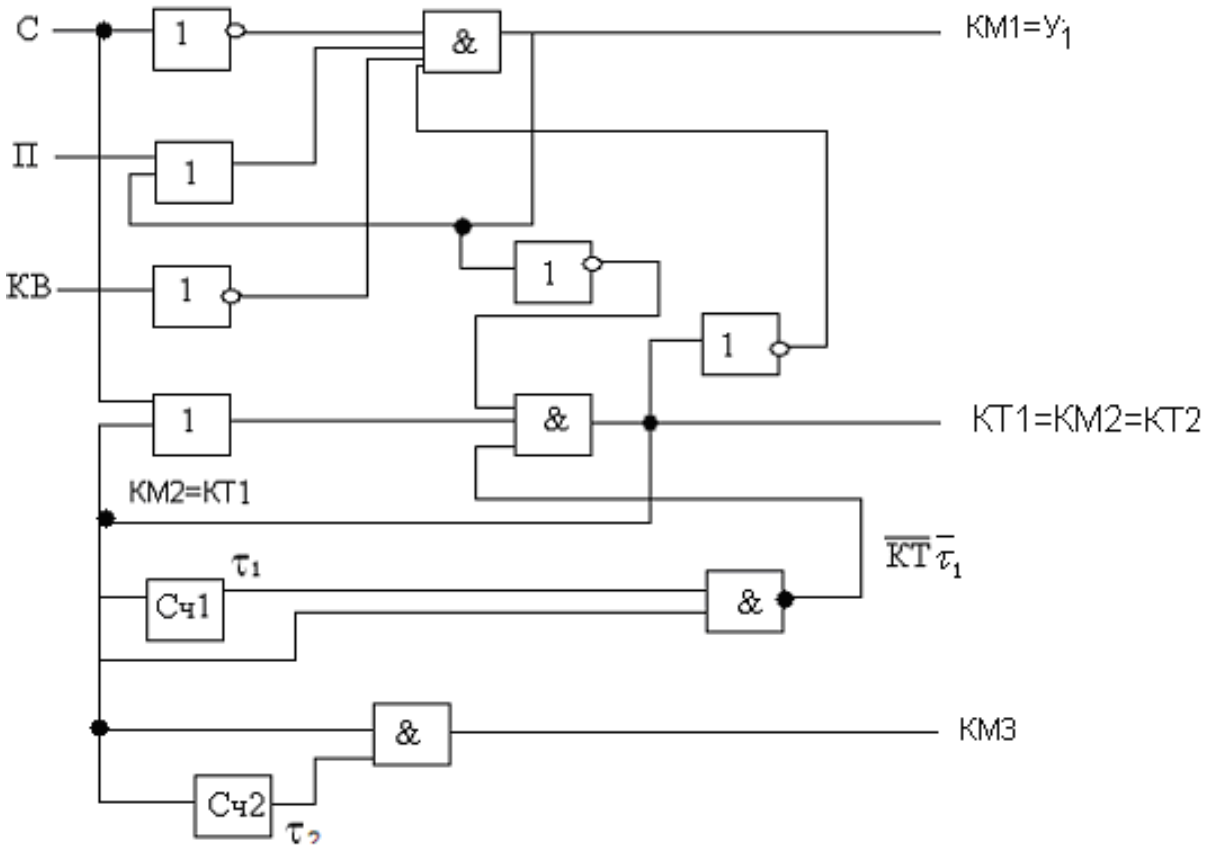


Рисунок 2.18 – Структурная электрическая схема САУ на ЛЭ
для схемы на рисунке 2.16 б

Если предполагается использовать полученные уравнения на вычислительных устройствах, то вначале необходимо привести уравнения 2.1÷2.7 к формализованному виду, обозначив соответственно входные и промежуточные переменные, соответственно, через Xi, Zi, а выходные переменные через Yi. Причем, если порядок индикации входных переменных (X_1, X_2 …) не имеет значения, то порядок индексации выходных и промежуточных переменных

необходимо проводить с учетом последовательности действия технологического оборудования, учитывая так называемую «селективность» работы. Например, для схемы рисунка 2.15 первым выходным параметром $У_1$ является катушка линейного контактора КМ1. Этот контактор подключает силовую схему к источнику постоянного напряжения «= U». Вторым выходным параметром $У_2$ будет катушка тормозного контактора КМ2, которая первой вступает в тормозной режим, подключая силовую цепь с $R_т$ на зажимы якоря двигателя, для осуществления электродинамического торможения. Третьим выходным параметром $У_3$ обозначается катушка тормозного контактора КМ3, которая включается на второй ступени электродинамического торможения, шунтируя тормозное сопротивление $R_т$ и обеспечивая выход электродвигателя на естественную тормозную характеристику.

Учитывая вышеизложенное, можно в соответствии с уравнениями 2.1-2.3 для схемы рисунка 2.15 обозначить входные величины как:

$$X_1 – С,\ X_2 – П,\ X_3\text{-}КV1,\ X_4\ \text{-}КV2,$$

а выходные как:

$$У_1 = КМ1,\ У_2 = КМ2,\ У_3 = КМ3$$

Тогда имеем:

$$У_1 = \bar{X}_1(X_2 + y_1)\bar{y}_2 \cdot \bar{y}_1 \tag{2.8}$$

$$У_2 = \bar{X}_1\,\bar{y}_1\,X_3 \tag{2.9}$$

$$У_3 = \bar{X}_4\,y_2 \tag{2.10}$$

Аналогичные операции произведем для схемы рисунка 2.16 б и уравнений (2.4÷2.7), т.е. входные величины обозначим как:

X_1-С, X_2 –П, X_3- КВ

Выходные величины как:

$У_i$=КМ1, У2=КМ2, У3=КМ3.

Промежуточные величины обозначим как:

Z1=КТ1, Z2=КТ2.

Тогда

$$У_1 = \overline{X_1}(X_2 + y_1)\overline{X_3} \cdot \bar{y}_2 \tag{2.11}$$

$$У_2 = (X_1 + y_2)\overline{Z_1}_{\bar{\tau}_1} \cdot \bar{y}_1 \tag{2.12}$$

$$Z_1 = У_2 \tag{2.13}$$

$$Z_2 = Y_2 = (X_1 + y_2)\bar{Z}_1\bar{\tau}_1 \cdot \bar{y}_1 \quad (2.14)$$

$$Y_3 = Z_{2\tau 2} = У_{2\tau 2} \quad (2.15)$$

Из уравнений 2.4÷2.7 видно, что фактически надо реализовать только уравнения 2.4, 2.5 и 2.7, что значительно сокращает объем работы, как по разработке принципиальной электрической схемы, так и при программировании.

Теперь можно составлять по уравнениям 2.8÷2.10 и 2.11, 2.12 программу и алгоритм работы устройств.

Здесь необходимо заметить следующее. Если в уравнения, описывающих работу автоматических систем, входят переменные рекуррентного вида, например, уравнения 2.11, 2.12, то при решении этих уравнений и составлении программы нужно предусмотреть следующее. Во-первых, решать уравнения в порядке индексации выходных величин, во-вторых, если в уравнение для выходных величин входят скобки памяти типа $У_i=(x_i+y_{i-1})$ и рекурентность типа $y_i=x_i \cdot y_{i-1}$, то программу необходимо составить так, чтобы после поступления или изменения какого-либо очередного входного сигнала производился расчет всех выходных параметров (всех уравнений) от $У_1$ до $У_i$. Например по уравнениям 2.11÷2.15 при изменении состояния сигнала X_1, необходимо рассчитать $У_1$, $У_2$, $У_3$ в показанной последовательности. Там, где $У_i$ – получает значение 1, там происходит срабатывание соответствующего механизма. Результаты расчетов заносятся в массив памяти и используются для следующих расчетов. Если разрабатывается логическая САУ для перемещающегося позиционного механизма с множеством промежуточных положений (например: лифт, робокарная тележка), то при входном сигнале направления типа вперед - рассчитываются все выходные функции, начиная с $У_1$ до $У_n$., даже, если тележка движется до какой-то промежуточной позиции. При этом используются данные предыдущих значений $У_i$, из массива памяти. Если тележка начинает движение «назад», то должны рассчитываться все $У_i$ начиная с $У_n$ до $У_1$, используя предыдущие данные массива памяти.

2.4 Алгебрологическое описание САУ по известной принципиальной схеме на логических элементах

Если имеется известная САУ, выполненная на логических элементах, но нет ее алгебрологического описания, то нахождение ее математического описания (алгебрологического описания) производится следующим образом. Во-первых, описание начинается с конца (с выхода), во-вторых, даже если не используются промежуточные значения выходных параметров, то независимо от этого они устанавливаются и условно обозначаются как P_i. Тогда пусть это будет схема рисунка 2.19. Обозначив промежуточные точки через P_1 и P_2 составляется алгебраическое выражение для выходного сигнала, как:

$$У = P_1 \cdot P_2 = (а + в)(в + с) = в + ас$$

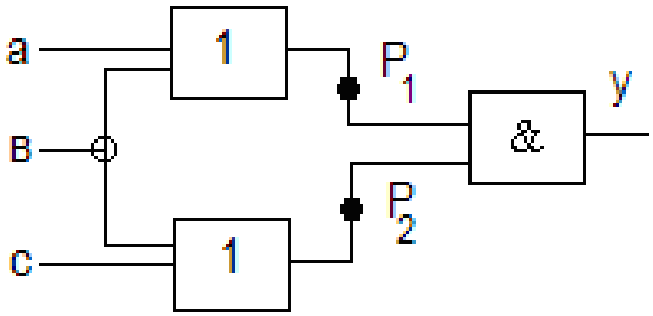


Рисунок 2.19

Если имеется схема с обратными связями, например на рисунке 2.20 а, то аналитическое выражение этой схемы, с учетом вышесказанного запишется следующим образом

$$У = P_1 + P_2 = \overline{P_3 + P_4 + C} + P_5 \cdot а \cdot у = \overline{\bar{а} + \bar{в} + с} + а\bar{с}у \qquad (2.16)$$

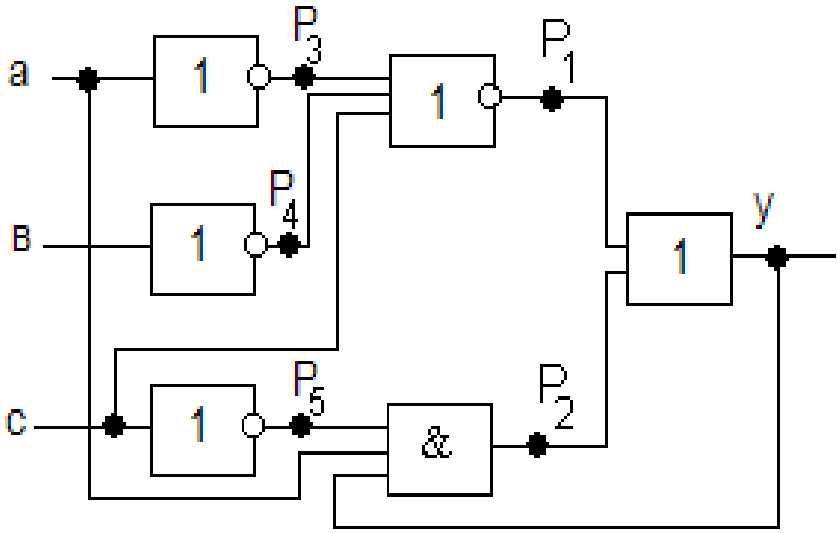


Рисунок 2.20 а

Если произвести преобразование уравнения 2.16 и минимизацию, то имеем уравнение

$$У = \overline{\bar{а} + \bar{в} + с} + а\bar{с}у = а\bar{в}\bar{с} + а\bar{с}у = а\bar{с}(\bar{в} + у)$$

Тогда схема будет выглядеть следующим образом (рисунок 2.20 б).

Таким образом, вместо шести логических элементов, как на рисунке 2.20 а теперь всего три логических элемента, что значительно повышает надежность всего устройства и понижает его стоимость. Здесь наглядно видно преимуще-

ство минимизации систем на логических элементах, не говоря уже об отсутствии механических контактов.

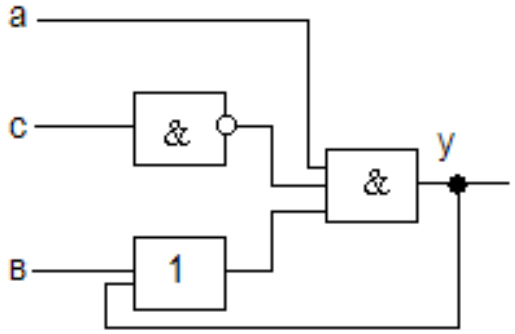


Рисунок 2.20 б

2.5 Алгебрологическое описание САУ по таблицам истинности

Если известен (в соответствии с техническим заданием) принцип работы САУ и он записан в виде таблицы истинности. Например, как в таблице 2.3, для двух параметров.

Таблица 2.3 - Таблица истинности для двух параметров

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

Тогда алгебрологическое уравнение такой САУ можно записать или в действительном виде, т.е. для У=1 или в инверсном виде, т.е. для У=0. В первом случае уравнение такой САУ запишется, как известно [7], как сумма произведений величин, т.е.,

$$Y = \overline{X_1} \cdot X_2 + X_1 \overline{X_2} + X_1 X_2 \qquad (2.17)$$

Или после преобразования

$$Y = X_1 + X_2 \qquad (2.18)$$

Этот же результат можно получить, если уравнение для САУ будет записываться в инверсном виде, т.е.

$$\overline{Y} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \qquad (2.19)$$

или после преобразования с учетом, что

$\overline{a} = в \rightarrow a = \overline{в}$, $\overline{\overline{a}} = a$, и $\overline{a \cdot в} = a + в$, получим

$$\overline{\overline{Y}} = \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2}} \rightarrow Y = \overline{\overline{X_1}} + \overline{\overline{X_2}} = X_1 + X_2 \qquad (2.20)$$

Т.е. тот же результат что и в уравнении 2.18. Поэтому, обычно составляют алгебрологическое уравнение САУ, учитывая минимальное количество получаемых слагаемых. В приведенном примере это конечное составление уравнения САУ по «инверсному» варианту.

2.6 Составление алгебрологического уравнения по таблицам истинности с учетом элементов памяти

Для нахождения алгебрологической записи технологических процессов, в которых имеются периоды запоминания предыдущих состояний и дальнейшей работы в соответствии с этими предыдущими состояниями можно воспользоваться следующим методом, разработанным профессором кафедры АЭП и ЭТ Алтайского Государственного технического университета Стальной М.И.

Вначале, на основе технического задания, составляется таблица истинности для входных переменных. Затем проставляются у выходного сигнала единицы там, где выходное устройство (однозначно) должно сработать и нули там, где оно однозначно не должно срабатывать. Например, пусть это будет устройство с двумя входными датчиками X_1 и X_2 и выходным сигналом «Y». Пусть таблица истинности с учетом вышесказанного выглядит следующим образом (таблица 2.4).

Таблица 2.4 - Таблица истинности для двух параметров

N	X_1	X_2	Y
1	0	0	0
2	0	1	0
3	1	0	-
4	1	1	1

Здесь третья позиция для выходного сигнала «Y» не проставлена, т.к. состояние датчиков X_1=1 и X_2=0 на выходе дает неоднозначный результат, а именно, если это состояние (X_1=1 и X_2=0) идет за 4 позицией, то на выходе будет «1», а если за первой или второй позицией, то «0». Чтобы формализовать этот процесс составляют следующую таблицу истинности (таблица 2.5), при этом прибавляют еще пятую строчку, в которой значение выходного сигнала принимает единичное значение, т.е. Y=1, а значения X_1 и X_2 соответствуют значениям записанным в третьей строчке. В самой третьей строчке «Y» записывается в нулевом значении, т.е. *Y*=0. Тогда алгебрологическое уравнение надо записывать следующим образом. Во-первых, это будет сумма произведений входных переменных только для всех действительных значений «Y», во-

вторых, пятая позиция будет записываться как слагаемое, состоящее из произведения входных переменных умноженное на «Y», т.е. следующим образом:

$$У = X_1 X_2 + X_1 \overline{X_2} У = X_1 (X_2 + У) \qquad (2.21)$$

Таблица 2.5- Таблица истинности для двух параметров

N	X_1	X_2	Y
1 2 3 4	0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 0 1
5	1	0	1

В данном случае устройство будет работать так: выходной сигнал «У» будет равен 1 только тогда, когда одновременно будут равны единице и X_1 и X_2, затем сигнал X_2 может пропасть, т.е. стать равным «0», но на выходе «У» будет оставаться в единичном состоянии, если при этом X_1 тоже равен 1. Если и X_1 станет равным нулю, то «У» тоже станет равным 0.

Здесь необходимо заметить, что если 5 позиция для «У» запишется как нулевое значение, то строчка памяти (третья) записывается с выходным сигналом У=1. В этом случае уравнение необходимо записывать для инверсных значений выходного сигнала. Например, пусть это будут таблицы 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6 - Таблица истинности для двух параметров

N	X_1	X_2	Y
1 2 3 4	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 «П» 1
5			

Таблица 2.7 - Таблица истинности для двух параметров

N	X_1	X_2	Y
1 2 3 4	0 0 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1
5	1	0	0

Здесь в таблице 2.6 третья точка «памяти» первоначально обозначается для «У» как «П», а в таблице 2.7, если пятая строчка будет записана по аналогии с третьей, но «У» будет равен нулю, то в самой третьей строчке вместо буквы «П» необходимо записать «1», т.е. «У» в третьей строчке У=1. Тогда уравнение для такой САУ необходимо записать по таблице 2.7 в следующим виде:

$$\bar{У} = \bar{X}_1 \bar{X}_2 + X_1 \bar{X}_2 \bar{У} = \bar{X}_2 (\bar{X}_1 + \bar{У}) \qquad (2.22)$$

Это уравнение можно записать и так

$$У = \overline{\overline{X}_2 (\overline{X}_1 + \overline{У})}$$

так как, если,

$а$=$в$, $\bar{а} = \bar{в}$, тогда если $\bar{а} = в$, то $а = \bar{в}$

Или, используя правило де-Моргана

$$У = \overline{\overline{X}_2 (\overline{X}_1 + \overline{У})} = X_2 + X_1 У \qquad (2.23)$$

В данном случае устройство работает следующим образом. Выходной сигнал «У» будет однозначно равен «0», когда нет одновременно ни сигнала «X_1», ни сигнала «X_2», затем если X_2=0 и появится сигнал X_1=1, то выходной сигнал «У» останется в нулевом состоянии. При всех других комбинациях X_1 и X_2 выходной сигнал «У» будет единичным, он также будет единичным и при комбинации X_1=1 и X_2=0, если эта комбинация последует за единичным значением выходного сигнала.

В конечном виде правило нахождения алгебрологического уравнения для установок с «памятью» формулируется следующим образом: вначале составляется таблица истинности, затем проставляются единицы и нули в выходном сигнале там, где выходной сигнал однозначно соответствует этим значениям. Против строки, где предполагается осуществить запоминание, первоначально проставляется буква «П» (таблица 2.6). Затем, чтобы упростить дальнейшие действия по минимизации, анализируют количество «0» и «1» в выходном параметре. Если единиц больше, то вместо «П» ставят «1», а в пятой (добавочной) строке выходной сигнал записывают в инверсном виде, т.е. У=0, тогда таблица 2.6 примет вид таблицы 2.7 и уравнение находится по инверсным (минимальным по количеству) строкам выходного сигнала. Это будет уравнение (2.22).

Для доказательства последнего правила запишем таблицу 2.6 таким образом, что вместо «П» поставим «0», тогда в последней строке «У» запишется в действительном виде, и уравнения устройства необходимо будет записывать по строчкам, где «У =1», а именно (таблица 2.8).

Таблица 2.8 - Таблица истинности для двух параметров

N	X_1	X_2	Y
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	0
4	1	1	1
5	1	0	1

Тогда получится уравнение 2.24.

$$У = \overline{X}_1 X_2 + X_1 X_2 + X_1 \overline{X}_2 У = X_2 + X_1 У_1 \qquad (2.24)$$

Из сопоставления уравнений (2.23, 2.24) видно, что они совершенно идентичны.

На основании вышеизложенного, предлагается следующий алгоритм нахождения уравнения САУ с памятью (с обратными связями):

√ Составляется таблица истинности по техническому заданию с учетом количества входных сигналов;

√ В выходном сигнале проставляется «1» и «0», там, где он однозначно принимает эти значения;

√ Против строки, где предполагается использовать запоминание, проставляется буква «П»;

√ Подсчитывается общее количество «0» или «1» в выходном параметре. Записывается добавочная строчка к таблице истинности;

√ Если «1» в выходном сигнале больше, то вместо «П» ставят «1», а в добавочной строке таблицы истинности выходной сигнал записывают в инверсном виде, т .е. «0»;

√ Тогда уравнение САУ находят по инверсным строкам выходных сигналов с учетом добавочной строки;

√ Если количество «0» больше, то вместо «П» ставят «0», а в дополнительной строке таблицы истинности выходной сигнал записывается в действительном виде и уравнение САУ находится по действительным строкам выходного сигнала с учетом добавочной строки в виде слагаемого с учетом сомножителя У.

Этим методом можно синтезировать САУ с памятью или с обратными связями для большего числа входных сигналов при числе входных переменных не более девяти. Но, кроме того строчек памяти может быть не одна, а несколько, при этом суть метода остается неизменной.

3 ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТЕЗА САУ ПО СЛОВЕСНЫМ АЛГОРИТМАМ И ТАКТОВЫМ ДИАГРАММАМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СШД

Приближаясь по своим свойствам к непрерывным приводам с двигателями постоянного и переменного тока, электроприводы с синхронно-шаговыми двигателями (СШД) при дискретном управлении имеют следующие преимущества:

√ обладают большой компактностью;

√ обладают большим диапазоном регулирования скорости;

√ регулировка скорости осуществляется изменением частоты прямоугольных импульсов питающей сети и имеет возможность реализовать очень низкие значения скорости ниже, чем у ДПТ при регулировке скорости изменением напряжения питающего якорь двигателя и асинхронных двигателей при частотном управлении;

√ обладают большой плавностью регулирования скорости;

√ имеют возможность осуществлять фиксацию конечных координат перемещений при отработке любого заданного перемещения (как большого, так и микроскопически маленького расстояния) без датчиков, обратных связей и конечных выключателей;

√ устойчиво работают при внешних механических ударах и вибрациях;

√ устойчиво работают при изменении условий окружающей среды;

√ имеют простую конструкцию;

√ имеют бóльшую надежность, т.к. нет вращающихся контактных соединений (коллектора и щеток);

√ система управления СШД строится на дискретных элементах, легко сопрягающихся с ЭВМ, что очень важно для электроприводов с УЧПУ.

Недостатки:

√ габариты у СШД больше чем у асинхронных двигателей, но меньше чем ДПТ:

√ $M_{синх.}$ зависит от угла поворота и угла между полем статора, и ротора;

√ необходим источник постоянного тока, как у двигателя постоянного тока и частотный преобразователь, как у двигателя переменного тока или генератор прямоугольных импульсов.

Однако значительно большее число перечисленных выше преимуществ обеспечили успешное применение СШД в электроприводах различного назначения, но особенно эффективно их использование в электроприводах станков с ЧПУ, роботизированных комплексных электроприводах, измерительных устройствах и т.д. Поэтому в данном учебном пособии рассматриваются примеры синтеза СУ в электроприводах с СШД на основе словесного алгоритма таблиц истинности и тактовых диаграмм.

Типичная функциональная блок-схема электропривода с СШД имеет вид (рисунок 3.1.):

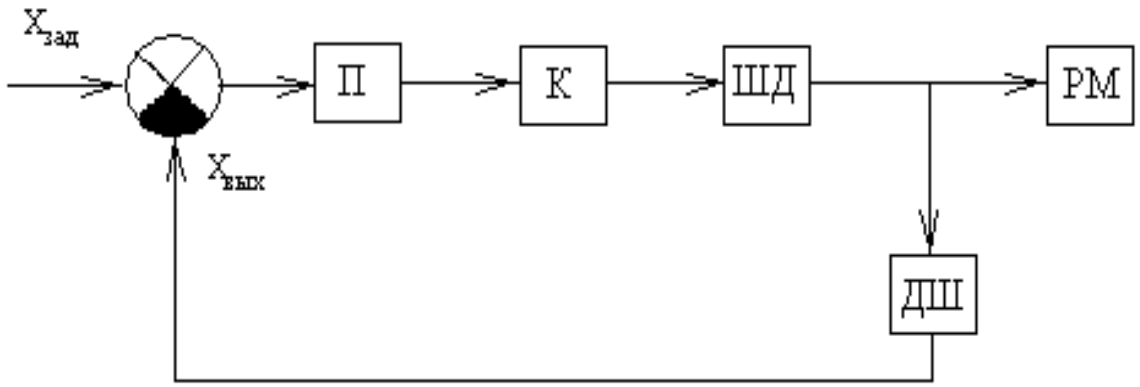


Рисунок 3.1 - Типичная функциональная блок-схема электропривода с СШД

Здесь: П – преобразовательное устройство, обеспечивающее реверс, программный разгон, торможение двигателя, старт – стопный режим, блоки дробления шага и т.д. Оно преобразует задающий сигнал или управляющие импульсы в ту или иную систему команд, поступающих на коммутатор К.

К – коммутатор, устройство, включающее распределитель импульсов, логическую часть и усилители, сигналы с которых поступают на обмотки управления СШД;

РМ – рабочий механизм;

ДШ – датчик шагов.

3.1 Коммутатор шагового двигателя

Устройство, обеспечивающее поступление, в соответствующей последовательности, напряжений в обмотки СШД, называется коммутатором. Он обычно состоит из распределителя импульсов (РИ) и коммутационных ключей (КК). В его задачу входит преобразование одноканальной последовательности импульсов, в соответствии с управляющим сигналом, в многофазную систему напряжений и усиление этих напряжений перед подачей на обмотки СШД.

В настоящее время в коммутаторах используют интегральные микросхемы в виде: или сдвигающих регистров, или счетчиков с дешифратором, или логических устройств, которые называют распределителями импульсов (РИ). Один из вариантов РИ для четырехфазного СШД (рисунок 3.2) при однополярном симметричном, четырехтактном управлении (рисунок 3.3 а, б) можно реализовать на двух J-K триггерах со счетным входом (рисунок 3.4). На рисунке 3.5 показана циклограмма работы этого РИ.

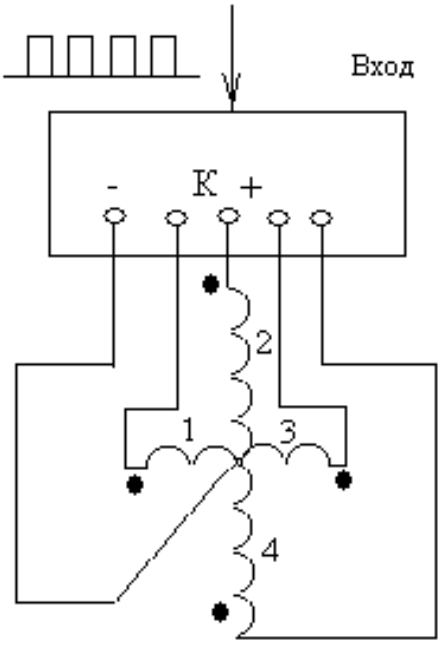
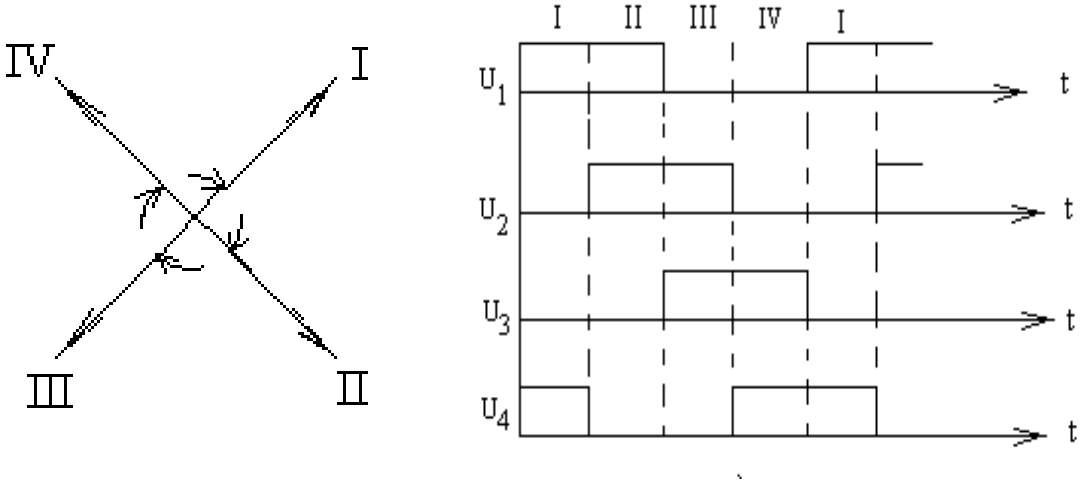


Рисунок 3.2



а) б)

а – Векторная диаграмма направления магнитного поля статора в соответствии с тактами работы обмоток.
б – Тактовая диаграмма работы обмоток статора СШД. В которой I-IV – векторы вращающего поля статора, U_1-U_4 – напряжения, поступающие на соответствующие обмотки статора СШД по тактам.

Рисунок 3.3

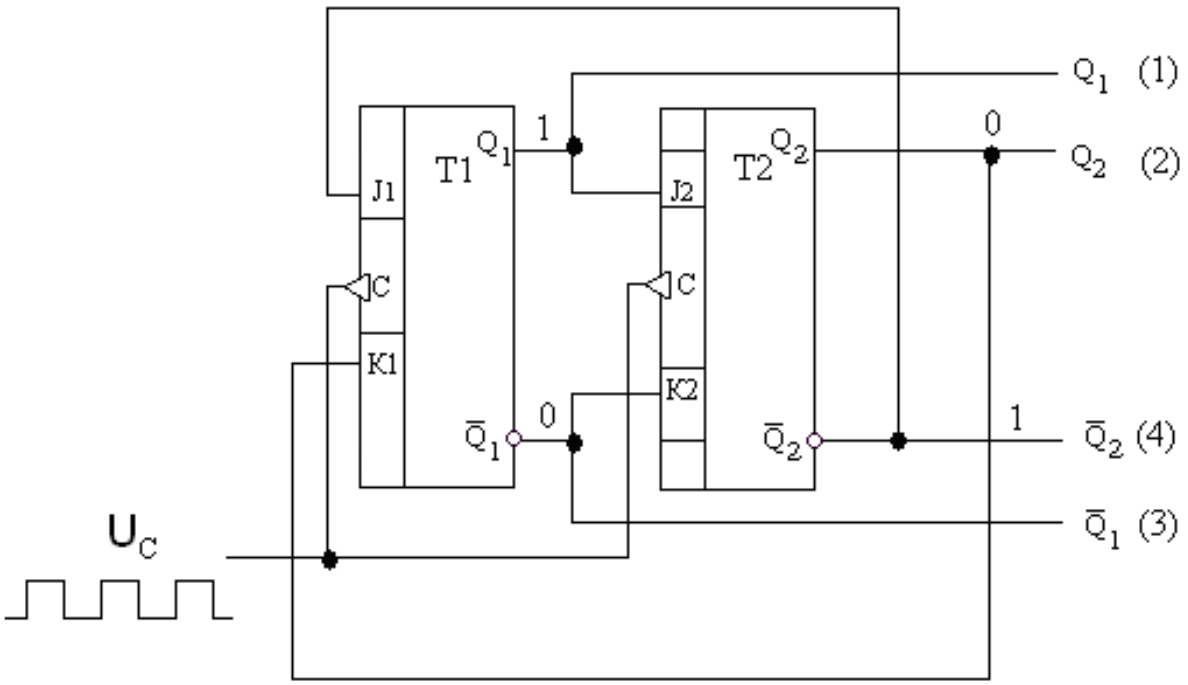


Рисунок 3.4

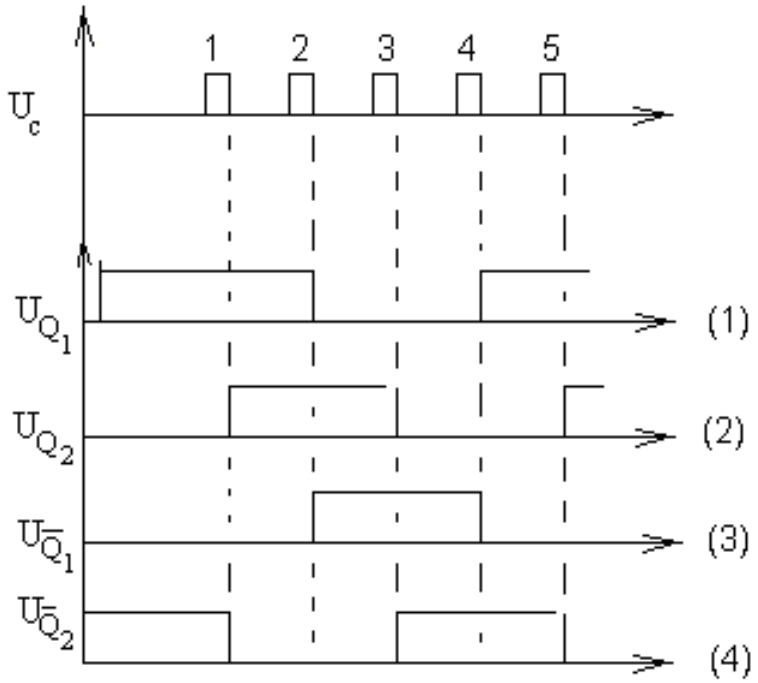


Рисунок 3.5

Схема (рисунок 3.4) работает следующим образом. Пусть перед приходом первого командного синхроимпульса на вход «С» схемы на выходе Q_1 первого триггера была I, а на выходе второго триггера Q_2=0. Тогда на вторых инверсных выходах триггеров соответственно будут $\overline{Q}_1 = 0$ и $\overline{Q}_2 = 1$, по схеме

связей разрешающие сигналы на J входы будут J_1=1 и J_2=1 с выходов $\overline{Q}_2$ и Q_1. Следовательно, с приходом первого командного импульса U_c по его заднему фронту первый триггер не изменит своего состояния Q=I, второй триггер перейдет в состояние логической единицы Q_2 = I (рисунок 3.5). Таким образом, значения вторых выходов триггеров будут однозначны, т.е. $\overline{Q}_1 = 0$, $\overline{Q}_2 = 0$. В результате единичный сигнал с выхода Q_2 теперь подается на вход $К_1$ первого триггера (установка состояния логического нуля). На входе J_2 второго триггера, по-прежнему остается положительный потенциал (рисунок 3.5). При прохождении второго командного импульса первый триггер переходит в состояние логического нуля, т.е. Q_1=0, второй триггер остается в состоянии логической единицы, и т.д. Эти сигналы с выходов триггеров поступают или непосредственно на соответствующие обмотки СШД или после предварительного усиления по мощности, на коммутационных полупроводниковых ключах, на обмотки СШД. Шаг поворотного магнитного поля статора здесь равен α=90^o (рисунок 3.3 а).

На рисунке 3.4 цифрами в скобках показано, на какую обмотку СШД поступает соответствующий сигнал. Таким образом, была рассмотрена работа нереверсивного распределителя импульсов, имеющего 4 обмотки управления и одну пару полюсов. В то же время широко используются СШД, имеющие и 2 и 3 и 5 обмоток управления, управление которыми производится по принципу однополярного, разнополярного управления, а также симметрично-несимметричного управления [6].

Разнополярное управление обмотками, также может быть симметричным и несимметричным. Однако при этом статорные обмотки СШД должны быть включены уже по-другому (рисунок 3.6 а) и каждая обмотка может быть подключена как на протекание тока в прямом направлении (сплошные стрелки на рисунке 3.6 а), так и на протекание тока в обратном направлении (пунктирные стрелки).

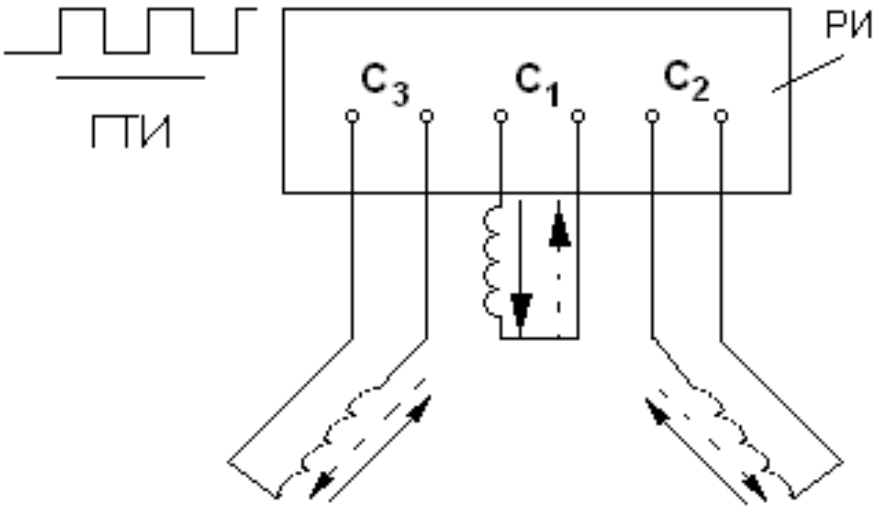
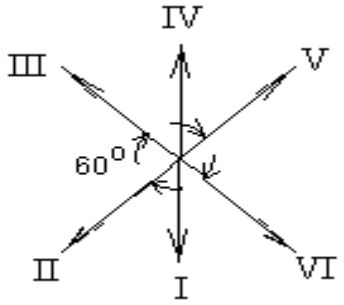


Рисунок 3.6 а

На рисунке 3.6 б показана векторная диаграмма вращения поля статора при симметричном включении обмоток по типу (+1, -3, +2, -1, +3…) статора, и на рисунке 3.6 в соответствующая тактовая диаграмма изменения направления тока в обмотках при этом симметричном разнополярном управлении. Шаг поворота магнитного поля статора здесь равен $\alpha=60^0$.



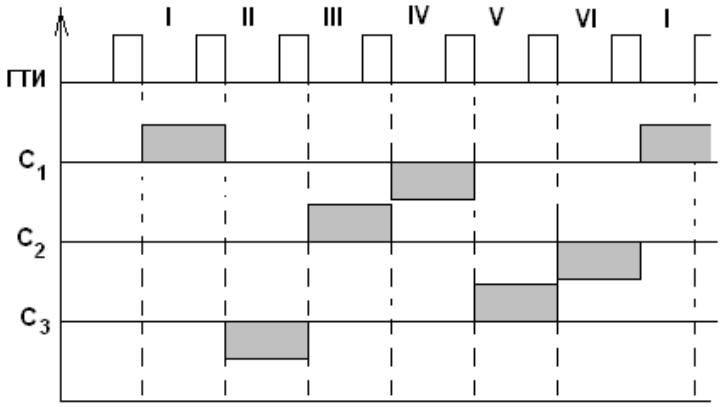
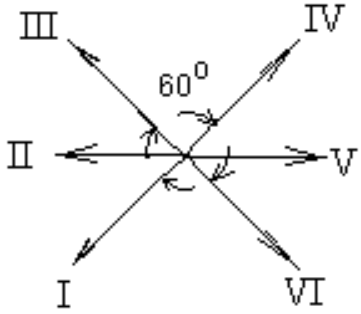
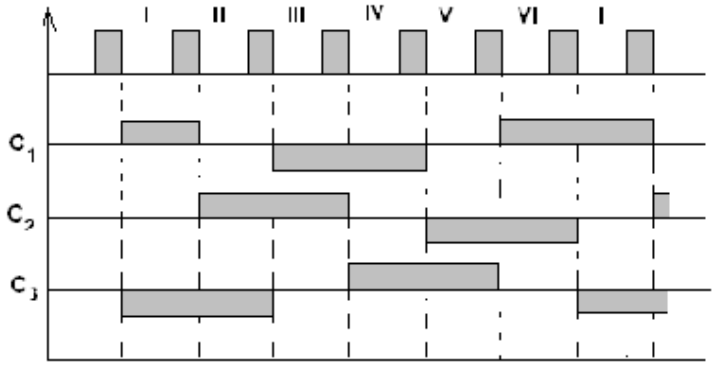


Рисунок 3.6 б

Рисунок 3.6 в

Можно сделать симметричное разнополярное управление, так как это показано на рисунках 3.7 а, б, когда одновременно работают на каждом такте по две обмотки.





а)

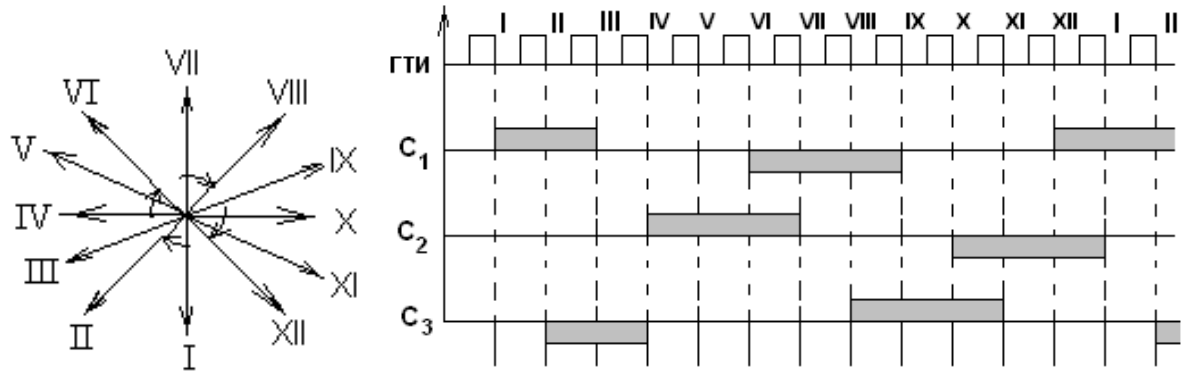
б)

Рисунок 3.7 а, б

А на рисунке 3.8 а, 3.8 б показан вариант несимметричного разнополярного управления, где на рисунке 3.8 а показана векторная диаграмма вращения поля статора а на рисунке 3.8 б тактовая диаграмма изменения направления токов в обмотках статора СШД.

Здесь, чтобы сделать полный оборот магнитному полю статора потребуется уже не три, и не шесть шагов. Угол поворота на каждом шаге будет опре-

деляться, как $\alpha_ш$=30°. Таким образом, угол шага магнитного поля статора составляет 30°.



а) б)

Рисунок 3.8 а, б

При числе обмоток управления СШД равное трем (рисунок 3.9), и если обмотки статора соединены звездой, возможны следующие методы управлении ими. Здесь, во-первых, возможно только однополярное управление обмоток и, во-вторых, как симметричное, так и несимметричное включение обмоток статора.

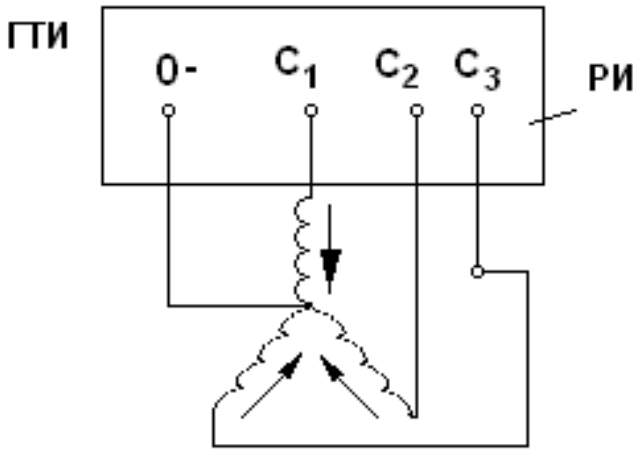
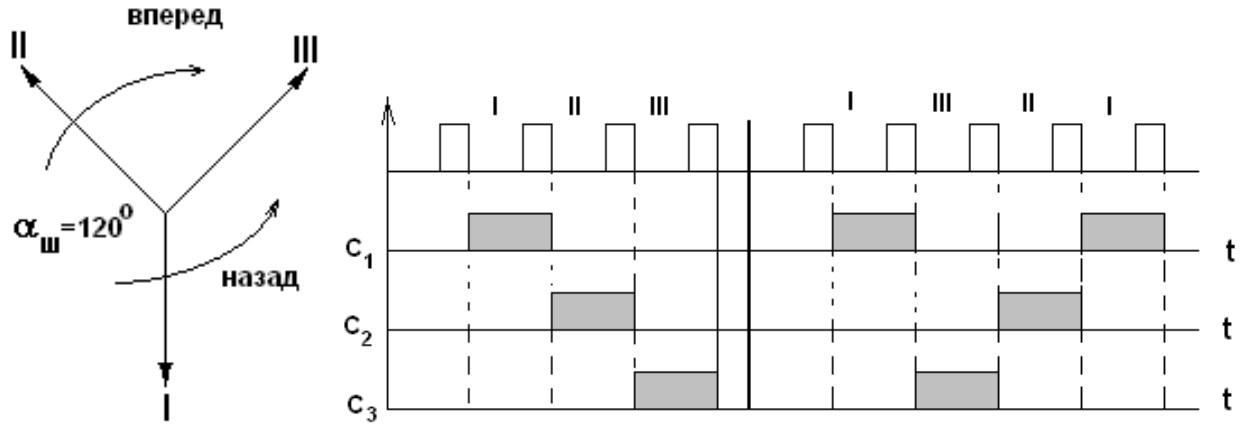


Рисунок 3.9

Симметричный способ при однополярном управлении обмоток показан на рисунок 3.10 а, б, в, где на рисунке 3.10 а показаны положения векторов поля статора при соответствующих включениях обмоток. На рисунке 3.10 б, в показаны тактовые диаграммы включения обмоток при направлении «ВПЕРЕД» и «НАЗАД».

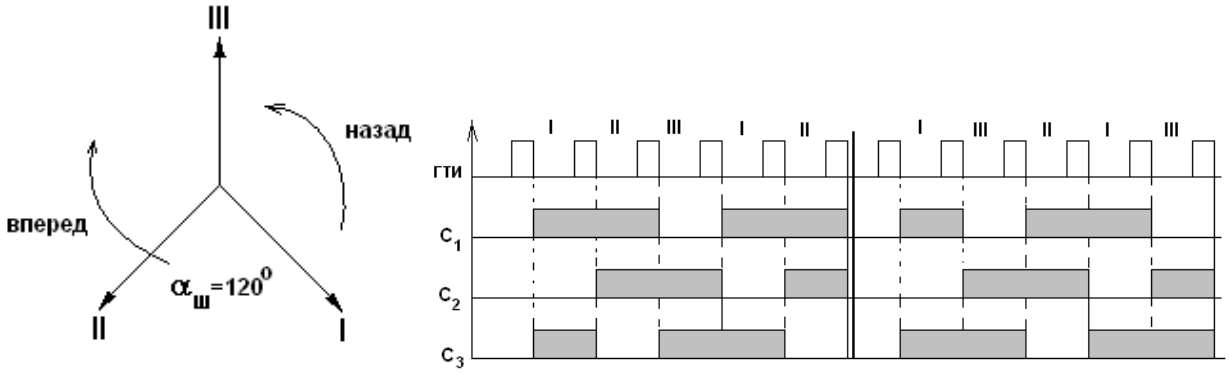
Таким образом, симметричный способ управления заключается в том, что всегда на каждом такте одновременно работают одинаковое число обмоток.



а) б) (вперед) в) (назад)

Рисунок 3.10

В случае, показанном на рисунке 3.10 – это способ, при котором всегда включено по одной обмотке, а в случае, показанном на рисунке 3.11, это всегда одновременное включение двух обмоток. В этих вариантах угол поворота вектора поля на каждом шаге составляет 120°.



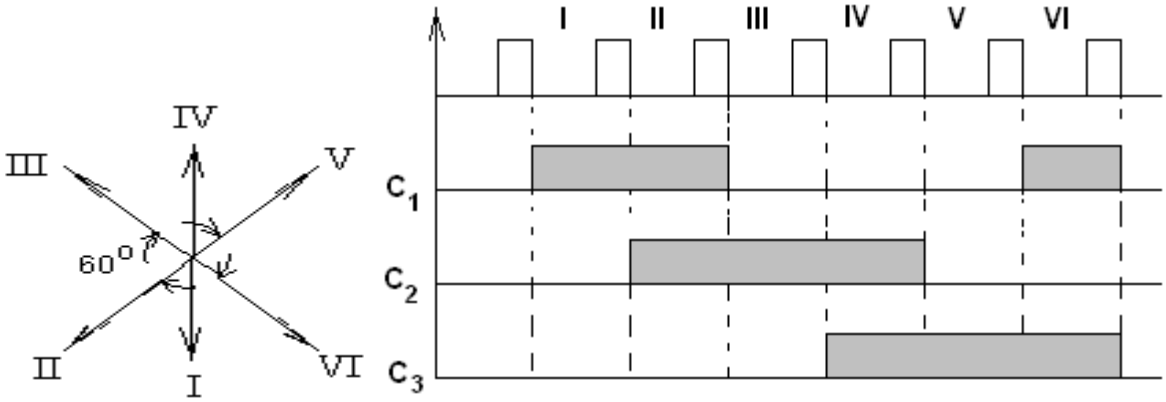
а) б) (вперед) в) (назад)

Рисунок 3.11

Несимметричный способ включения характеризуется тем, что на разных тактах включено разное количество обмоток, например: одна-две-одна-две, как это показано на рисунке 3.12 б. На рисунке 3.12 а показана векторная диаграмма вращения поля статора СШД.

На основании изложенного, если обозначить через $К_1$ – коэффициент симметричности, который при симметричном управлении равен $К_1 = 1$, при несимметричном управлении - $К_1=2$, и через $К_2$ – коэффициент полярности управления протекания токов в обмотках, при этом при однополярном управлении $К_2=1$, при разнополярном $К_2=2$ и если до этого мы рассматривали случаи,

когда число пар полюсов равнялось 1, то, если оно отличается от единицы, это необходимо учесть.



а) б)

Рисунок 3.12 а, б

Тогда формула для подсчета угла поворота поля статора определится следующим образом:

$$\alpha_{ш} = \frac{360^0}{P \cdot K_{т} \cdot m} = \frac{360^0}{m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot P}$$

где $K_т$ - коэффициент тактирования; иногда коэффициент тактирования определяют как:

$$K_{т} = K_1 \cdot K_2$$

m – число обмоток управления (фаз);

P – число пар полюсов.

Тогда при управлении обмотками в соответствии со следующими рисунками имеем:

для рисунков 3.2, 3.3, 3.5 имеем :

$$\alpha_{ш} = \frac{360^0}{P = 1, \cdot m = 4, K_1 = 1, K_2 = 1} = 90^0,$$

для рисунка 3.6, 3.7

$$\alpha_{ш} = \frac{360^0}{P = 1, m = 3, K_1 = 1, K_2 = 1} = 60^0,$$

для рисунка 3.8

$$\alpha_{ш} = \frac{360^0}{P = 1, \cdot m = 3, K_1 = 2, K_2 = 2} = 30^0,$$

для рисунков 3.9, 3.10, 3.11

$$\alpha_{ш} = \frac{360^0}{P = 1, \cdot m = 3, K_1 = 1, K_2 = 1} = 120^0,$$

для рисунка 3.12

$$\alpha_{ш} = \frac{360^0}{P = 1, \cdot m = 3, K_1 = 2, K_2 = 1} = 60^0$$

Как было показано выше (рисунки 3.10, 3.11), реверсивные распределители импульсов при управлении СШД однополярными импульсами должны иметь два входных канала «Вперед» и «Назад» и или два триггерных устройства (2РИ) или дополнительную логическую часть. Если управление СШД осуществляется разнополярными импульсами, то РИ обычно строятся с одним нереверсивным триггерным устройством с обязательной логической частью.

3.2 Реверсивные распределители импульсов

Пример выполнения схемы четырехфазного реверсивного, однополярного, симметричного СШД, выполненный на двух триггерных устройствах показан на рисунке 3.13.

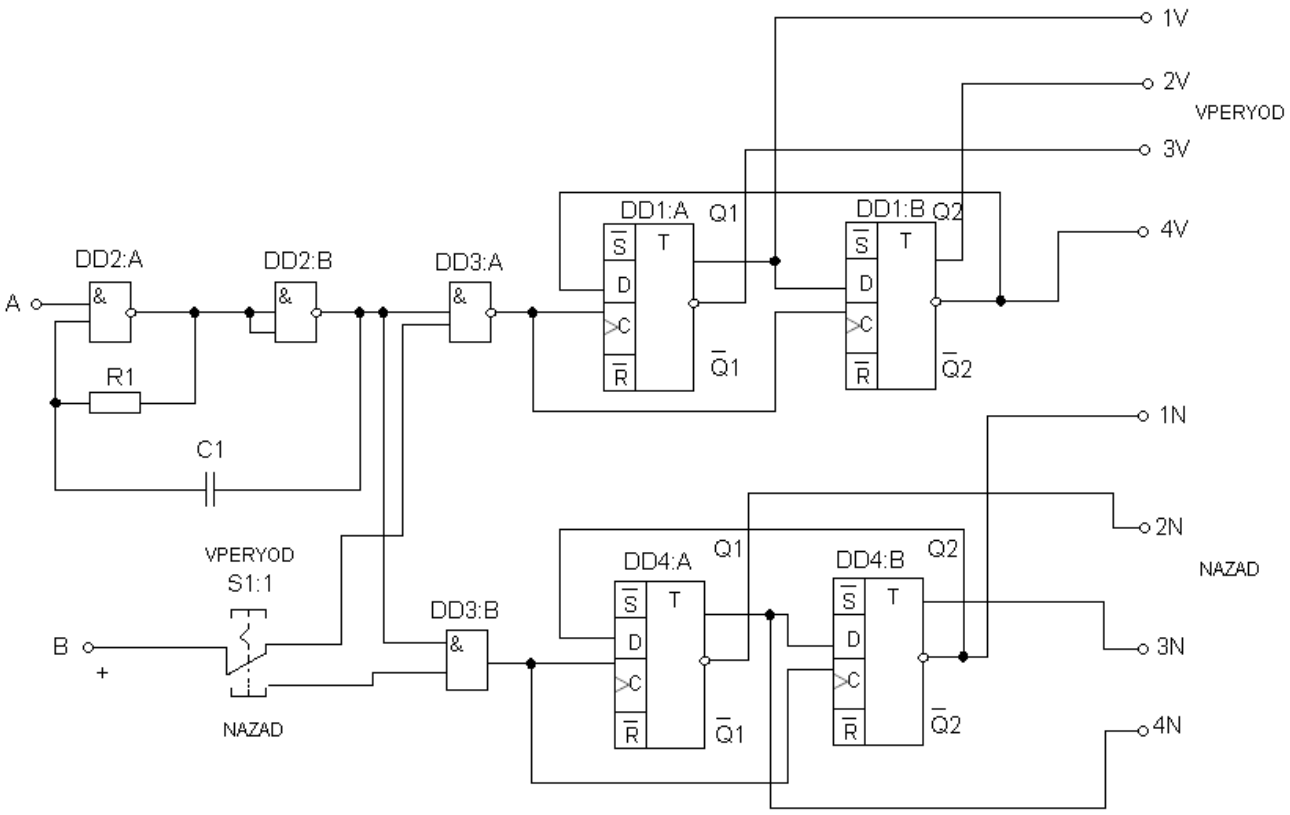
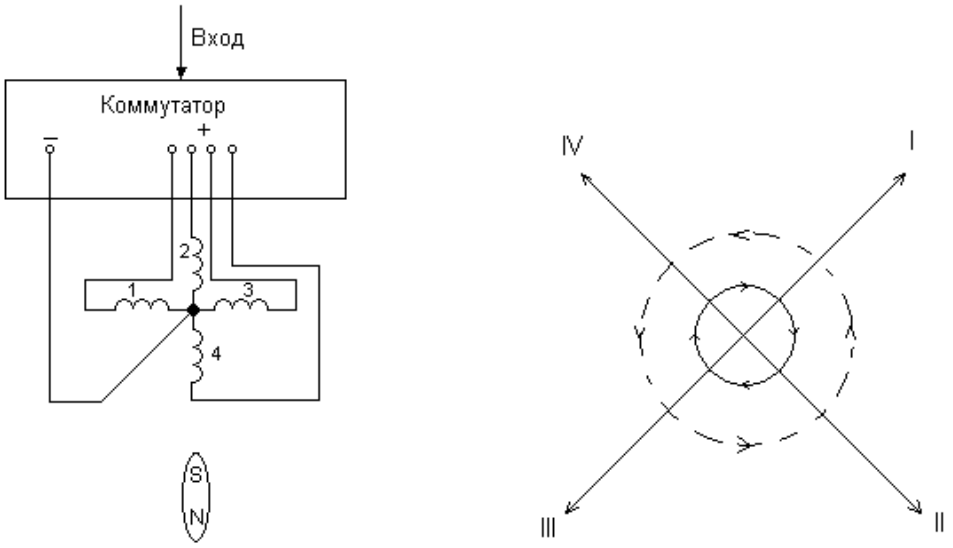


Рисунок 3.13 - Принципиальная электрическая схема реверсивного распределения импульсов в коммутаторе системы управления СШД

На рисунке 3.14 а показана физическая схема включения обмоток СШД, на рисунке 3.14 б показана векторная диаграмма, на рисунке 3.14 в показана тактовая диаграмма, на рисунке 3.14 в показано питание векторных обмоток СШ в направлении «вперед» и «назад».



а) б)

Рисунок 3.14 – а - Физическая схема включения обмоток СШД,
б - векторная диаграмма

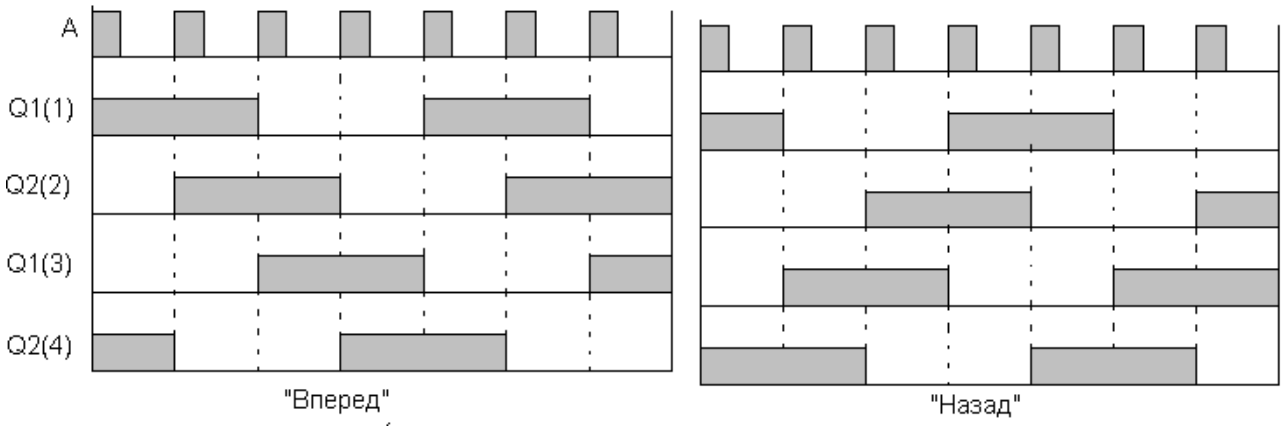


Рисунок 3.14 в – Тактовые диаграммы СШД. Описание работы реверсивного распределения импульсов в четырехфазном коммутаторе систем управления СШД (схема на рисунке 3.13)

На элементах DD2:A, DD2:B, R1 и C1 собран генератор импульсов. Вход A разрешает работу генератора. Со входа B подается напряжение либо на группу «вперед», либо на группу «назад», в зависимости от положения кнопки S1:1 («вперед» или «назад»).

При помощи элемента DD3:A подаются тактирующие импульсы на группу «вперед», а DD3:B – на группу «назад». Направление вращения «вперед». Порядок подачи напряжения на обмотки шагового двигателя: 4,1 – 1,2 – 2,3 - 3,4 – 4,1. На D – триггерах DD1:A, DD1:B собран комплект распределителя импульсов для четырехфазного синхронно-шагового двигателя при однополярном симметричном четырехтактном управлении группы «вперед».

Пусть перед приходом первого командного синхроимпульса на вход «С» схемы находились в нулевом состоянии. Следовательно, с приходом первого командного импульса по его переднему фронту первый триггер изменит свое состояние Q1=1, второй триггер не переключится, т.к. в момент прихода тактирующего импульса значение на информационном входе D=0, значит Q2=0. Значения вторых выходом триггеров будут противоположны, то есть $\overline{Q}1=0$, $\overline{Q2}=1$.

В результате единичный сигнал с выхода Q1 теперь подается на вход D второго триггера (установка состояния логической единицы). На входе D первого триггера по-прежнему остается положительный потенциал. При прохождении второго синхроимпульса первый триггер не изменяет свое состояние, то есть Q1=1, второй триггер переключится, т.к. в момент прихода тактирующего импульса значение ни информационном входе D=1, значит Q2=1, инверсные выходы соответственно $\overline{Q}1=0$, $\overline{Q}2=0$ и т.д.

Направление вращения «назад». Порядок подачи напряжения на обмотки шагового двигателя: 1,4 – 4,3 – 3,2 – 2,1 – 1,4. Работает комплект распределителя импульсов, собранный на элементах DD4:A, DD4:B, определяющий направление вращения шагового двигателя «назад».

3.2.1 Реверсивные распределители импульсов с разночастотными генераторами

Реверс можно осуществить и с помощью нереверсивного РИ, в котором на каждом такте возбужденной оказывается только одна обмотка или пара обмоток. Предположим, что по окончании пятого такта (рисунок 3.15), когда возбуждена первая фаза (1), на вход нереверсивного РИ пришла пачка из 3-х импульсов вместо одного, частота следования которых больше частоты обычных импульсов. Если длительность этих импульсов достаточна для срабатывания коммутатора и не достаточна для срабатывания СШ двигателя, то после окончания первого импульса из пачки первая фаза будет отключена, а вторая запитана. Однако двигатель не успеет отработать эту команду и тронуться с места, так как появляется второй импульс пачки. Вторая фаза отключается, запитывается обмотка третьей фазы, и эта команда также не отрабатывается. При поступлении третьего импульса в возбужденное состояние приходит четвертая обмотка, т.е. четвертая фаза. Время, в течение которого остается четвертая фаза в таком включенном состоянии, оказывается достаточным для отработки шаговым двигателем этой команды. Таким образом, после отключения первой фазы, двигатель отработает только возбужденное состояние четвертой фазы, что со-

ответствует повороту вектора потока статора на угол основного шага в направлении против часовой стрелки, т.е. двигатель, осуществляет реверс.

Если после пятого такта поступление пачек импульсов будет продолжено, то двигатель продолжит вращение против часовой стрелки. При поступлении обычных импульсов двигатель начинает вращаться в обычном направлении (по часовой стрелке).

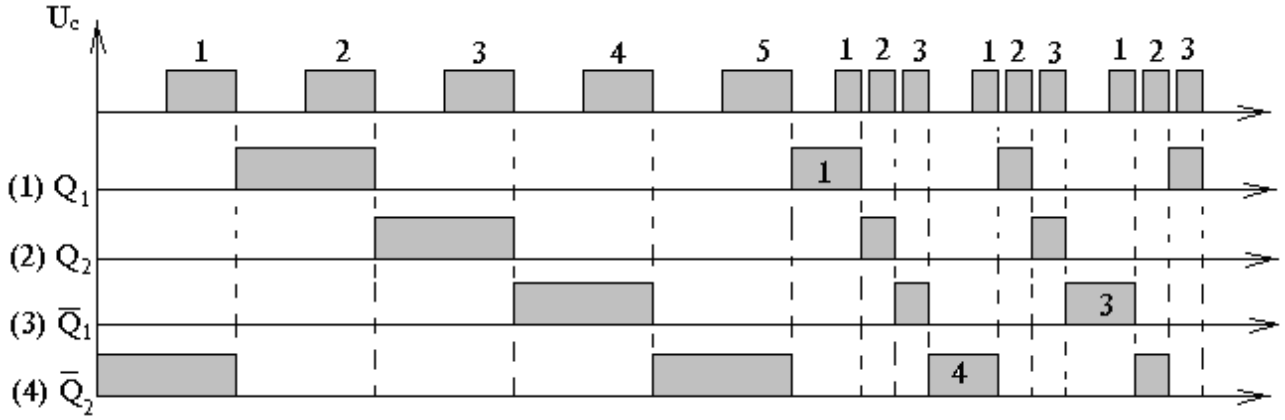


Рисунок 3.15

Итак, осуществление реверса нереверсивным распределителем импульсов с N–тактной коммутацией требует формирования пачки из N – 1 импульсов. На рисунке 3.16 показан один из вариантов такой функциональной блок-схемы: НГ низко - и ВГ- высокочастотные генераторы; И1, И2- логические элементы; ФИ- формирователь импульсов, К – коммутатор. Работа двигателя в прямом направлении обеспечивается подключением низкочастотного генератора НГ к входу коммутатора по каналу (2), обозначенному пунктиром. Для реверса НГ отключают от К по пунктирному входу и замыкают на один из входов И1. Высокочастотные импульсы в соответствии с диаграммой (рисунок 3.17) поступают на первый вход И1.

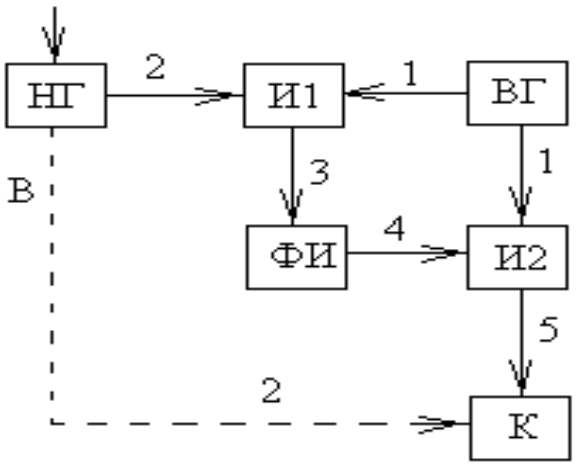


Рисунок 3.16

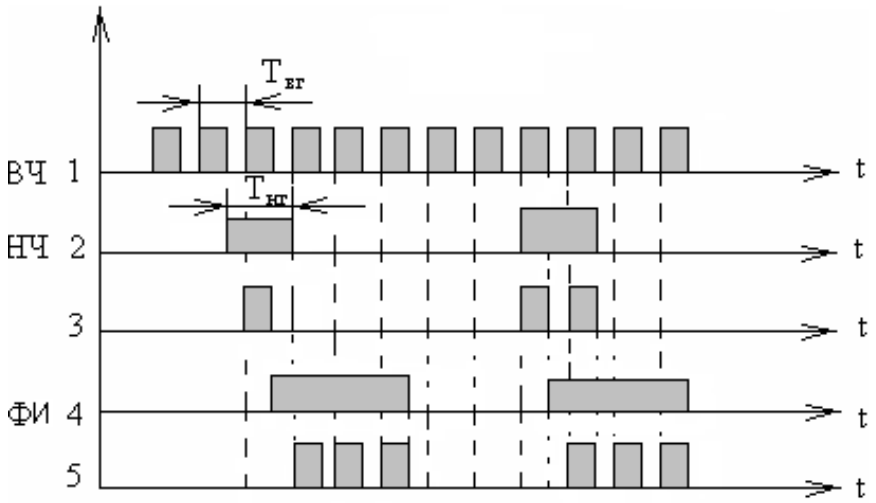


Рисунок 3.17

Схема И1 пропускает эти импульсы (диаграмма 3), если на ее второй вход поступает сигнал от НГ (диаграмма 2). С выхода И1 сигнал поступает на вход формирователя импульсов ФИ. Первый импульс, поступивший от ВГ, запускает по заднему фронту ФИ, на выходе которого появляется импульс (диаграмма 4) со стабильной, наперед заданной длительностью. Этот импульс является разрешающим для И2, который пропускает пачку из трех (N-1) импульсов (диаграмма 5) на К.

Схемная реализация этого алгоритма может быть выполнена следующим образом (рисунок 3.18).

При подаче сигнала на движение вперед, он объединяется, через элемент ДД1.1, с сигналами низкочастотного генератора и далее через ДД3.1 поступает на коммутатор, «К».

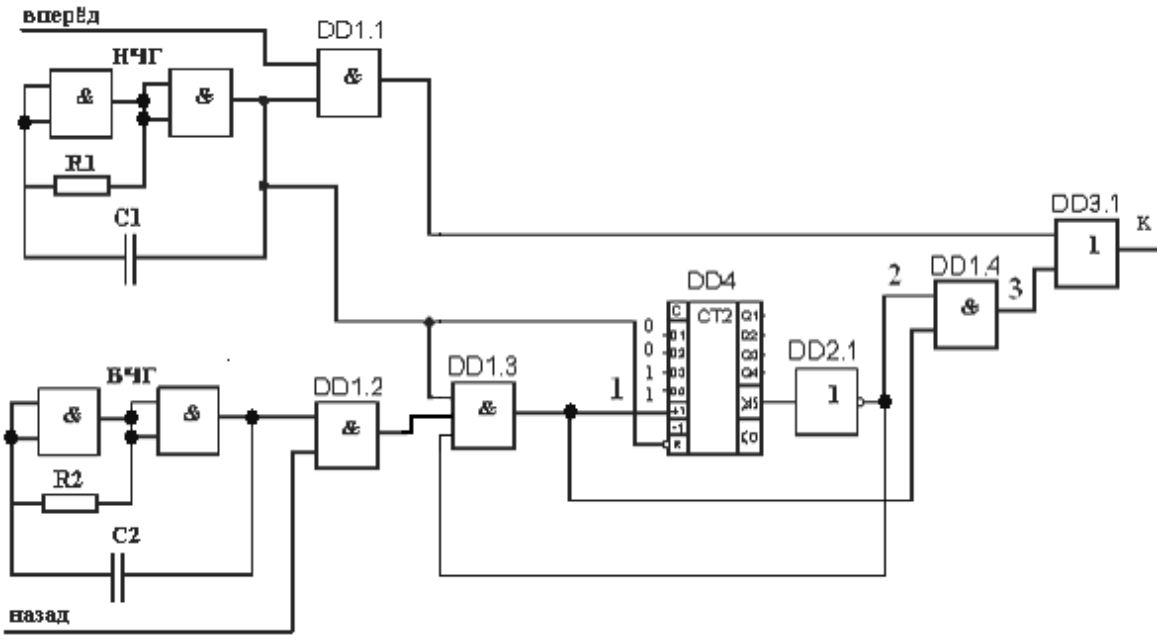


Рисунок 3.18

При подаче сигнала на движение назад, с разрешающего элемента ДД1.2 и при наличии положительного сигнала с НЧГ сигнал высокочастотного генератора через элемент ДД1.3 начинает проходить на счетчик, а с него на элемент ДД2.1, на элементы ДД1.4 и ДД3.1 и на коммутатор К. Со счетчика по достижении заданной цифры на элементе ДД2.1 появляется «0». Этим самым появляется запрещающий сигнал для прохождения высокочастотных импульсов с ДД1.3 на счетчик и коммутатор. С приходом с нулевого импульса НЧГ счетчик обнуляется, и операция начитается заново с приходом следующего положительного импульса с НЧГ.

Дополнительные сведения

1. При проведении необходимых расчетов нужно учитывать, что верхняя граница высокочастотного генератора рассчитывается с учетом общего времени прохождения сигнала от входа к выходу по цепочке логических элементов и триггеров. Выбрав самую длинную цепочку прохождения сигнала, рекомендуется принимать время прохождения сигнала через простейший логический элемент от 8 до 20 нс (не более 30 нс).

2. Нижняя граница высокочастотного генератора рассчитывается таким образом, чтобы за отрезок времени, равный два длительности импульса 2 $t_{имп}$, двигатель не успел бы тронуться с места, т.е. 2 $t_{имп} \leq t_{тр}$. При этом время начала трогания ($t_{тр}$) определяется из следующих соотношений.

$$U_н = L_{ов} \frac{I_{ов}}{dt} + I_{ов} R_{ов} \tag{3.1}$$

$$I_с = \frac{U_н}{R_{ов}} \left[1 - \exp\left(\frac{-t_{тр}}{T_{эм}} \right) \right] \tag{3.2}$$

$$M_с = K_к I_с \tag{3.3}$$

где: $U_н$ - номинальное напряжение (В);

$L_{ов}$ - индуктивность обмотки возбуждения (гн);

$R_{ов}$ - активное сопротивление обмотки возбуждения (ом);

$I_с$ - ток нагрузки (А);

$M_с$ - момент сопротивления на валу двигателя (НМ);

$K_к$ - конструктивный коэффициент;

$t_{тр}$ - время (с) трогания механизма с места;

$T_{эм}$ - электромагнитная постоянная времени.

Решив эти уравнения (3.1, 3.2, 3.3) относительно $t_{тр}$ необходимо принять нижнюю границу высокочастотного генератора как:

$$f_{вчг} > \frac{1}{t_{тр}}.$$

В то же время эта частота $f_{вчг}$ должна быть больше чем частота приемистости низкочастотного генератора. Частоту приемистости можно определить через номинальную скорость двигателя по следующей формуле:

$$f_{пр} = \frac{\omega_{н} \cdot P \cdot K_{Т}}{2\pi},$$

где: $\omega_{н}$ - номинальная скорость двигателя;

P- число пар полюсов СШД;

$K_{Т}$- коэффициент тактирования.

Длительность сигнала формирователя импульсов рассчитывается так, чтобы в этой длительности уместились $N_{п}=K_{Т}=1$ сигналов высокочастотного генератора импульсов.

3.3 Работа СШД в режиме дробления шага

К современным электроприводам предъявляются требования широкого диапазона регулирования скорости (ω) с получением, как сверхнизких частот вращения, так и высокой равномерности движения, а также точного позиционирования, хорошей сопрягаемости с вычислительной техникой. Эти требования наиболее полно можно выполнить с использованием СШД, если применять в СШД переходы с одного значения шага вращения на другой, меньшего значения, а это значит, перейти к дроблению шага. Дробление шага бывает естественным и искусственным.

3.3.1 Естественное дробление шага

При естественном дроблении изменяется тактность системы коммутации. Это можно сделать, применив: или несимметричное управление; или разнополярное управление; или изменив число обмоток управления; или изменив число пар полюсов. Кроме того, для естественного дробления шага можно использовать идею построения предыдущей схемы (рисунок 3.16). При этом для трехфазного СШД (рисунок 3.12) надо иметь два генератора тактовых сигналов и посылать пачку из двух импульсов, тогда, если без пачки шла коммутация 1; 1-2; 2; 2-3; 3 и т.д. то с пачкой пойдет коммутация или 1;2;3 или 1-2, 2-3, 3-1, т.е. шаг увеличится. А можно сделать проще. Например, для четырехфазного синхронно – шагового двигателя можно предложить блок-схему, показанную на рисунке 3.19, где ДЦ1 и ДЦ2 – блоки дифференцирования положительного нарастания сигнала. Если на входе «Вх 1» сигнал равен 0, а на «Вх 2» поступает тактовый сигнал, то на двигателе коммутатором К осуществляется, например,

восьмикратная коммутация, так как сигналы идут от «Вх 2» через ДЦ2 и элемент «ИЛИ» (диаграмма $U_{вх.к}$, рисунок 3.20) на К в период от t_1 до t_2.

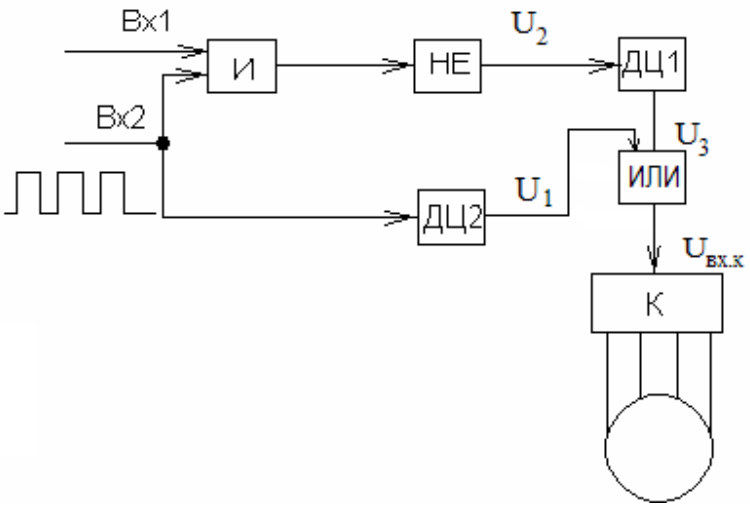


Рисунок 3.19

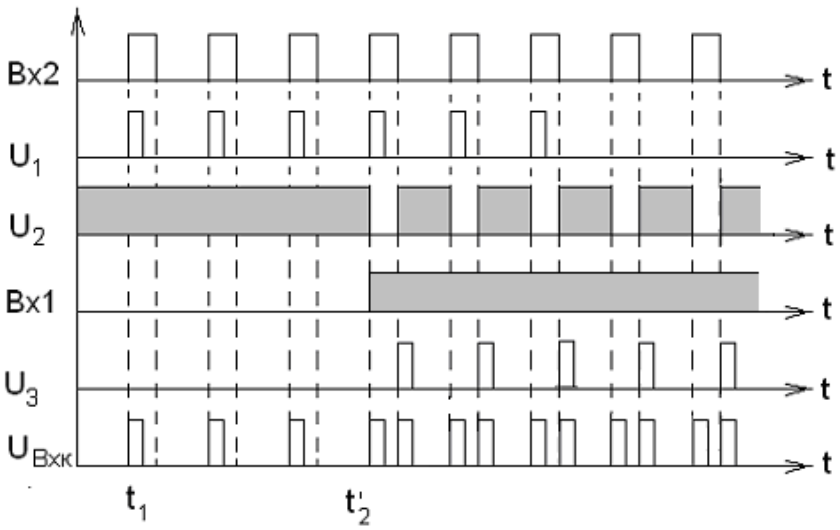


Рисунок 3.20

Коммутатор и двигатель пусть при этом отрабатывают следующий +порядок включения обмоток: 1; 1-2; 2; 2-3; 3; 3-4; 4; 4-1; 1 – и т.д. с шагом, равным 45°, т.е. половине основного. Если на Вх 1 подана «1», в момент времени t_2 то тактовые импульсы идут и на логический элемент «И» и на ДЦ2. После элемента И сигналы проходят через элемент НЕ (диаграмма U_2), тогда на элементе ДЦ1 сигналы дифференцируются по заднему нарастающего фронту входного тактового сигнала, но по переднему фронту сигнала U_2 (диаграмма U_3).

Теперь на К приходят сдвоенные импульсы (диаграмма $U_{ВхК}$) с паузой между сдвоенными импульсами, которая равна длительности тактирующих им-

пульсов, но она должна быть достаточно мала, чтобы двигатель не успел ее отработать.

Таким образом, К проходит все возможные состояния, а двигатель отрабатывает только каждую вторую команду. Поэтому осуществляется отработка четырехконтактной коммутации типа: 1-2;2-3; 3-4; 4-1 и т.д., или идет включение обмоток 1,2,3,4,1 и т.д. При этом шаг перемещения увеличивается и равен 90^o.

3.3.2 Искусственное дробление шага

Искусственное дробление шага используется для особо точной корректировки положения механизма, связанного с СШД. Дробление шага достигается путем ступенчатого изменения тока, протекающего по обмоткам двигателя.

Искусственное дробление шага заключается в ступенчатом изменении величины токов в фазах. На рисунке 3.21 показан принцип реализации этого метода по шагам или тактам коммутации. Так, после первого импульса на первую обмотку поступает ток величиной $A_1=I_{1max}$, а на вторую – $B_c=0=I_2$, т.е. комбинация A_1-B_o.

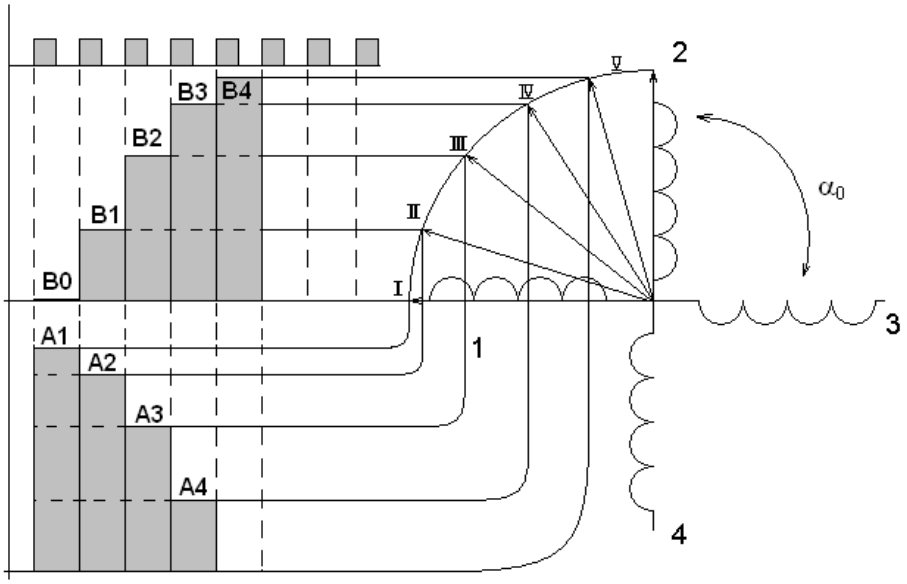


Рисунок 3.21

На втором шаге поступают токи, соответственно, A_2 и B_1, и т.д. Если с приходом тактовых импульсов токи, протекающие по обмоткам первой и второй фазы, будут изменяться так, как это изображено по тактам на рисунке 3.21, то вектор суммарного тока, а, следовательно, и вектор магнитодвижущей силы или потока в двигателе перемещаются дискретно в направлении вращения по часовой стрелке с шагом $\alpha_\omega=0{,}18\ \alpha_0$. В том же направлении будет вращаться и двигатель. Чем больше число ступеней, тем плавнее вращается двигатель. Однако, так как вращающий момент $M=M_{max}\cdot \mathrm{Sin}\cdot\alpha_ш$, то чем больше ступеней, тем

меньше шаг, а, следовательно, меньше и момент. Чтобы момент остался прежним, необходимо повышать величину питающего напряжения.

На рисунке 3.22 изображена тактовая диаграмма работы двигателя при искусственном дроблении шага по 5 на каждой обмотке при нарастании и спадании тока.

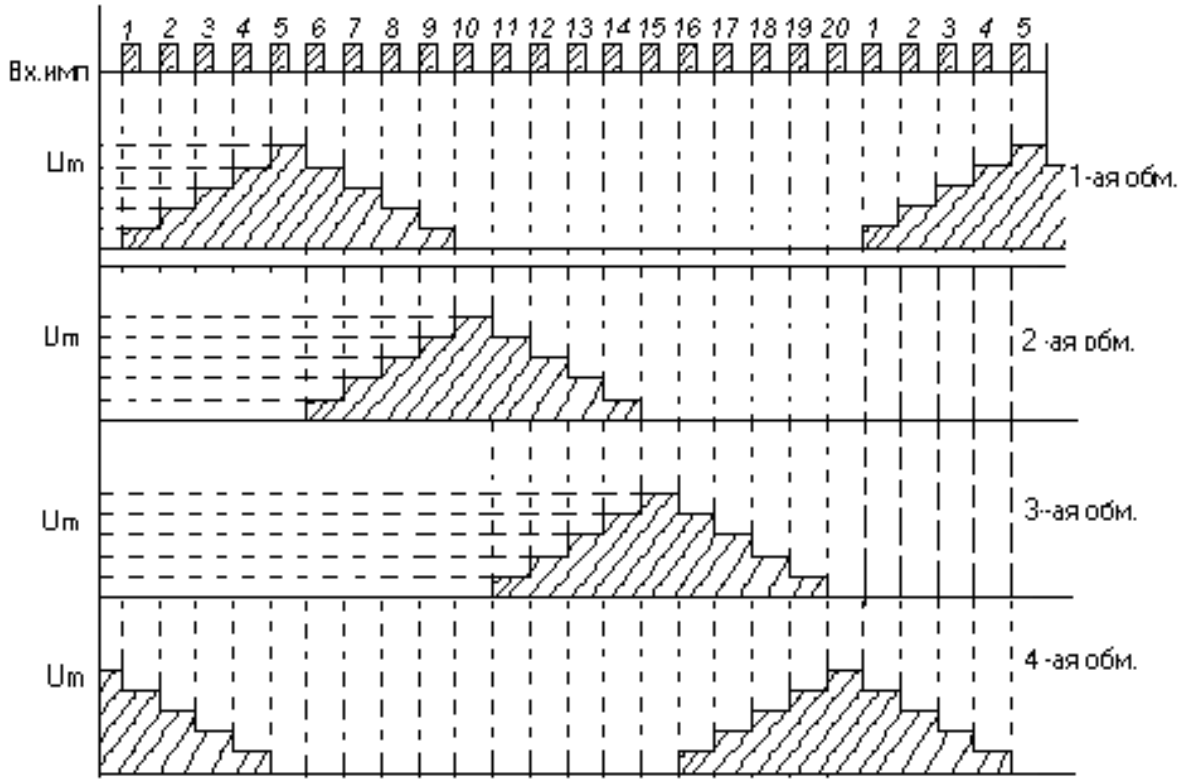


Рисунок 3.22 - Циклограмма работы СШД с искусственным дроблением шага

Если изменять напряжение на каждой обмотке путем изменения базового сопротивления транзистора, то силовая схема будет иметь вид (рисунок 3.23).

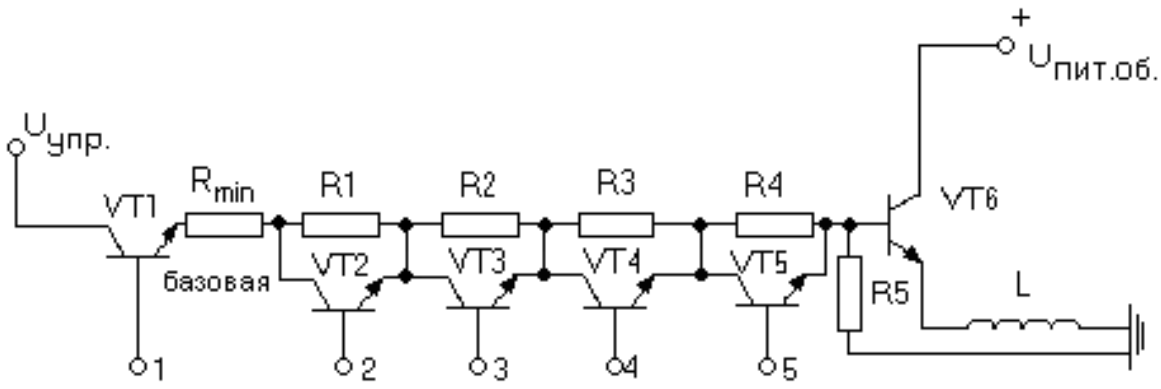


Рисунок 3.23 - Силовые ключи на транзисторах

Транзисторы VT1 – VT5 используются в ключевом режиме, чего добиваются подачей на базу напряжения, которое создает ток базы, при котором соответствующий транзистор входит в зону насыщения. Транзистор VT 6 является силовым, работающим в режиме усиления, и подает напряжение на обмотку в зависимости от тока базы. Резистор R5 подает напряжение смещения на транзистор VT6, при этом смещении транзистор находится в запертом состоянии (в покое). Сопротивлениями R1-R4, регулируется ток базы транзистора VT6. При отключении данной обмотки, транзистор VT1 закрывается и питание на транзистор VT6 не подается, на него лишь действует напряжение смещения, которое запирает транзистор. При подаче базового напряжения на транзистор VT2 резистор R1 при открытом транзисторе VT1 шунтируется и выключается из цепи питания базы VT6, при этом ток через катушку будет равен 0,3 I_{max} – тока максимального. Таким образом, при соответственном шунтировании R2, R3, R4 получаем ток через катушку 0,6; 0,8; 0,95 от I_{max} – тока максимального. При подаче единиц на базы всех транзисторов VT1-VT5 они зашунтируют все резисторы, и ток через катушку будет максимальным при этом остается включенным резистор R_{min} базовое. Таким образом, схема для выдачи «пачки импульсов» в нарастании в положительном направлении должна работать по алгоритму, записанному в таблице 3.1. При этом при спадании тока в обмотке по ступеням включаются соответствующие резисторы R4-R1, т.е. происходит выключение соответствующих транзисторов VT5-VT2 и процесс идет в обратном цифровом (6-10) порядке в соответствии с таблицей 3.1

Таблица 3.1 – Алгоритм работы схемы для выдачи «пачки импульсов»

№ имп.	Вых. счетчика			Напряжение на базах упр. транзисторами					Результат
	Q_2	Q_1	Q_0	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	
0 (10)	0	0	0	0	0	0	0	0	Нет питания на катушке
1 (9)	0	0	1	1	0	0	0	0	Включен R1-R4
2 (8)	0	1	0	1	1	0	0	0	Включен R2-R4
3 (7)	0	1	1	1	1	1	0	0	Включен R3-R4
4 (6)	1	0	0	1	1	1	1	0	Включен R4
5	1	0	1	1	1	1	1	1	Максимальный ток через катушку: начало обр.счета

На основании изложенного словесного алгоритма, таблицы 3.1 и рисунка 3.23 алгебрологические уравнения для работы транзисторов запишутся так.

Для VT1 – этот транзистор должен быть включен при наличии разрешающего сигнала от первого импульса и быть во включенном состоянии в течение всего промежутка работы обмотки, т.е.

$VT1=Q_0+Q_1+Q_2$ – где Q_0, Q_1, Q_2 соответствующие выходы счетчика.

Для транзистора VT2 необходимо два слагаемых, т.к. он включается при втором импульсе и должен быть включенным до 8-го импульса.

$VT2 = VT1(Q_1+Q_2)$.

Открытое состояние транзистора VT3 может обеспечить на время работы также двумя слагаемыми.

$VT3= VT2(Q_1+Q_2)$

Транзистор VT4 должен работать в соответствии с выражением

$VT4=VT1\cdot Q_2$.

Открытое состояние транзистора VT5 будет существовать с 5 по 6 импульс, т.е.

$VT5=VT4\cdot Q_2\cdot Q_0$.

Так как пятый импульс (по заднему фронту) переключит триггер DD3A на режим вычитания, то начиная с 6-го импульса идет режим спадания тока в обмотке СШД. К моменту окончания 10 импульса пропадает и сигнал Rezet с коммутатора К.

На основании полученного алгоритма и алгебрологических уравнений можно предложить следующую схему формирования «пачки импульсов» (рисунок 3.24).

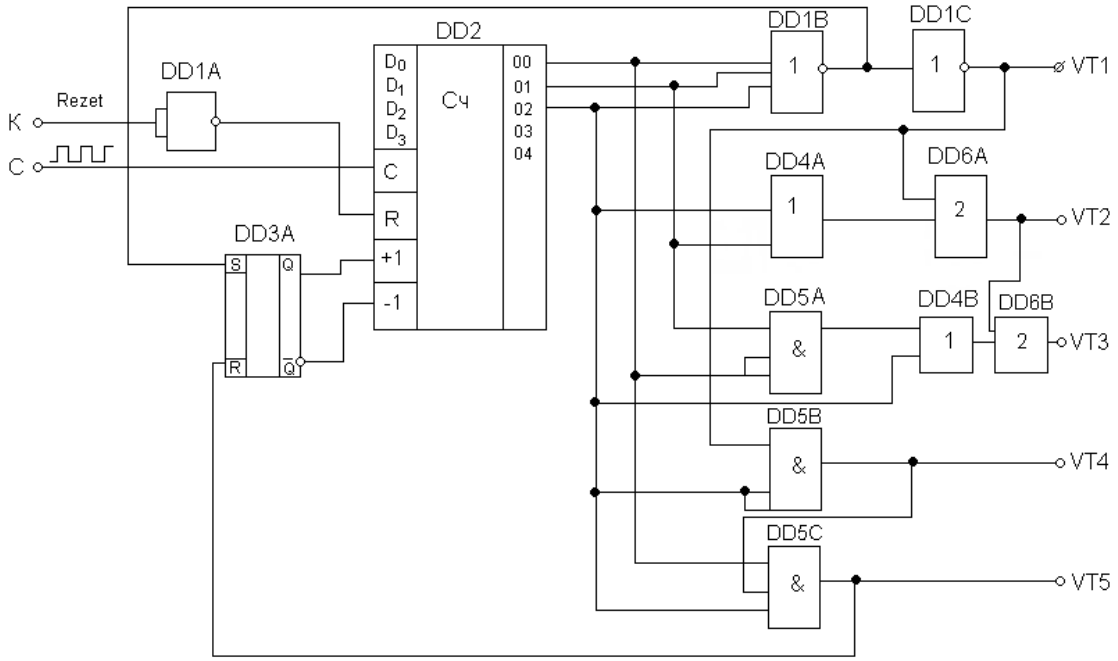


Рисунок 3.24 - Схема формирователя «пачки импульсов»

Основу данной схемы составляет реверсивный счетчик DD2. Работает схема на рисунке 3.24 следующим образом. При включении схемы подается сигнал Reset от коммутатора «К», который через инвертор DD1A поступает на вход R счетчика DD2. Так как на вход «С» счетчика DD2 начинают поступать импульсы, он срабатывает по заднему фронту этих импульсов.

При подаче логической единицы на вход «+1» счетчика через элементы DD1B, DD3A, счетчик начинает прибавлять единицу, причем начало счета происходит при комбинации на выходе счетчика 000, т.е. Q0=0, Q1=0, Q2=0, триггер DD3A при этом устанавливается в 1, чем обеспечивается счет вперед.

На элементах DD1B и DD5A реализуется схема реверса счета, которая переключает триггер DD3A. С помощью элемента DD5A, при комбинации на выходе счетчика 101 (Q0=1, Q1=0, Q2=1), что соответствует в двоичной системе счета – 5.

На логических элементах DD1B, DD1C, DD4A, DD4B, DD5A, DD5B, DD5C, DD6B реализуется комбинационная схема, которая выдает в логическую единицу на базу соответствующего транзистора (смотри таблицу 3.1) и логические уравнения. Таких схем в СУ должно быть 4 (по количеству фаз – одна схема на одну фазу). Такую схему можно выполнить и с использованием вычитающего счетчика, а можно изменять сопротивления, включенные последовательно с обмоткой двигателя, причем по принципу R-2R. Можно также эту схему управления выполнить полностью с использованием только одного счетчика, который должен будет считать, в общем, для данного варианта с 1 до 20 импульс при соответствующей логической части.

3.4 Стартстопный режим работы электропривода с СШД

В обычном режиме работы СШД отработка единичных шагов сопровождается затухающими колебаниями (рисунок 3.25). Чтобы избавиться от них, используют стартстопное управление приводов с частотой вращения равной нулю в начале и в конце одного или нескольких шагов. Это обеспечивается принудительным или естественным торможением. Принудительное торможение сводится к переводу СШД в режим торможения противовключением.

Управляющий импульс первого шага $U_{вх}$ поступает на вход «В» - «Вперед» реверсивного распределителя импульсов в коммутаторе (рисунок 3.26 а). В результате этого подается команда, например, на обмотку 2 для движения в положительном направлении от обмотки 1. Двигатель начинает его отрабатывать. Через промежуток времени Δt_p, когда ротор уже повернулся на какой-то угол α_p, подается дополнительный сигнал на предыдущую первую обмотку, т.е. сигнал «Н» (рисунок 3.26 б).

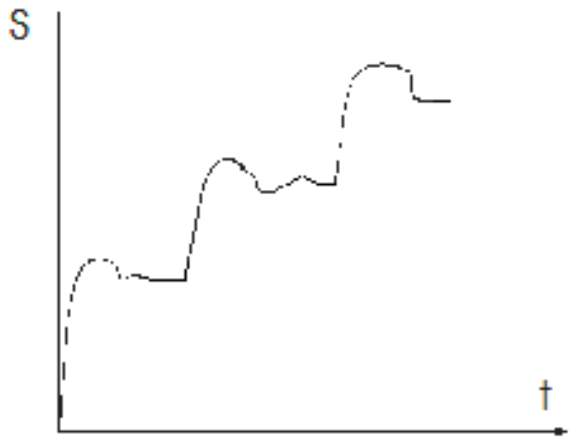


Рисунок 3.25 - Отработка единичных шагов СШД в обычном режиме

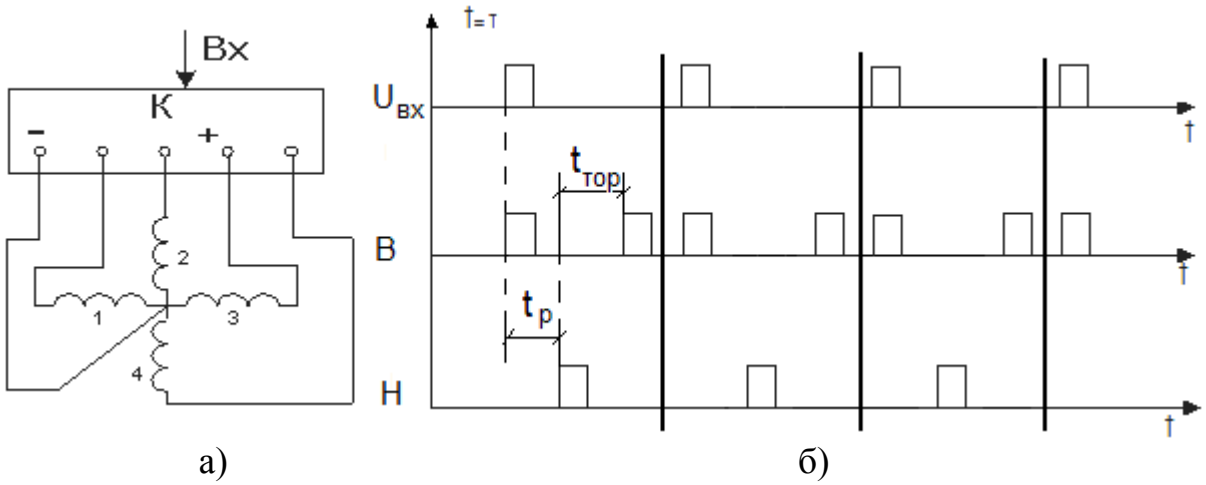


Рисунок 3.26

Появляется отрицательный момент на двигателе. Двигатель по инерции с торможением еще вращается в прежнем направлении, расходуя запасенную кинетическую энергию. По истечении времени $\Delta t_{тор}$ необходимо подать на 2 обмотку положительный импульс «В» для фиксации нового конечного положения ротора. Времена $\Delta t_{р}$ и $\Delta t_{тор}$ заранее определяются (рассчитываются). Это зависит от конкретного шага коммутации, момента сопротивления механизма и момента, развиваемого двигателем. Функциональная блок-схема, реализующая стартстопное управление РИ, при отработке единичного шага приведена на рисунке 3.27 а.

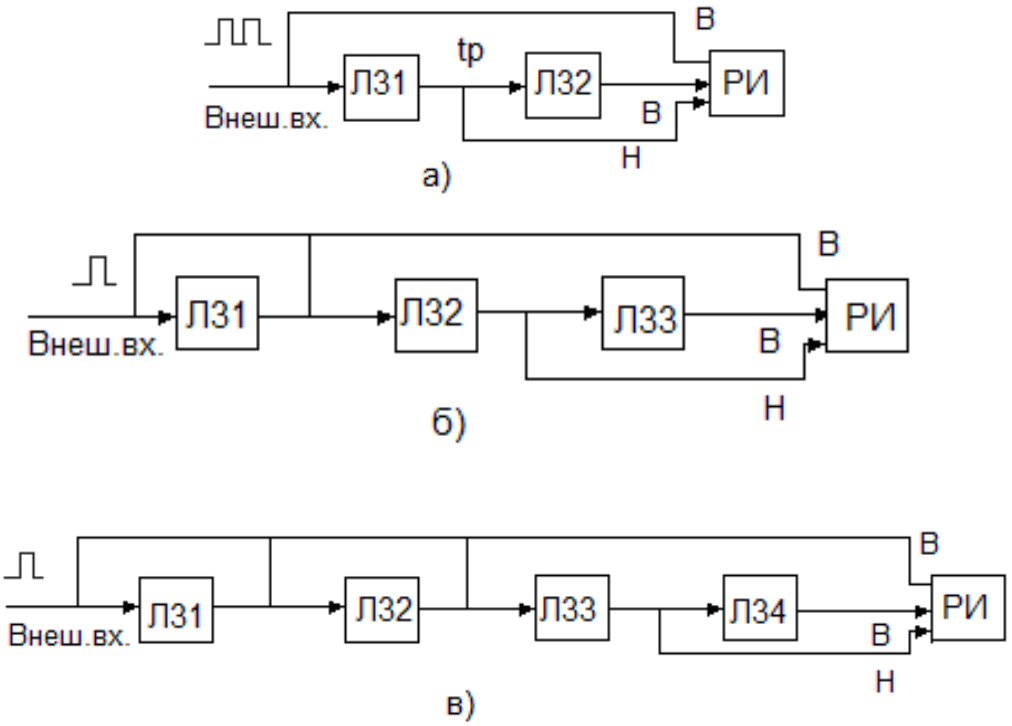


Рисунок 3.27

Пусть поле двигателя соответствует положению, когда питается 4 обмотка. Тогда очередной управляющий импульс, поданный на «$U_{вх}$» поступает на «В» РИ и включает обмотку 1 (рисунок 3.27 а). СШ двигатель начинает разгоняться. Этот же управляющий импульс поступает на линию задержки Л31 и через Δt_p на выходе Л31 появляется импульс, одновременно поступающий на Л32 и на «Н» РИ. Пока в Л32 отсчитывается время $t_{тор}$, РИ подает на 4 обмотку «отрицательное» напряжение. Двигатель начинает тормозиться противовключением. Спустя время $t_{тор}$ выходной импульс Л32 поступает на вход «В» и переключает РИ в первоначальное положение, т.е. включает обмотку 1. В результате этого фиксируется новое положение двигателя. На рисунке 3.27 б и 3.27 в показаны схемы стартстопных устройств и при отработке 2-х и 3-х последовательных шагов от одного управляющего импульса перед началом старт-стопного режима.

На рисунке 3.28 представлен один из возможных вариантов схемной реализации вышеописанного алгоритма работ СШД.

Работа схемы происходит следующим образом. Во-первых, перед началом старт-стопного торможения двигатель должен быть переведен на скорость $0{,}1\omega_н$, но если это не было сделано, схема автоматически переведет двигатель на данную скорость (при поступлении любого из сигналов СТОП). Начнем с *искусственного* торможения. При поступлении сигнала СТОП ИСК, триггер DD10:A переходит в единичное состояние. При этом с помощью DD1B и DD1A запрещается поступление импульсов с частотой $f_{нчг}$ (на элемент DD1A поступает логический ноль с инверсного выхода триггера). РИ переходит на частоту $0{,}1f_{нчг}$ (т.к. на элемент DD1C приходит разрешающая единица с DD3A), а счетчик DD5 начинает отсчитывать заданное число шагов.

Например, 14 шагов работы, после которых и начнется торможение. После 14-го шага (это определяется логической схемой на элементах DD4A и DD4C) когда подается запрещающий ноль и импульсы с датчика шагов не проходят на вход счетчика, счетчик DD5 фиксирует свое состояние с помощью элементов DD3B и DD4B. При этом двигатель переводится на реверс - (логическая единица с выхода DD4A через элементы DD6B и DD6C поступает на вход «Назад» РИ, а ноль – через DD4D на вход «Вперед») и одновременно запускаются счетчики DD8 и DD16, отсчитывающие предварительно рассчитанные N шагов торможения.

После N-го шага счетчики DD8 и DD16 аналогичным образом фиксируют свое состояние, и запускают временную задержку на R-C цепочке и элементе DD7A, соответствующую, например, рассчитанному углу торможения $\alpha=21^0$. Когда временная задержка сработает, логический ноль с выхода DD7A через элементы DD6B и DD6C поступает на вход Назад, а единица – через DD4D в вход Вперед. В результате двигатель перейдет на вращение вперед, но т.к. логический ноль с выхода DD7A через элемент DD6A запирает элемент DD1D, импульсы на РИ проходить не будут и двигатель просто зафиксируется в новом положении.

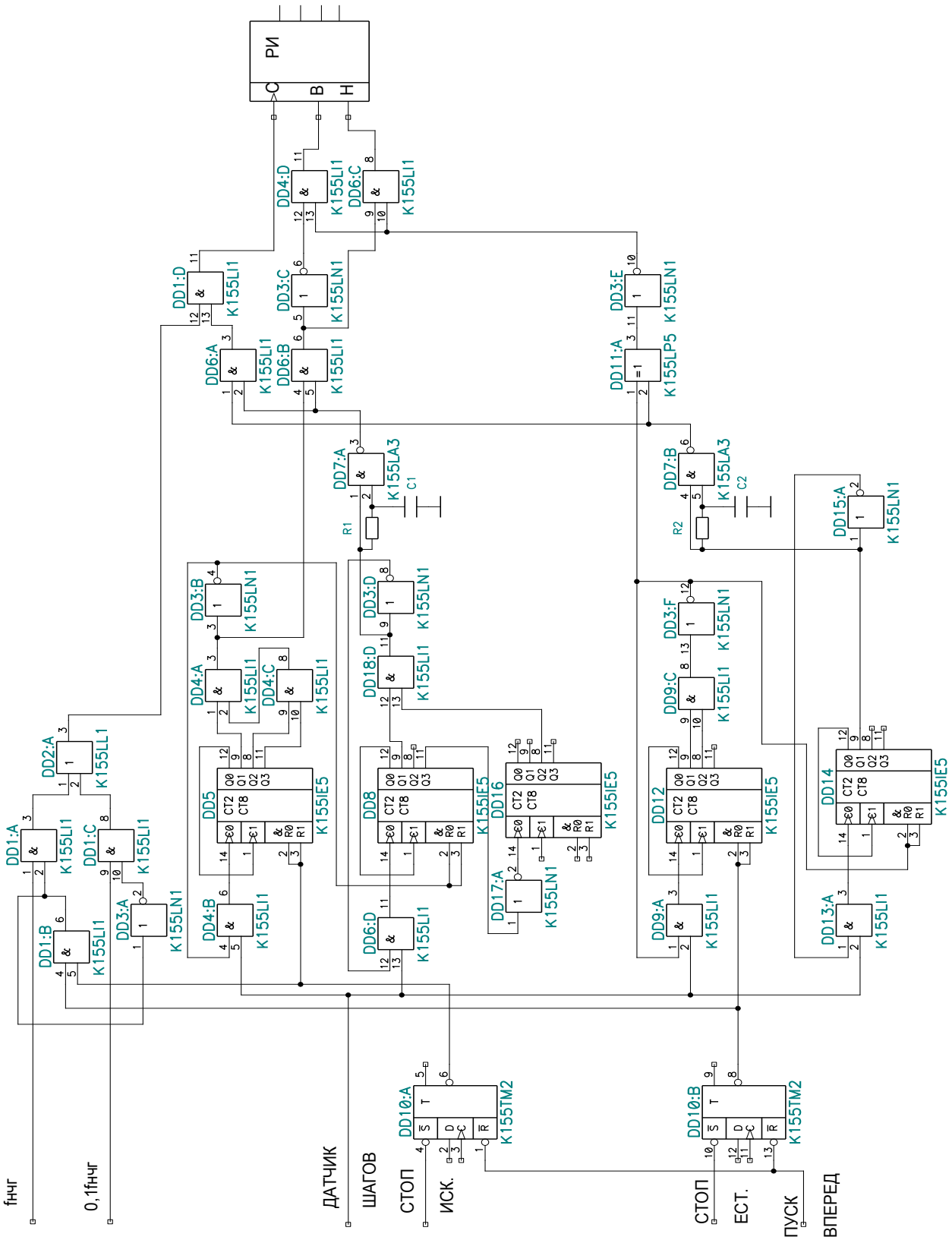


Рисунок 3.28

Определив комбинацию 6 (0110) на выходах счетчика, элемент DD9C через DD3F и DD9A запретит прохождение тактовых импульсов на счетчик и

фиксирует его состояние. В результате логический ноль через элемент «равнозначность», и элемент DD3E, поступает сразу на оба входа B и H, что приводит к отключению обмоток от РИ.

Таким образом, двигатель тормозится в течение 2-х шагов (отсчитывается счетчиком DD14) и времени, определяемым временной задержкой на DD7B. После того, как временная задержка, сработает, сигналы на выходах элементов DD3F и DD7B станут, эквивалентны, следовательно, на DD4D и DD6C придут разрешающие единицы, и двигатель переключится на вращение вперед. Но, т.к. логический ноль с выхода элемента DD7B через DD6A «запретил» прохождение импульсов на вход РИ, двигатель не придет во вращение, а просто зафиксируется в новом положении.

Естественное торможение сводится к тому, что поступление последнего управляющего импульса задерживают. Ротор по инерции проскакивает следующие одно или несколько положений, начиная тормозиться. По истечении рассчитанного времени $\Delta t_{тор}$ подается последний задержанный импульс на следующую обмотку и ротор на пониженной скорости подходит к конечному положению.

3.4.1 Стартстопное управление СШД в режиме работы с дроблением шага

В этом случае при отработке первого шага до точки B (см. рисунок 3.29) будет, как уже говорилось выше, маленький момент вращения, так как шажок и угол α маленький, следовательно, и $M_{дв} = M_{max} \cdot \mathrm{Sin}\ \alpha$ - маленький. Поэтому вначале включают на полное напряжение, например, вторую обмотку с вектором поля, сдвинутым относительно вектора первой обмотки на 90^0, и двигатель с моментом M_{max} начинает отрабатывать шаг. По достижении соответствующего нового положения (точка A на рисунке 3.29) на четвертую обмотку двигателя подают полное напряжение, снимая при этом напряжение со второй обмотки.

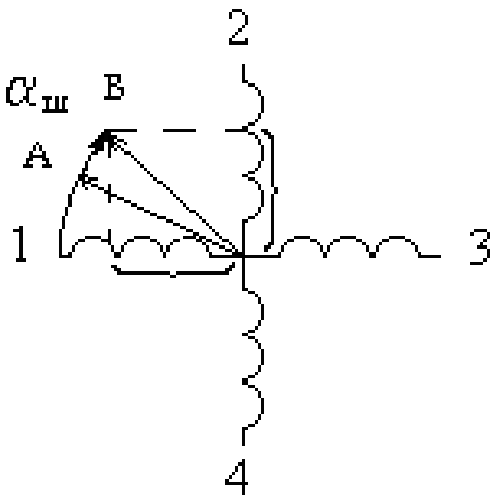


Рисунок 3.29

Вектор поля на четвертой обмотке сдвинут относительно вектора поля первой обмотки на угол минус 90^0. Таким образом, на начальном участке шага, т.е. ($\alpha_ш$) происходит интенсивный разгон двигателя, а на конечном – интенсивное торможение по треугольному графику, что существенно повышает его быстродействие. После отработки дробного единичного шага, когда отработано перемещение и частота вращения ротора снижается до нуля, двигатель переводят на «В» характеристику, где соответствующее питание получают I и 2 обмотки. В результате этого фиксируется его конечное положение на дробном шаге в точке «В» с углом $\alpha_ш = \pi\, 2/(К_Т \cdot К_Д)$, $К_Т$ – число тактов на основном шаге, $К_Д$ - коэффициент дробления основного шага.

Дополнительные сведения

1. Если это необходимо, определяют $\Sigma\alpha_{раб}$ работы на «n» шагов,

$$\alpha_{раб} = \alpha_ш \cdot n \tag{3.4}$$

2. Определяют $t_{раб}$ при длительном режиме,

$$t_{раб} = \frac{\alpha_{раб}}{\omega_н} \tag{3.5}$$

3. Из уравнения движения электропривода имеем:

$$M_{дв} - M_с = \int \frac{d\omega}{dt} \tag{3.6}$$

определяется $t_{торм}$ при этом принимается,

$$M_{дв} = M_н \text{ и } \omega = \frac{\omega_н}{2},$$

тогда

$$t_{торм} = \int \frac{\omega_н}{2(M_н + M_с)} \tag{3.7}$$

4. Определяют угол $\alpha_{торм} = \frac{\omega_н}{2} \cdot t_{тор}$ - угол торможения. (3.8)

5. Определяют угол разгона (угол работы) $\alpha_{разг}$ при отработке единичного шага,

$$\alpha_{разг} = \alpha_ш - \alpha_{торм}. \tag{3.9}$$

6. Определяют время разгона при отработке одного шага,

$$t_{разг} = \frac{\alpha_{разг}}{\omega_н}, \tag{3.10}$$

если двигатель до этого работал на номинальной скорости.
Если он начинает разгоняться с нулевой скорости то,

$$t_{разг} = \frac{\alpha_{разг} \cdot 2}{\omega_н}$$

7. Определяют $t_{шаг}$- время отработки одного шага,

$$t_{шага} = t_{разг} + t_{торм}. \tag{3.11}$$

где α шага определяется как,

$$\alpha_{шаг} = \frac{360}{P \cdot Кт} \tag{3.12}$$

3.5 Электропривод СШД с программным разгоном

Если двигатель надо включить сразу на большую скорость вращения, то он без дополнительных средств может и не втянуться в синхронизм при подаче управляющих тактовых импульсов. В том случае, если частота следования тактирующих импульсов будет меньше или равна так называемой «частоте приемистости», которая дается в паспорте, как номинальная, то он втянется в синхронизм. В случае, если необходимо разогнать СШД до скорости больше чем это определено «частотой приемистости», можно воспользоваться приемом, реализуемым блок-схемой (рисунок 3.30). При этом внешний управляющий импульс $U_{вх}$, поступающий на вход ВХ системы в виде пускового сигнала, попадает через элемент ИЛИ на вход коммутатора и линии задержки ЛЗI. Коммутатор выдает импульс на соответствующую обмотку двигателя, ротор двигателя начинает разгоняться, а ЛЗI – запускается, и через время Δt_1 большем чем время трогания двигателя (рисунок 3.31), обычно $\Delta t_1 >> 2t_{тр}$ на ее выходе появляется импульс (U_I), который поступает на вход Л32 и через логический элемент ИЛИ (U_6) на коммутатор. Время задержки Л32 меньше Δt_1 обычно на 15-20%. Поэтому следующий импульс на К поступит через $\Delta t_2 < \Delta t_1$ и т.д. Таким образом, частота следования управляющих импульсов на коммутатор увеличивается. Импульс с последней линии задержки должен быть $\Delta t_4 \geq t_{мв}$ и он запускает мультивибратор МВ, генератор импульсов вырабатывающий частоту больше, чем частота приемистости данного двигателя, обычно до трехкратной, так как при большей частоте вращения крепления обмотки двигателя не выдерживают.

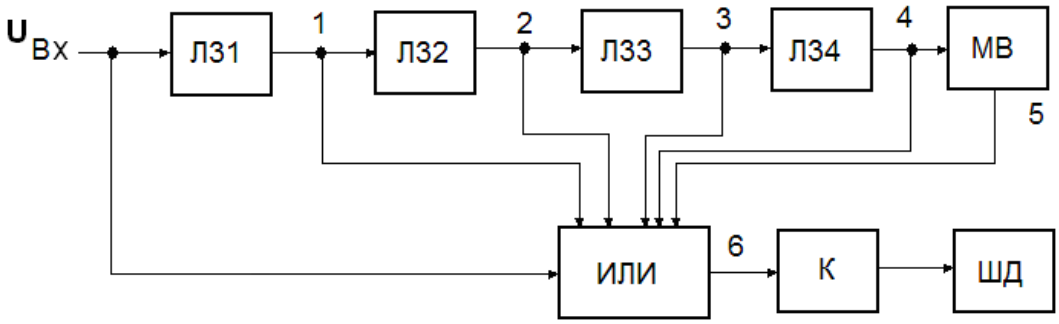


Рисунок 3.30

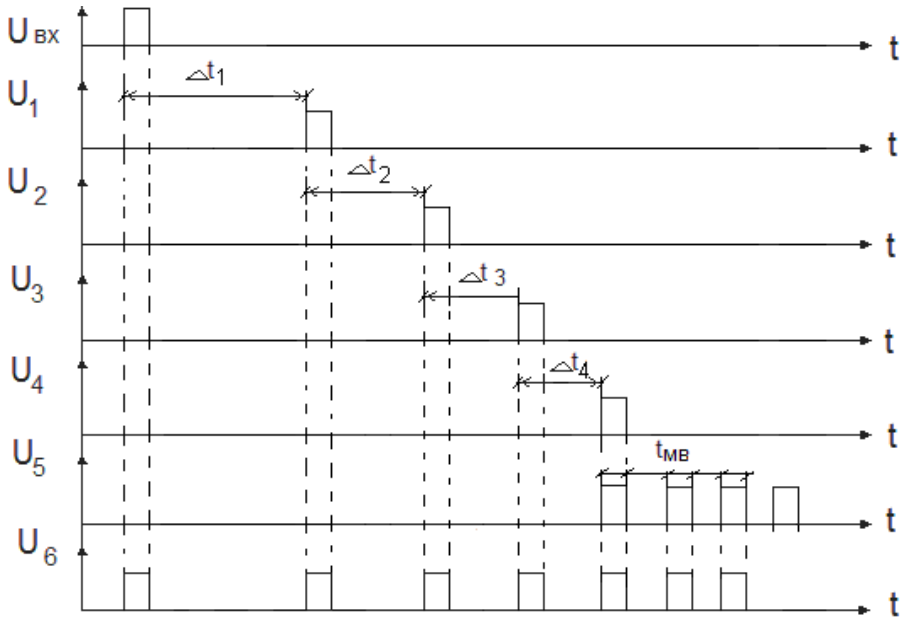


Рисунок 3.31

3.6 Привод с шаговым двигателем в режиме самокоммутации

Привод с программным режимом разгона эффективен, но при неизменной нагрузке. При нагрузке, которая может принимать другие значения, такой привод теряет свои преимущества, так как фиксированные, рассчитанные на первоначальную нагрузку (неизменную по величине), времена задержек при увеличении нагрузки на валу СШД не обеспечивают втягивание двигателя в синхронизм. Тогда приходится либо мириться со значительным снижением быстродействия и переходить на частоту приемистости, либо усложнять систему управления.

Другим способом заставить СШД работать на частотах превышающих частоту приемистости при разных нагрузках на валу двигателя является использование режима самокоммутации. Этот режим можно реализовать при наличии в СУ привода обратной связи по положению. Здесь необходимым эле-

ментом будет ДШ - датчик шагов, вырабатывающий управляющий импульс при каждом повороте ротора на шаг. Тогда функциональная блок-схема будет иметь вид (рисунок 3.32), где Р – реле, К – коммутатор, СШД - шаговый двигатель, ДШ – датчик шагов, У – усилитель, ЛЗ – линия задержки, И - логический элемент «И».

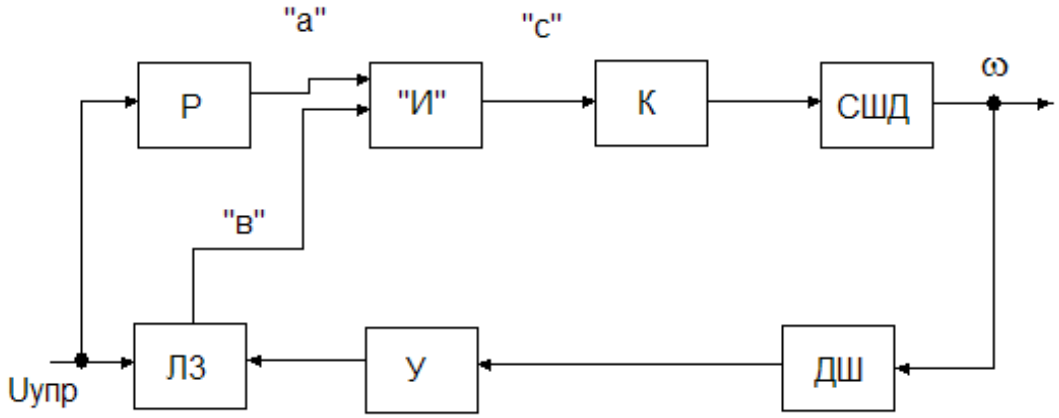


Рисунок 3.32

В соответствии с величиной управляющего напряжения $U_{упр}$, определяющего необходимую частоту вращения СШД, линией задержки ЛЗ вырабатывается время прохождения сигнала от ДШ к К. Длительность времени в ЛЗ обратно пропорциональна величине $U_{упр}$, т.е. при $U_{упр}$ более высокого значения время ЛЗ уменьшается.

Привод работает следующим образом. Если в исходном состоянии $U_{упр}$ =0, то реле разомкнуто и на выходе элемента «И» отсутствует разрешающий сигнал. Коммутатор не изменит своего состояния, и двигатель занимает положение статического равновесия. Конструктивно ДШ выполнен так, что выдает сигнал при прохождении ротором двигателя полного шага. Как только $U_{упр}$ превысит напряжение срабатывания катушки реле Р, его контакты перейдут в замкнутое состояние и на вход «И» поступит постоянный разрешающий сигнал «а». Второй, но уже импульсный сигнал «в» на «И» от ЛЗ поступит пока без задержки. Пройдя «И», результирующий сигнал «с» попадает на вход К в виде командного импульса. Коммутатор переключит свое состояние на такт вперед, и двигатель начнет отрабатывать первый шаг. В момент завершения шага ДШ выработает сигнал, который через «У» поступит на ЛЗ. Через промежуток времени, обратно пропорциональный $U_{упр}$, ЛЗ выдает сигнал, который, пройдя элемент «И», поступит в коммутатор в виде командного импульса. Далее процесс повторится. Верхний предел частоты вращения такого привода может быть увеличен на порядок и не зависит от момента инерции, нагрузки и других параметров, но зависит от механической прочности креплений. Характеристики привода для трех методов разгона показаны на рисунке 3.33. Здесь первая кривая соответствует прямому пуску на частоте приемистости, 2 – пуску в режиме программного разгона, 3 – пуску в режиме самокоммутации.

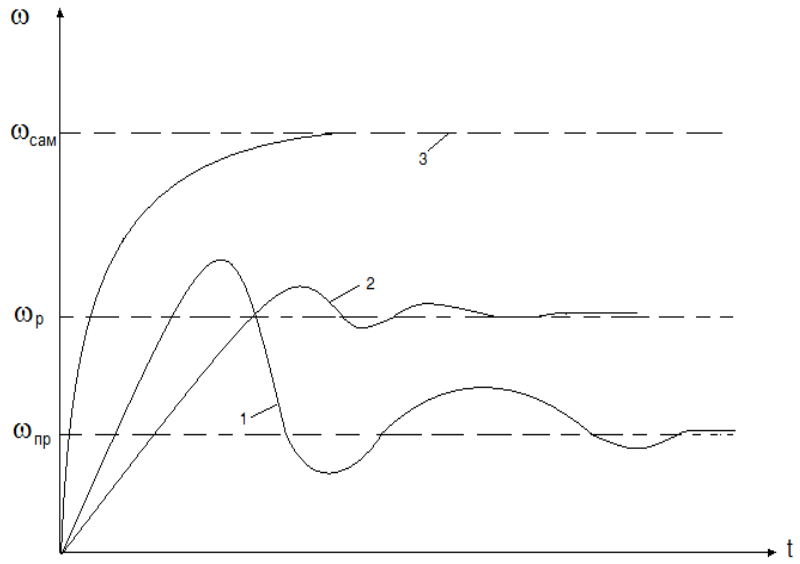


Рисунок 3.33

Пример реализации вышеприведенного алгоритма работы в режиме самокоммутации представлен на рисунке 3.34. На этом рисунке приведена схема разработанной системы управления для разгона СШД в режиме самокоммутации.

Входными сигналами являются сигнал с датчика шагов $D_ш$ и управляющее напряжение $U_{упр}$. Конструктивно датчик шагов выполнен таким образом, что при нахождении ротора в одном из фиксированных положений, задаваемых обмотками управления, датчик выдает на выходе напряжение или высокого уровня, или низкого. В приведенной схеме рисунка 3.34 датчик шагов выдает в фиксированном положении напряжение низкого уровня.

Выходом схемы является сигнал К, передний фронт которого является командным сигналом для коммутатора.

Транзистор VT1 и резисторы R1-R2 используются в качестве электронного реле, разрешающего работу всей схеме при установке заранее определенного минимального управляющего напряжения. (Но лучше всего вместо VT1 использовать триггер). При этом уровне напряжения VT1 открывается по базе, с насыщением, т.е., в ключевом режиме вследствие чего начинает протекать ток по цепи: источник +5В питания – коллектор – эмиттер – R2 – земля. В результате на резисторе R2 появляется падение напряжения порядка логической единицы, которое поступает на вход (1) логического элемента DD1A и разрешает прохождение импульсов со второго (2) его входа.

Транзистор VT2 служит для регулирования скорости заряда конденсатора С1 путем изменения величины управляющего напряжения, поступающего на его эмиттер, а, следовательно, изменения тока, протекающего по цепи эмиттер-коллектор транзистора VT2, резистор R3, конденсатор С1, если с датчика шагов при этом поступает «0» или минус «1», т.е. на базах VT2 и VT3 – отрицательный сигнал.

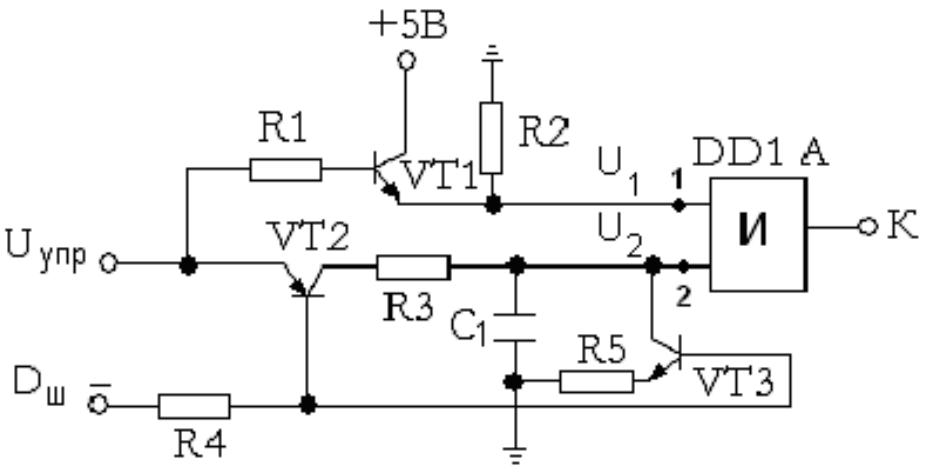


Рисунок 3.34

Так как заряд конденсатора происходит по экспоненте, то в зависимости от величины управляющего напряжения (рисунок 3.35) время срабатывания при напряжении U_2 логического элемента будет различно (t_1. t_2, t_3), несмотря на то, что общее время зарядка конденсатора С1 будет всегда равно 3Т, где $T=R_3 \cdot C1$.

Таким образом, обеспечивается изменение временной задержки между командными импульсами, поступающими на коммутатор, а в конечном итоге - управление скоростью СШД. Транзистор VT3 служит для разрядки конденсатора С1, когда датчик шагов $D_ш$ будет выдавать логическую единицу, т.е. положительное напряжение. Это будет в период, когда двигатель ушел от предыдущего фиксированного положения, но не дошел до нового фиксируемого положения.

Схема, показанная на рисунке 3.34, работает следующим образом. В начальный момент пуска ротор СШД находится в одном из фиксированных положений, следовательно, на вход $D_ш$ с датчика шагов поступает «-1». Транзистор VT2 открывается. Если при этом задано такое управляющее напряжение, которое допускает работу схемы, то транзистор VT1 открыт, а транзистор VT3 закрыт, так как на его базе будет минусовой потенциал, при этом на вход элемента DD1:А поступает «1» с электронного реле и разрешает прохождение импульса от VT2 на выход К. Конденсатор С1 начинает заряжаться по цепи: эмиттер- коллектор VT2, резистор R3, конденсатор С1, земля. Напряжение на С1 плавно растет, и этот сигнал поступает на второй вход DD1А.

Когда С1 зарядится до напряжения U_2, коммутатор сработает, и ротор СШД начнет движение к следующему фиксированному положению. При этом на СШД будет поступать «+1», транзистор VT2 будет закрыт, а VT3 - открыт до тех пор, пока ротор не займет следующее фиксированное положение.

Таким образом, видно, что чем больше величина $U_{упр}$, тем быстрее на конденсаторе достигается напряжение и быстрее срабатывает и чаще идет переключение коммутатора К, а значит скорость двигателя увеличивается.

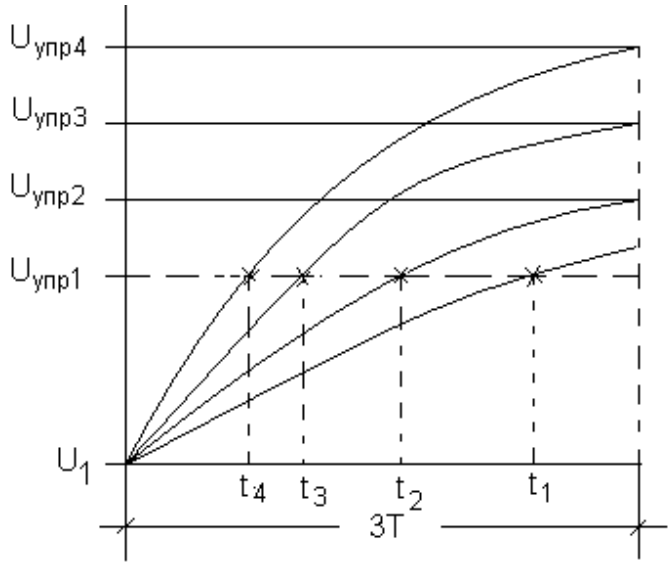


Рисунок 3.35

Величина сопротивления R3 выбирается таким образом, чтобы конденсатор успел зарядиться до напряжения U_2 до того, как ротор СШД достигнет нового фиксированного положения на максимально возможной скорости. Резисторы R1, R2, R4, R5 являются ограничительными для предотвращения перегорания полупроводниковых элементов и обеспечения заданного режима работы.

Напряжение $U_1=U_{реле}$—это напряжение, при котором срабатывает транзистор VT1. Напряжение U_2 – это напряжение при котором срабатывает логический элемент И, поэтому при различных значениях управляющего напряжения $U_{упр}= U_{упр1}, U_{упр2};U_{упр3}, U_{упр4}$ время срабатывания логического элемента И будет уменьшаться соответственно. t_1, t_2, t_3, t_4.

Предлагаем еще один вариант схемы, выполненный на логических элементах (рисунок 3.36), на которой реализован режим работы, соответствующий вышеприведенному описанию.

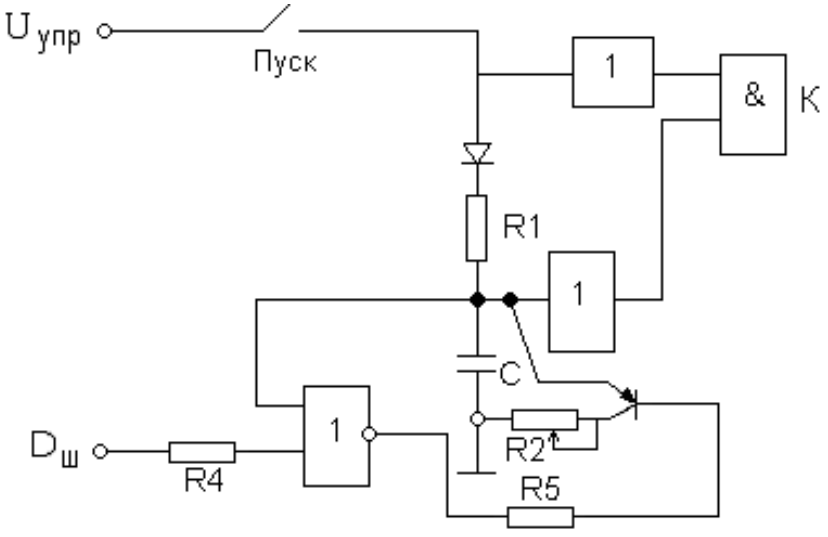


Рисунок 3.36

4 СИНТЕЗ ДИСКРЕТНОЙ САУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРОВ

Как известно, компьютеры продолжают завоевывать мир. В промышленности применяются контроллеры - аналог персональных компьютеров, только со своими особенностями. Их многообразие впечатляет; это объясняется многообразием решаемых задач. Например, для ЧПУ потребуется мощный контроллер - рабочая станция класса PentiumIII или выше, для компрессора будет достаточно 8 разрядного процессора с памятью 10 кбайт. Каждый контроллер должен соответствовать решаемой задаче. Быстрые процессы обслуживаются мощной электроникой, включая цифровые сигнальные процессоры, медленные процессы используют технику слабее.

Микропроцессорные контроллеры не только способны полностью заменить устаревшую релейную логику, но, самое главное, открывают совершенно новые возможности.

4.1 Использование программируемых логических контроллеров

Во второй главе данного учебного пособия рассматривались вопросы замены схем, выполненных с использованием релейно-контакторых элементов на схемы, использующие логические полупроводниковые элементы.

В этой главе рассматривается еще один вариант модернизации релейно-контакторной систмы управления приводом (например, привод детского аттракциона) путем использования для управления контроллера.

К системе управления и приводу предъявляются следующие минимальные технические требования:

– Тип двигателя - асинхронный с короткозамкнутым ротором;

– Для экстренной остановки привода использовать динамическое торможение;

– Перемещение циклическое (автоматическое отключение привода в конце пути перемещения).

– Алгоритм работы системы управления следующий: при нажатии оператором на кнопку «Пуск» происходит включение электродвигателя. Приводимый механизм движется до тех пор, пока импульсным переключением конечного выключателя не произойдет отключение пускателя двигателя. Для экстренной остановки механизма необходимо кратковременно нажать на кнопку «Стоп» и перевести двигатель в режим торможения. При этом двигатель должен осуществлять торможение в течении некоторго времени с тормозным резистором (для ограничения тока) и в конце торможения он должен быть зашунтирован на небольшое время. После этого система снова должна быть готова к повторному пуску.

– Для создания релейно-контакторной схемы необходимо составить логические уравнения. Для этого введем некоторые обозначения:

1. Выходные сигналы:
– Пускатель двигателя – Y1;
– Пускатель цепи торможения – Y2;
– Общее время торможения – Y3 (τ1);
– Время торможения с зашунтированным резистором – Y4 (τ2);
– Пускатель шунта тормозного резистора – Y5;
2. Входные сигналы:
– Кнопка «Стоп» – X1;
– Кнопка «Пуск» – X2;
– Конечный выключатель –X3.

Уравнения, описывающие алгоритм действия приведены ниже:

$$Y1 = \overline{X1} \cdot (X2 + Y1) \cdot \overline{X3} \cdot \overline{Y2}$$

$$Y2 = (X1 + Y2) \cdot \overline{Y1} \cdot \overline{Y}\,\overline{\tau 1}$$

$$Y4 = Y3 = Y2$$

$$Y5 = Y4_{r2}$$

На основе этих уравнений разработана релейно-контакторная схема системы управления приводом (рисунок 4.1), где

КМ1=Y1, КМ2=Y2, КТ1$_\tau$=Y3, КТ2$_{\tau 2}$=Y4, КМ3=Y5.

кнопка «Пуск» – SB1=X1,

конечный выключатель – SQ1=X3.

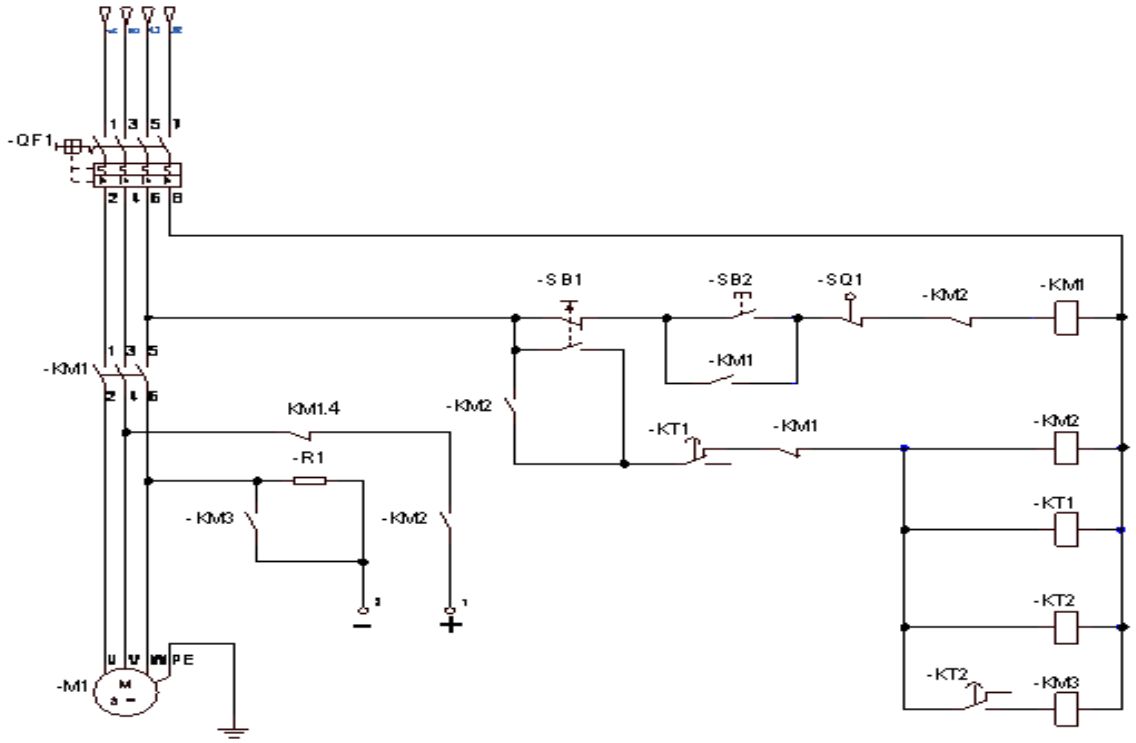


Рисунок .4.1 - Релейно-контакторная схема управления приводом

Данная схема функционирует согласно приведенному выше описанию. Гибкость такой системы минимальная. Поэтому для дальнейшего усовершенствования такой схемы (ручной/автоматический режим работы, контроль скорости движения, интенсивность торможения и т.д.) потребуется существенная ее доработка в аппаратной части (установить дополнительное количество релейных элементов и устройств контроля). При этом стоимость этой системы будет расти пропорционально добавляемым элементам.

В случаях, когда необходимо обеспечить определенный уровень гибкости при небольших затратах и изменяющихся технических требованиях к системе управления целесообразна ее разработка на базе программируемого контроллера (рисунок 4.2).

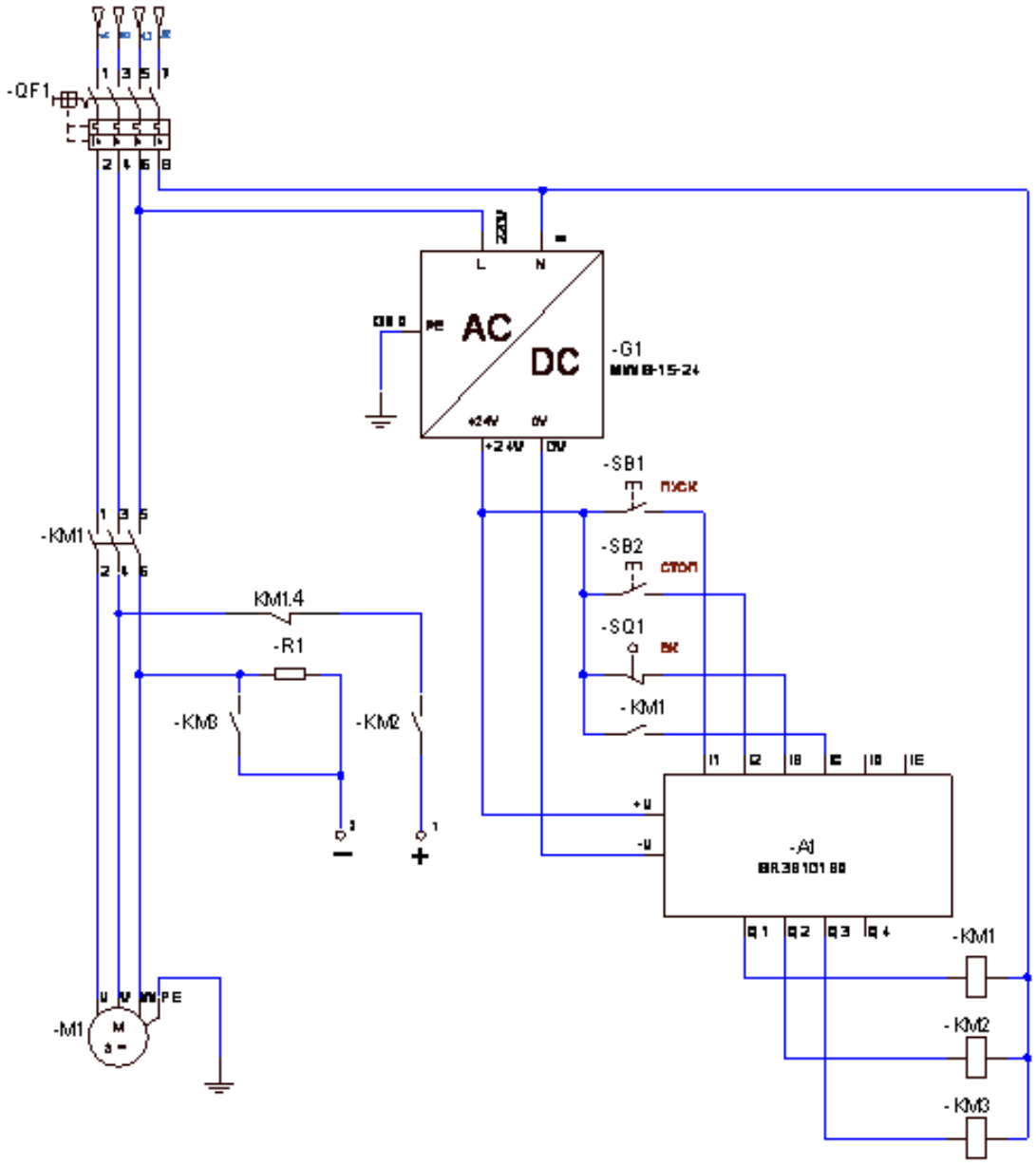


Рисунок 4.2 - Схема управления приводом на базе Программируемого контроллера

Как видно на рисунке 4.2 остались только входные и выходные сигналы, а логическая связь между этими сигналами реализована при помощи управляющей программы контроллера. Фрагмент этой программы показан на рисунке 4.3.

Схема управления на контроллере выполняет те же функции, что и релейно-контакторная. Однако она имеет возможность расширения функциональности и при этом занимает меньшие габариты, а ее стоимость сопоставима с релейно-контакторным вариантом.

Кроме того, логическую связь между входами и выходами всегда можно изменить, скорректировав управляющую программу. Например, для циклического выполнения перемещения механизма без повторного пуска в начале каждого цикла (автоматический режим) можно установить переключатель режимов на свободный вход контроллера. Оператор нажатием кнопки «Пуск» запускает цикл движения механизма, а кнопкой «Стоп» он его может остановить. При этом изменения управляющей программы будут минимальными, тогда как в релейно-контакторном варианте необходимо будет добавить большое количество элементов.

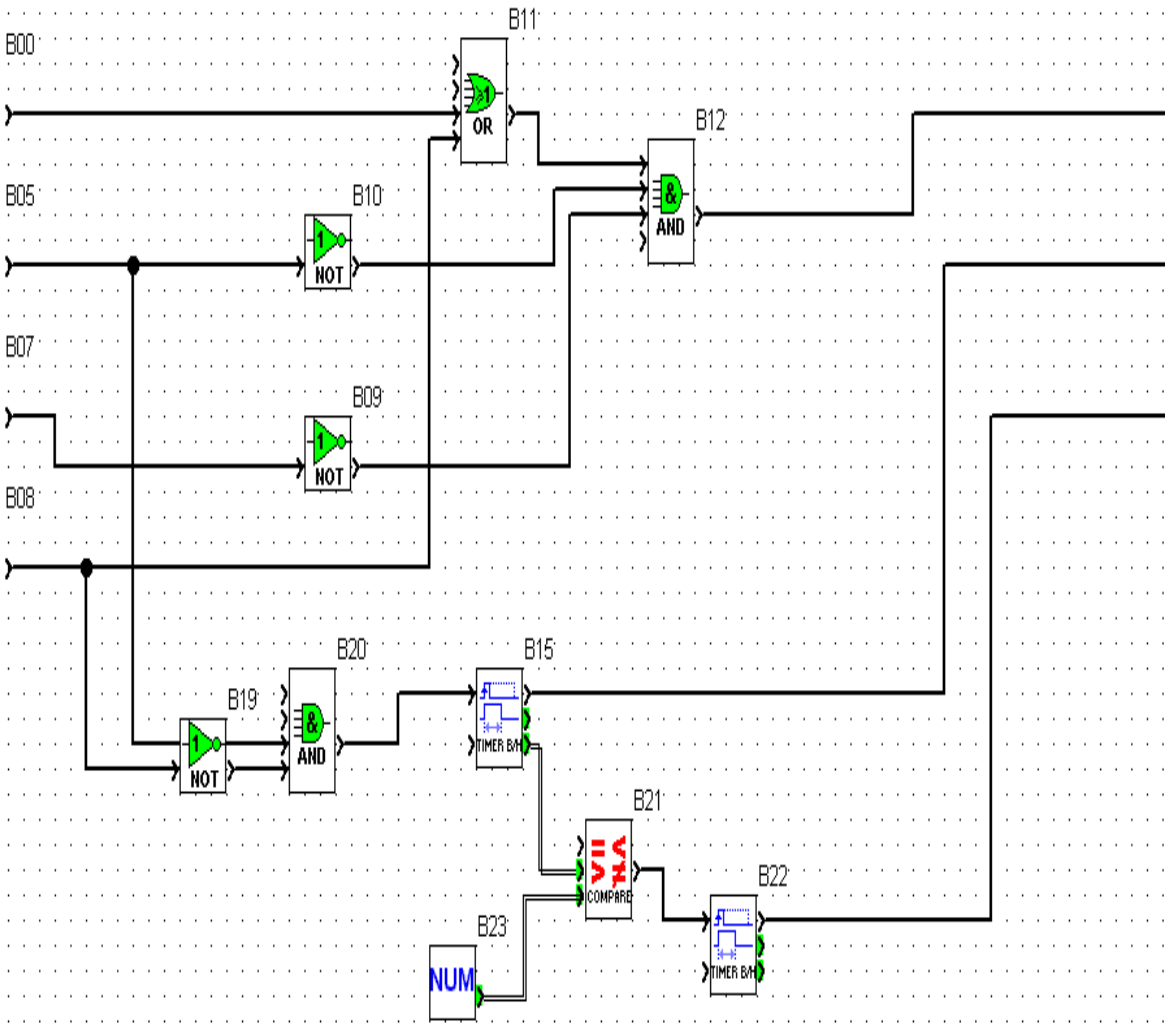


Рисунок 4.3 - Фрагмент управляющей программы на FBD-блоках

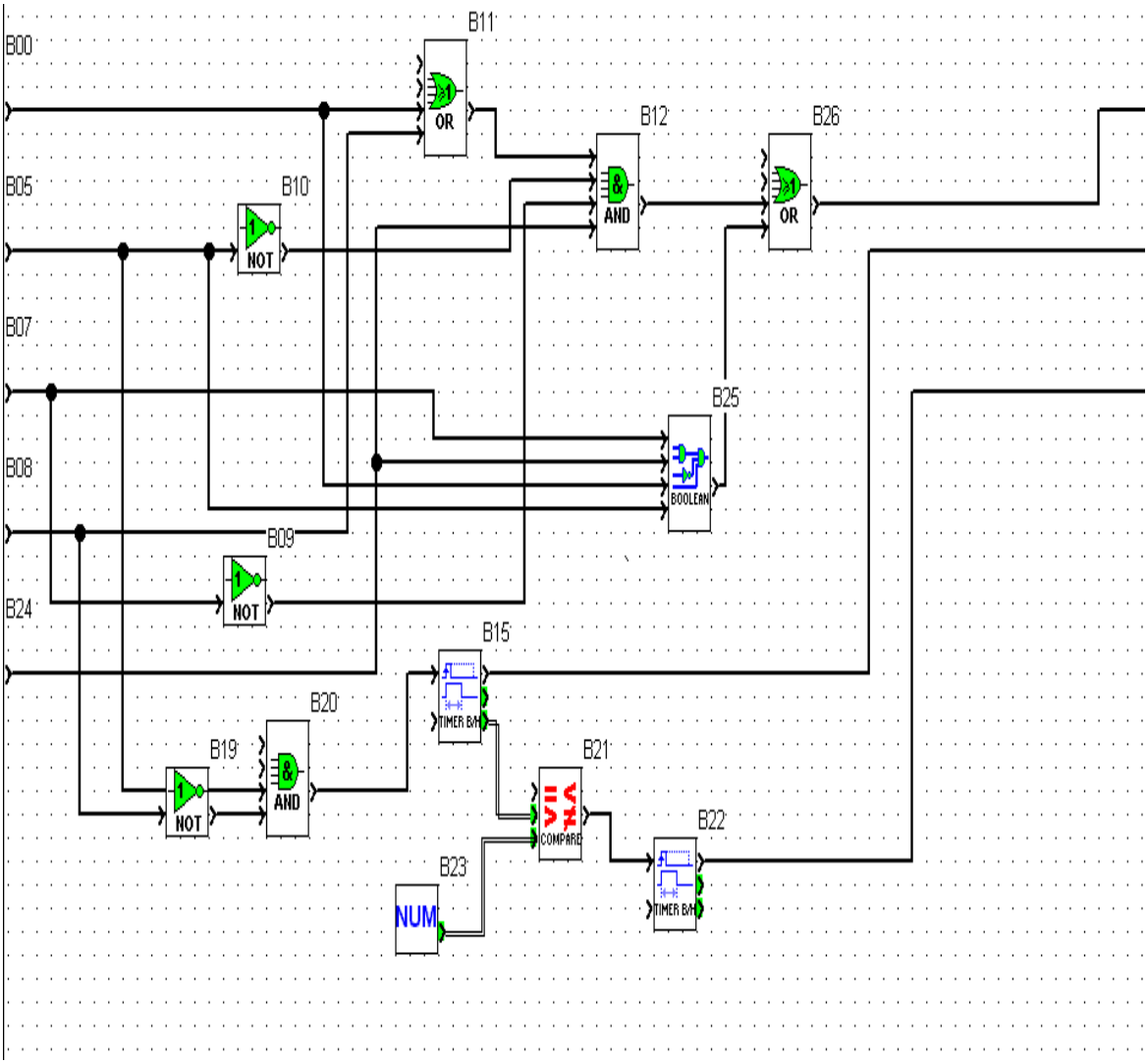


Рисунок 4.4 - Фрагмент управляющей программы на FBD-блоках (ручной/автоматический режим)

4.2 Принципы программирования промышленных контроллеров

В настоящее время при автоматизации технологических процессов широко используются программируемые контроллеры типа SMH2010, где используется система программирования. SMLogix.

SMLogix - это система программирования контроллеров SMH2010. Она разработана для Windows и устанавливается на "персоналку". После разработки, проект проверяется компоновщиком SMLogix-а на предмет отсутствия ошибок в связях, затем компилируется и загружается через COM-порт компьютера в SMH2010, где и выполняется.

Как же создавать программы на SMLogix? В общем смысле этот процесс ничем не отличается от написания любой компьютерной программы. Ниже приводятся 7 этапов, которые обязательно фигурируют в любом учебнике по программированию:

1. Определение целей проекта;
2. Составление самого проекта;
3. Написание программного кода (создание FBD-схемы);
4. Компиляция;
5. Выполнение программы;
6. Тестирование и отладка;
7. Сопровождение и модернизация программы.

Панельный контроллер типа SMH2010 - это тот же панельный компьютер, только гораздо меньших размеров и для соответствующих задач. Устройства ввода и отображения информации, цифровые и аналоговые входы/выходы интегрированы в единую систему, встроенные COM-порты обеспечивают связь с другими микропроцессорными устройствами, в том числе с персональными компьютерами. Панельный контроллер обладает всеми достоинствами рабочей станции в соответствующем исполнении, а именно: удобно монтировать, программируется одной системой, отпадает необходимость во многих дополнительных компонентах.

Преимущество использования системы SMLogix состоит в существенном ускорении процесса программирования контроллеров, примерно в 8 раз. Основной недостаток - ограничение скорости выполнения программ. Программы, написанные на C++ могут контролировать процессы, протекающие со скоростью в сотни наносекунд, в системе SMLogix - от 10 миллисекунд и выше.

Системы программирования в области автоматизации технологических процессов и оборудования, как и везде, имеют свои особенности. Существуют, так называемые, языки верхнего уровня (C++, Pascal, Delphi и т.д.). С их помощью можно написать программу для терморегулятора, или, например, для расчета основных фондовых индексов, или систему «банк-клиент». Эти языки гибки, универсальны, но работать на них удел профессионалов-программистов. Для конкретных областей существуют специальные программы-приложения. Экономисты выбирают Excel, инженеры – AutoCAD, бухгалтеры 1С и т.д. Функции, заложенные в этих приложениях, учитывают специфические особенности данной отрасли и существенно ускоряют процесс «программирования» задачи. Конечно, если у вас есть в запасе лишних 1-2 года, можно сделать инженерный чертеж и с помощью C++.

Разделим понятия «язык программирования» и «система (среда) программирования».

Написать программу на языке C++ можно в любом текстовом редакторе, например, MSWord в соответствии с принятым синтаксисом. Затем ее надо скомпилировать, выполнить и отладить, для этих целей и существуют системы (среды) программирования. Такие как Visual C++ или IAR.

Для программирования контроллеров SMH2010 применяется специально разработанная система программирования «SMLogix». В ней используется, так называемый, язык FBD, язык функциональных блоков, перечень которых определяется общемировым стандартом МЭК.

FBD – это язык, позволяющий выполнять разработку программы по аналогии с разработкой функциональной схемы устройства управления, создаваемого на основе интегральных логических элементов, счетчиков, таймеров и т.д.

Логика функционирования системы представляется в виде взаимодействия элемеbнтарных функциональных блоков, каждый элементарный блок выполняет одну функцию взаимодействия между своими входами и выходами (от элементарных логических И, ИЛИ, НЕ до очень сложных). На рисунках 4.3 и 4.4 показаны фрагменты управляющих программ на FBD-блоках.

Освоить метод построения FBD-схем несложно, достаточно понять, как работает каждый функциональный блок. Например, рассмотрим задачу работы САУ по словесному по алгоритму.

Необходимо автоматизировать насосную станцию, состоящую из 2-х насосов (рисунок 4.5).

Насос № 2 включается по команде датчика понижения давления, когда давление в сети упадет ниже установленного уровня. Оба насоса должны аварийно выключаться, если давление в сети станет выше нормы (датчик превышения давления).

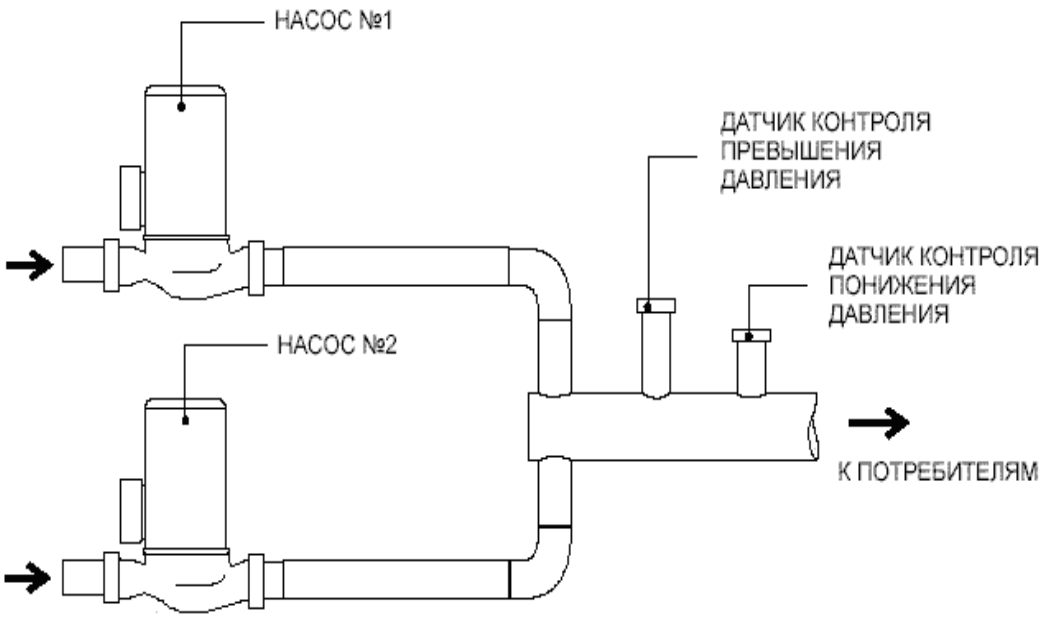


Рисунок 4.5 - Схема работы насосной станции

Решение этой задачи можно будет реализовать в соответствии с функциональной блок-схемой, представленной на рисунке 4.6.

Итак, включение насоса №1 производится при нажатии на кнопку «Пуск». Кнопкой «Пуск» можно назначить кнопку «Enter» контроллера SMH 2010. Так как команда на включение насоса №1 должна подаваться однократным нажатием кнопки «Пуск», необходимо поставить D-триггер (триггер, срабатывающий по фронту сигнала, т.е. его вход реагирует только на «включение»). Этот триггер передает информацию с входа D на выход Q и запоминает

свое состояние. Поскольку на входе D стоит логическая единица, то в момент нажатия кнопки «Пуск», триггер сработает, передаст единицу на выход Q и, соответственно на вход блока «dou1», который является цифровым выходом контроллера SMH 2010. Насос №1 включится.

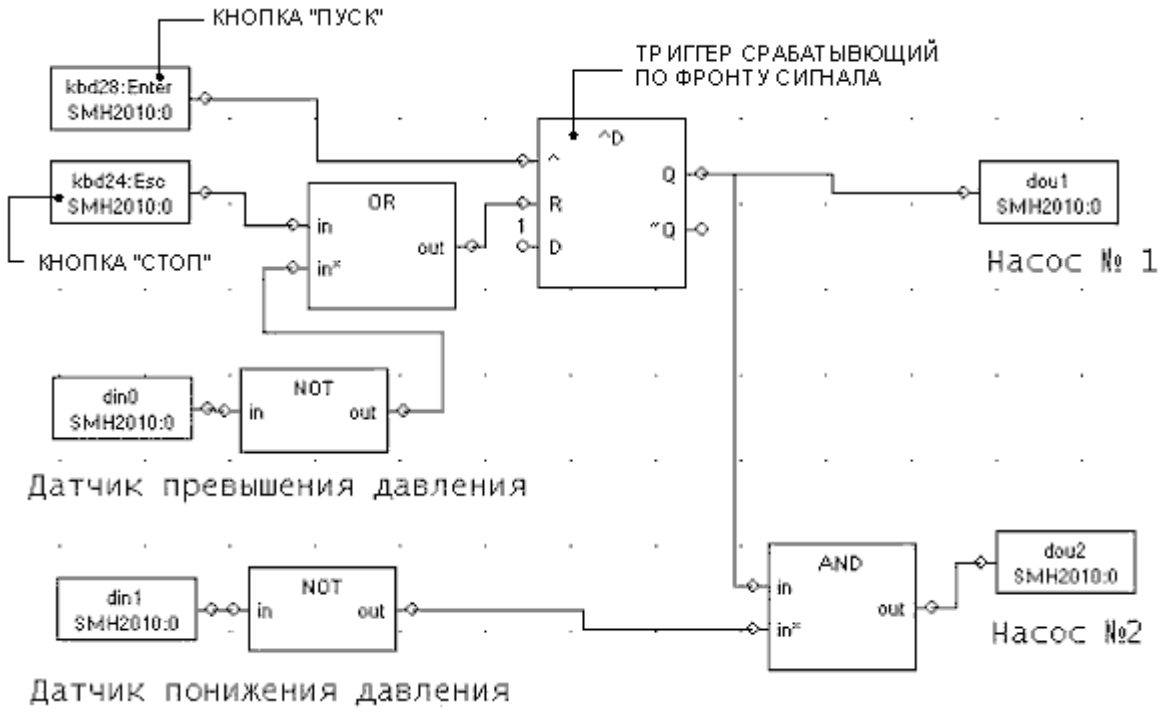


Рисунок 4.6 - Функциональная блок-схема

Условие включения насоса №2 - срабатывание датчика понижения давления (он находится на цифровом входе SMH 2010 - блок «din1»). Кроме того, сама насосная станция при этом должна быть включена. Признаком работы насосной станции является логическая единица на выходе Q D-триггера. Следовательно, когда с выхода блока «din1» и выхода Q D-триггера придут логические 1, насос №2 должен заработать. Блок AND (И) обеспечивает эту функцию.

Здесь необходимо обратить внимание на то, что после блока din1 стоит блок NOT. Дело в том, что цифровые входы контроллера SMH 2010 инвертированы. Физически это выглядит таким образом: ножки процессора, которые контролируют цифровые входы, воспринимают нулевое напряжение как логическую единицу, а номинальное - как 0. Когда какой-либо датчик замыкает электрическую цепь цифрового входа, в схеме SMH 2010 происходит так называемый «сток». Напряжение на соответствующей ножке процессора падает до нуля, и он интерпретирует это как логическую единицу. Блок NOT также инвертирует сигнал, т.е. превращает 1 на входе в 0 на выходе, что требуется для построения данной логической схемы.

Следующее условие: насосная станция должна аварийно выключаться по сигналу от датчика превышения давления (цифровой вход din0 контроллера SMH 2010). Для этого надо просто «обнулить» выход Q D-триггера. Это можно

сделать путем подачи логической 1 на его вход R (reset). Но также необходимо выключать всю насосную станцию, например, кнопкой «Стоп». Кнопкой «Стоп» назначаем кнопку «Esc» контроллера SMH 2010, а выключать станцию будем также подачей 1 на вход R D-триггера. Для того чтобы вход R мог воспринимать оба сигнала (от датчика превышения давления и от кнопки "Стоп") надо поставить блок OR ("ИЛИ"). Теперь работа логической схемы удовлетворяет всем необходимым условиям.

Таким образом, станция не должная запускаться, если давление в трубопроводах слишком высокое. Но в этом случае на входе R D-триггера будет логическая 1, а на выходе Q будет удерживаться 0, следовательно, D-триггер не будет реагировать на нажатие кнопки «Пуск». Все, работа над схемой завершена.

Для того чтобы SMH 2010 воспринимал программы, написанные на SMLogix, в него должно быть «зашито» ядро. Ядро - это специальная программа, которая циклически выполняет обработку FBD-блоков логической схемы, созданной в SMLogix, и, одновременно, взаимодействует с периферией самого контроллера SMH 2010.

Обработка блоков происходит последовательно блок за блоком, причем в SMLogix принят следующий порядок обработки: сверху вниз, слева направо. Длительность цикла обработки всех блоков зависит от быстродействия процессора и количества блоков в схеме.

В SMLogix предусмотрена возможность установки «ТИКа системы».

Тик системы - это период времени, с которым ядро обрабатывает всю схему. Тик системы должен быть больше, чем максимальное время цикла. В зависимости от сложности схемы, ядро, на разных циклах, может обрабатывать различное количество блоков, но в любом случае не больше общего количества всей схемы. В связи этим длительность «ТИКа системы», если вы еще не опытный пользователь, рекомендуется устанавливать таким, чтобы он был заведомо больше суммы времен обработки всех блоков схемы.

4.3 Время обработки прохождения управляющих сигналов «тик» системы

Рассмотрим схему, изображенную на рисунке 4.7.

Длительность цикла определяется требованиями решаемой задачи и, прежде всего, величинами временных задержек, которые необходимо контролировать. Например, значение константы на входе DI блока CTU(16) равное 3, означает, что данный счетчик выполнит три отсчета и остановится. Каждый отсчет равен 1 тику, продолжительность работы CTU(16) 3 тика. Если установить длительность цикла=10 мс, тогда CTU(16) отработает 30 мс. При цикле=100 мс отработает 300 мс и т.д.

Однако надо учесть и то, что каждый FBD-блок в SMLogix обрабатывается в среднем 70 мкс, тогда за 10 мс ядро обработает порядка 140 блоков, а за 100 мс 1400. Если вы попытаетесь «втиснуть» в тик=10 мс, скажем, 200 FBD-блоков, SMLogix предложит сменить длительность цикла работы системы.

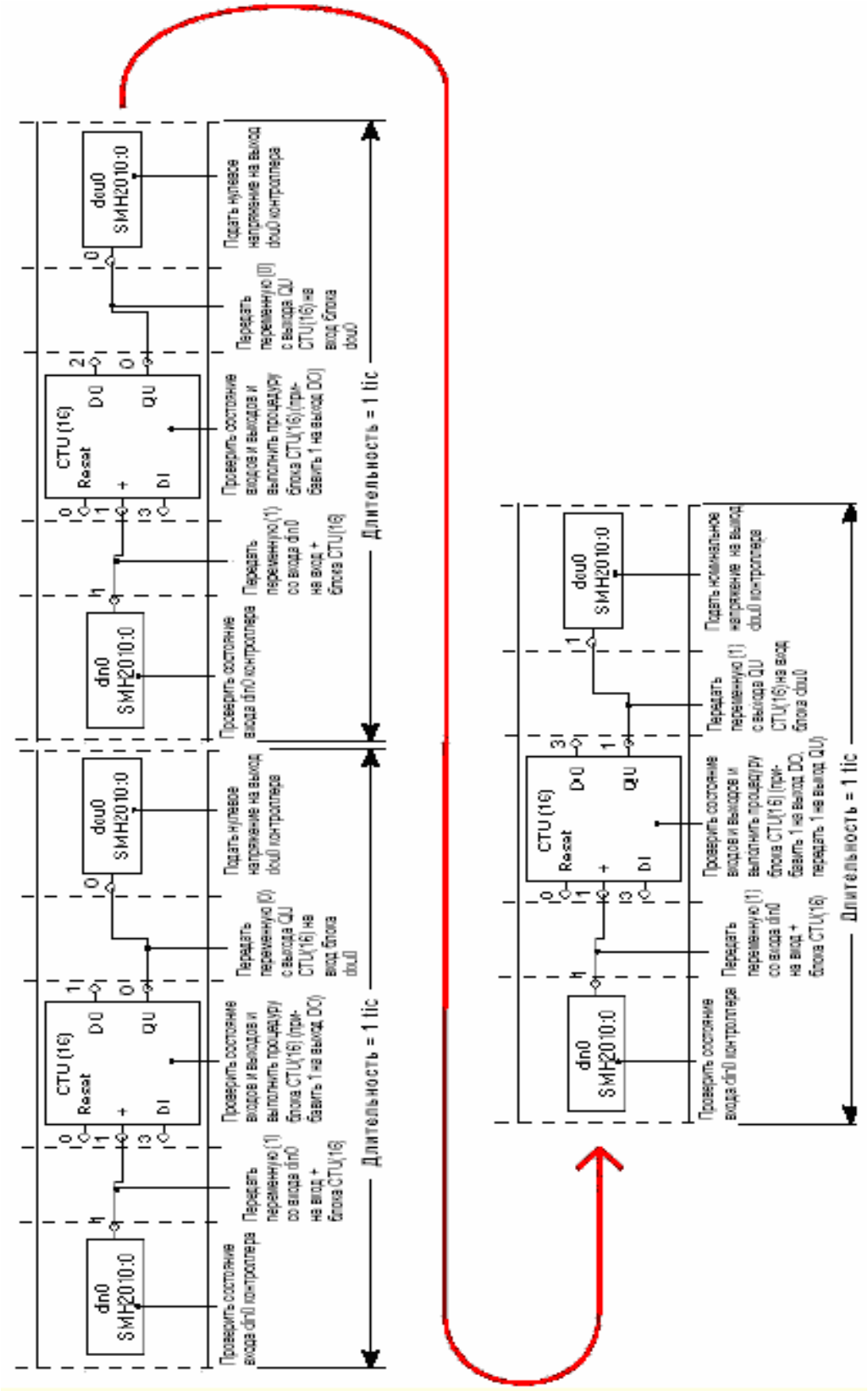


Рисунок 4.7 – «Тик» системы

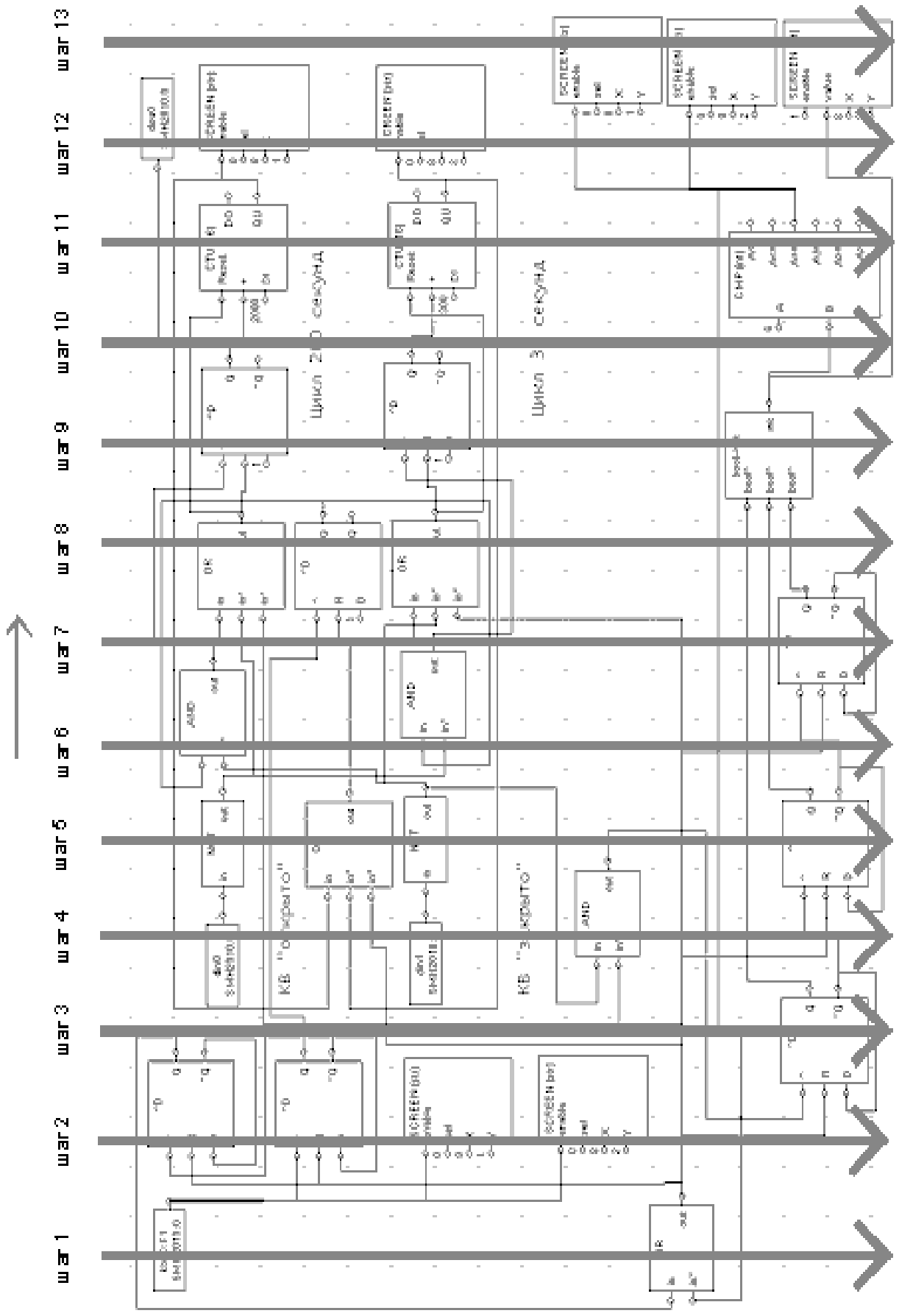


Рисунок 4.8 - Последовательность обработки блоков

Как уже отмечалось, FBD-схема, созданная в SMLogix, обрабатывается последовательно «сверху вниз, слева направо». Последовательность обработки наглядно изображена на рисунке 4.8.

Из приведенной схемы следует, что блоки, расположенные левее и выше будут обрабатываться раньше, вследствие чего может возникнуть явление, называемое «иголки», когда блоки могут начать конфликтовать друг с другом по приоритету. Это демонстрирует следующий пример (рисунок 4.9 а, б):

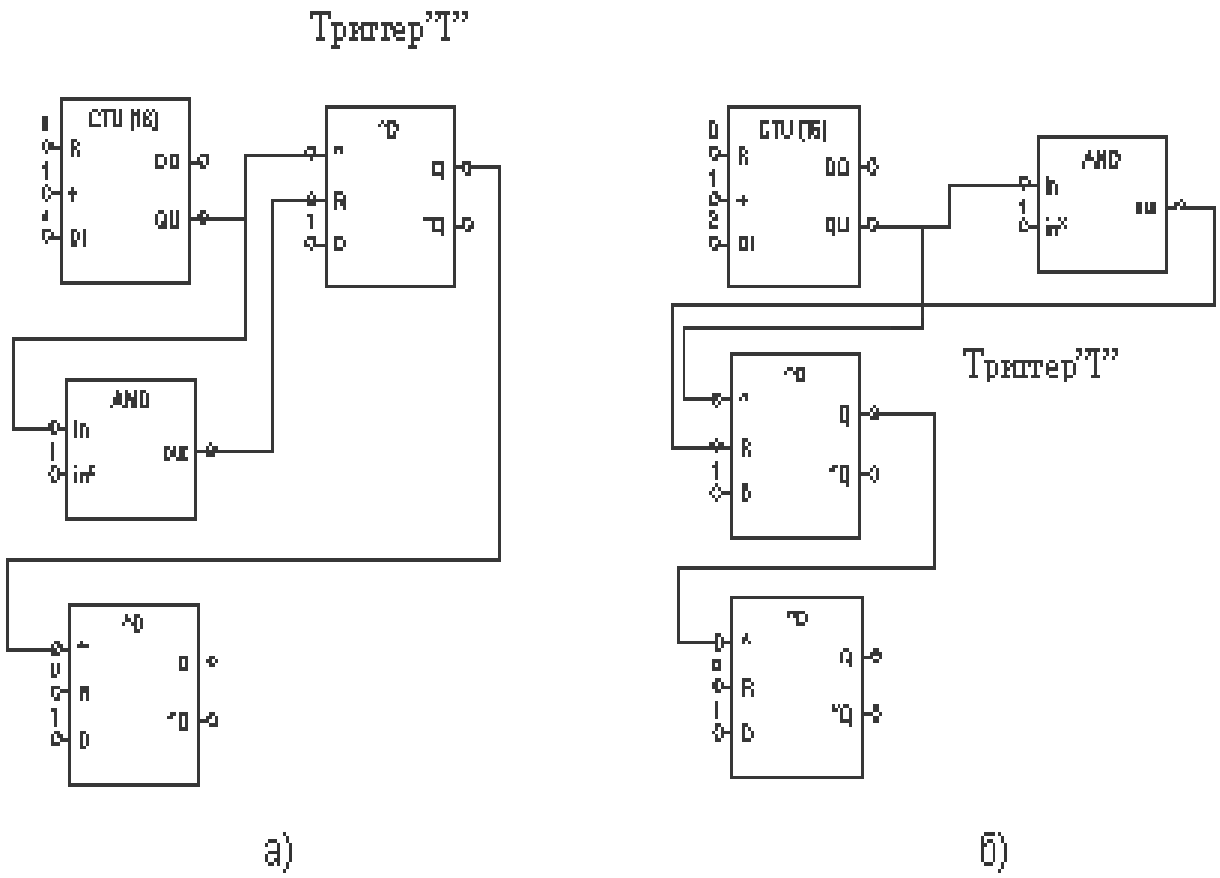


Рисунок 4.9 а, б - Пример «иголок»

На рисунке 4.9 а, б изображены совершенно две одинаковые схемы, только блоки расставлены несколько в разном порядке. Общий алгоритм работы таков: когда счетчик CTU(16) отработает 2 тика, на вход Триггера «I» придет фронт сигнала, по которому он сработает, выдаст 1 на выход Q и на вход другого D-триггера, который тоже должен сработать и передать 1 на свой выход Q. Одновременно 1 с выхода QU счетчика CTU(16) передается на вход блока AND, обрабатывается в нем и затем поступает на вход R Триггера «I». Поскольку при появлении 1 на входе R D-триггера, последний должен обнулиться, на выходе Q Триггера «I» должен появиться 0.

На схеме «а» блок AND отработается быстрее блока D (Триггер «I»), и единица с его выхода успеет прийти на вход R Триггера «I», который не успеет

сработать по фронту сигнала от счетчика CTU(16). Соответственно, следующий D-триггер также останется в нулевом состоянии.

На схеме «б» фронт со счетчика CTU(16) приходит раньше, чем 1 с выхода блока AND. Триггер «I» срабатывает, передает 1 на свой выход Q, откуда она в виде фронта сигнала приходит на вход следующего D-триггера, и тот успевает сработать, пока Триггер «I» не обнулился

При составлении FBD-схем следует обращать на это внимание. Последствия «иголок» могут проявиться во время отладки программы на контроллере, поэтому, если вы обнаружите, что составленная вами схема «врет», прежде всего, проверьте ее на предмет отсутствия именно «иголок».

4.4 Создание проекта реализации САУ на контроллере

Создать проект реализации САУ на контроллере возможно двумя способами.

Выбрать пункт меню Файл->Новый->Проект или нажать соответствующую кнопку панели инструментов.

Перед созданием нового проекта появится диалоговое окно, изображенное на рисунке 4.10, в котором предлагается выбрать тип контроллера, для которого будет создан проект.

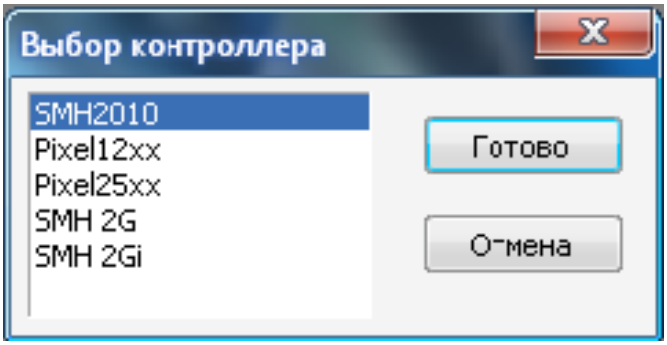


Рисунок 4.10 - Выбор контроллера

Если ни один из типов контроллеров выбран не был, проект создан не будет.

После выбора типа контроллера и нажатия на кнопку «Готово», появится диалоговое окно, изображенное на рисунке 4.11 (каждому контроллеру свойственно свое окно настроек).

На данном этапе создания проекта пользователю предоставляется возможность протестировать связь с контроллером (кнопка «Тест связи с PLC»), в случае, если связь не была установлена, то можно осуществить поиск контроллера (кнопка «Поиск PLC»). Параметры найденного контроллера можно записать в контроллер, нажав кнопку «Запись на PLC».

В данном окне также возможно задание параметров выбранного устройства.

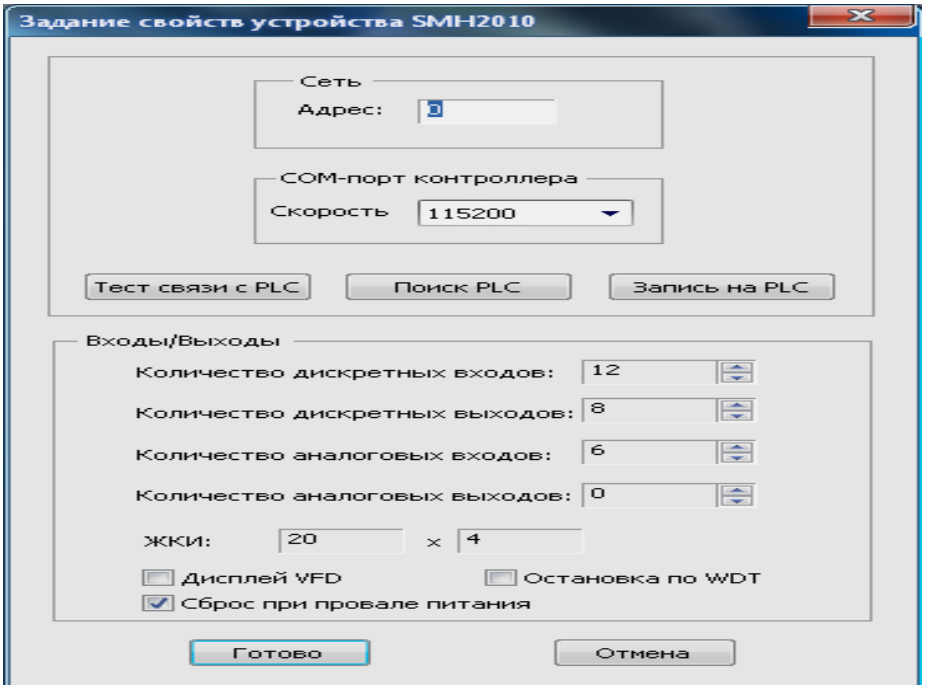


Рисунок 4.11 а

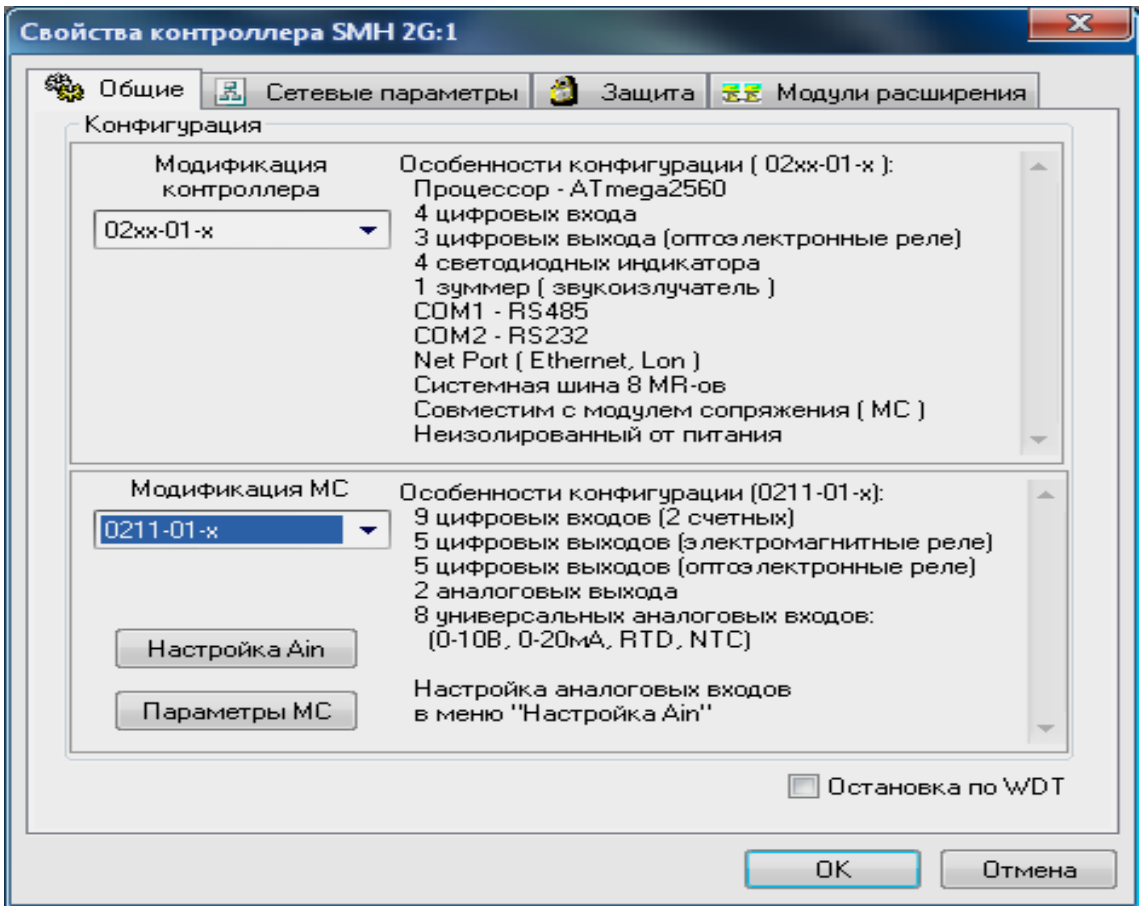


Рисунок 4.11 б - Задание конфигурации контроллера

Здесь, также можно настроить работу сторожевого таймера:

Если галочку поставить, то при срабатывании сторожевого таймера программа остановится и ее можно запустить заново только аппаратным сбросом контроллера.

Если же, галочку не ставить, то по сигналу от WDT программа сбросится и запустится сначала.

После конфигурации контроллера нажимаем кнопку готово. Появляется рабочая зона (рисунок 4.12) где с помощью функциональных блоков пишется программа

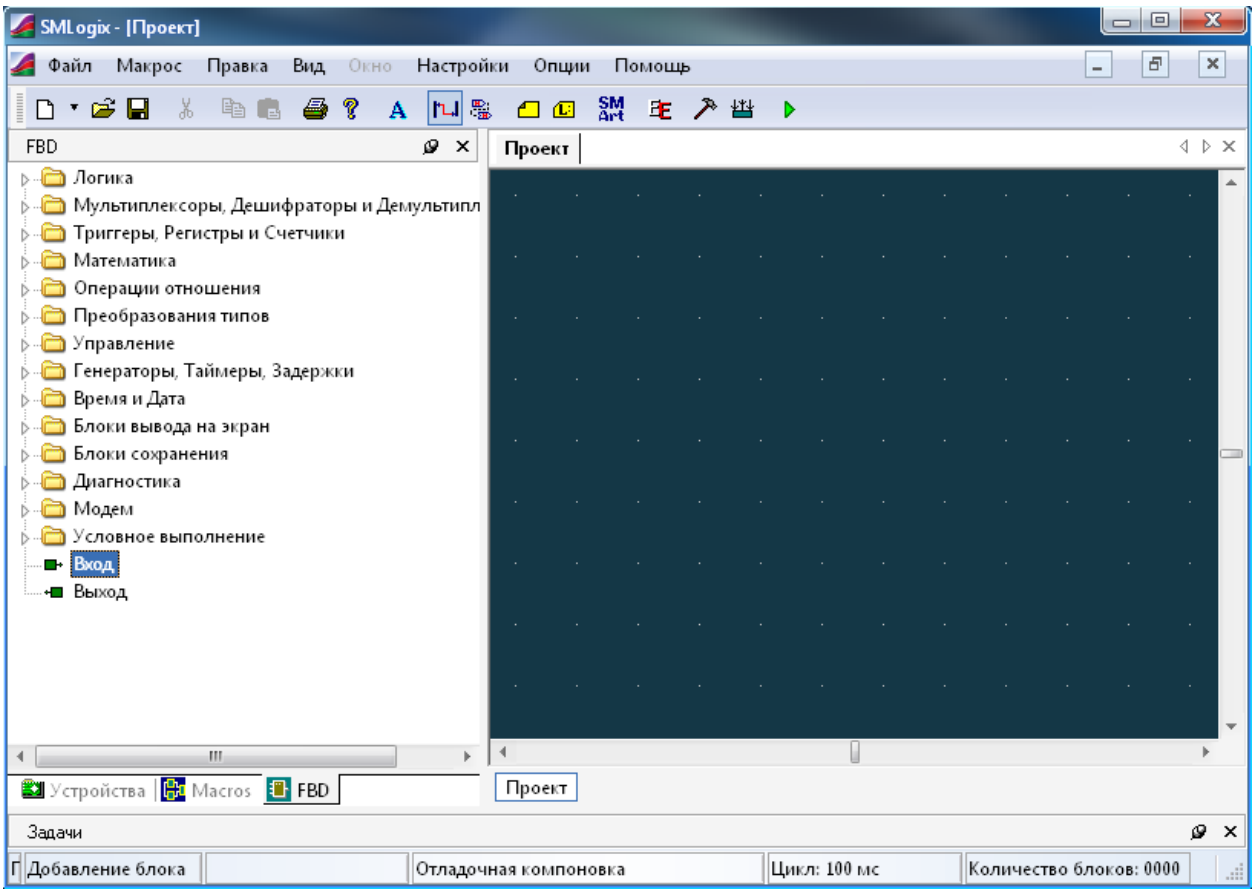


Рисунок 4.12

В левой части программы расположены вкладки функциональных блоков, в правой поле для расположения блоков и объединения их с помощью «связей».

5 МЕТОДЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТАННЫХ ДИСКРЕТНО-ЛОГИЧЕСКИХ САУ

Как известно любую разработанную САУ можно выполнить несколькими методами (рисунок 5.1).

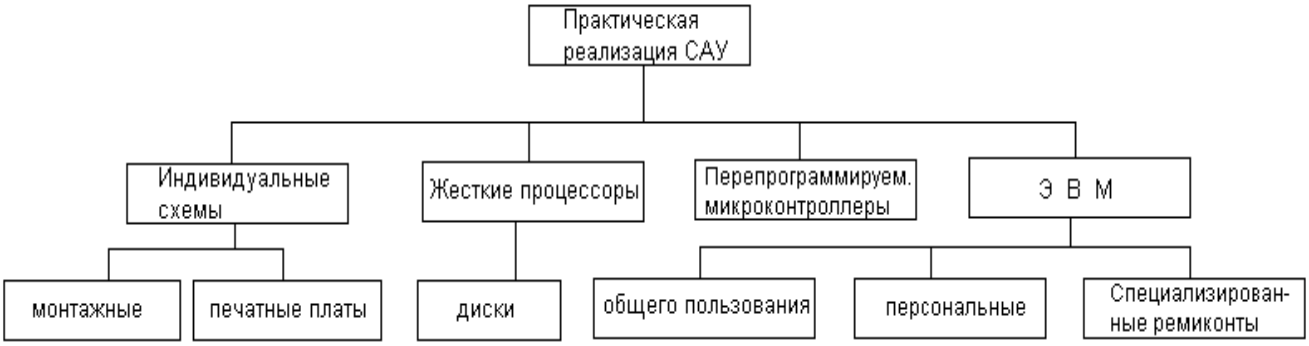


Рисунок 5.1

Применение того или иного метода реализации в каждом конкретном случае зависит в основном от области и места применения данной САУ.

Так САУ относящиеся к типу индивидуальных схем в основном используются при лабораторных и научно-исследовательских работах, а также при мелкосерийном производстве.

Исполнение САУ в виде «жестких процессоров», а именно, с применением программируемых логических матриц или жестких дисков используется в среднесерийном и стабильном массовом производстве при относительно несложных схемах.

Перепрограммируемые микропроцессорные устройства используются для реализации сложных САУ в среднесерийном производстве с редким изменением программ.

При частой смене номенклатуры изделий на производстве, а следовательно, и при частом изменении программы работы в среднесерийном, робототизированном производствах используют различные типы ЭВМ – общего, персонального, специального исполнения.

5.1 Реализация разработанных САУ в виде монтажных схем (плат)

При выполнении монтажных (плат) необходимо учитывать, что:

√ Монтажная схема обычно выполняется вручную, так называемым «навесным монтажом», когда отдельные элементы схем соединяются в нужном порядке при помощи паяных проводных соединений.

√ Необходимо учитывать, сколько по типоразмерам можно разместит какого-либо оборудования в данных габаритах (размерах), ограничивающих данную стандартную плату.

√ Сколько входов-выходов в данных габаритах плат можно использовать для связи с внешними устройствами, т.е. необходимо учитывать число имеющихся контактов в типовых разъемах (клемниках).

√ Одно контактное соединение можно использовать не более двух раз, т.е. к одному контакту можно присоединить (припаять) не более двух проводов. Это требование обусловлено обеспечением надежного контактного соединения.

√ Все соединительные5 провода нужно компоновать в так называемые «шины», «пакеты» или «жгуты».

√ При «собирании» отдельных проводников в «жгуты», «шины», «пакеты» на концах (около контактов) проводов обязательно надо указывать маркировку или адрес, куда этот провод направляется, т.е. маркируется адрес предыдущего или последующего контактного соединения или адрес внешнего контактного разъема на клемнике.

В соответствии с этими замечаниями приведем примеры выполнения монтажных схем.

5.1.1 Изготовление монтажных плат навесным способом

Рассмотрим принципиальную схему устройства, имеющего следующий вид (рисунок 5.2). Причем на этой схеме (для упрощения) не показаны цепи питания микросхем постоянным током и цифры входов-выходов обозначены в произвольном виде для универсальности.

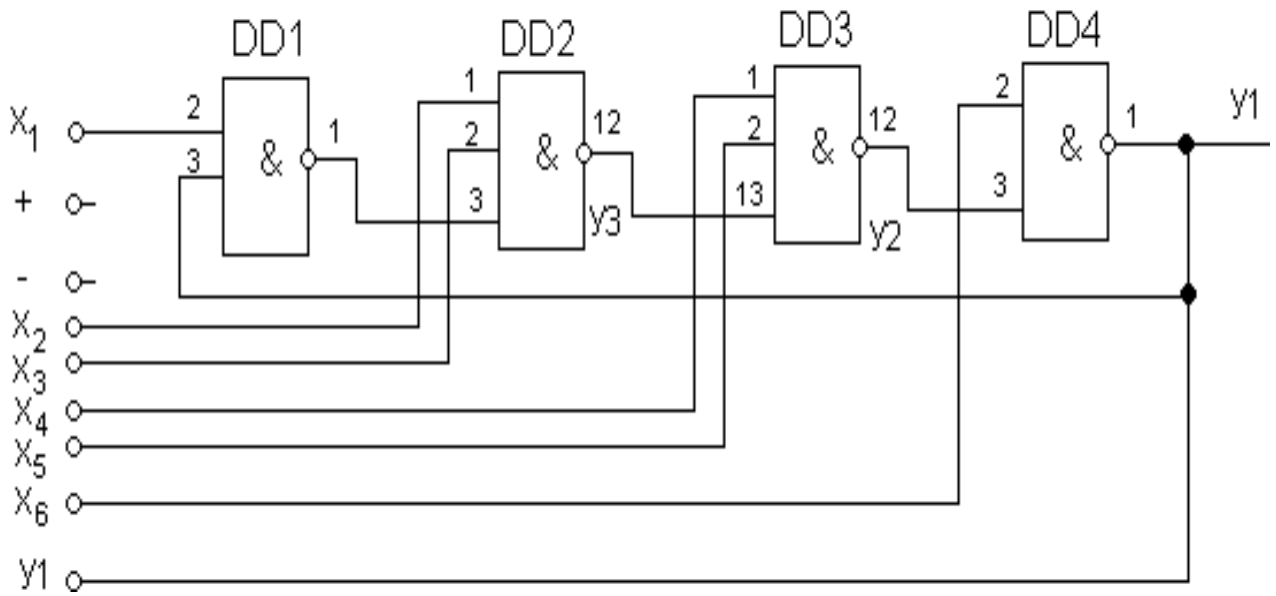


Рисунок. 5.2

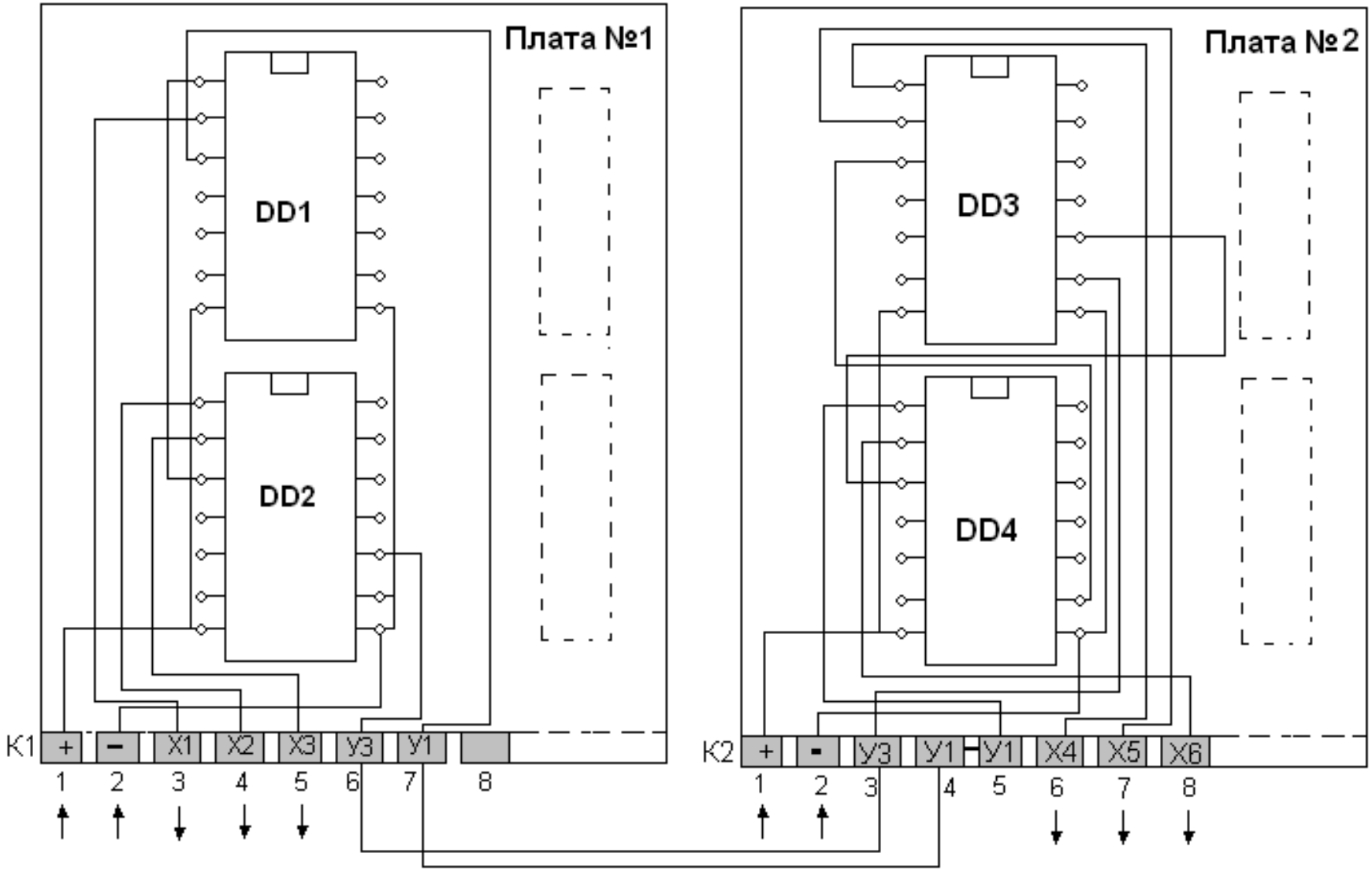

Плата №1
DD1
DD2
Плата №2
DD3
DD4
K1
+
−
X1
X2
X3
У3
У1
1
2
3
4
5
6
7
8
K2
+
-
У3
У1
У1
X4
X5
X6
1
2
3
4
5
6
7
8

Рисунок 5.3

Допустим, что на одной односторонней плате могут разместиться 4 условных микросхем логических элементов (рисунок 5.3) и у этой платы имеется односторонний контактный разъем с 8-ю контактами для связи с внешним миром.

Так как на схеме рисунка 5.2 изначально необходимо для связи с внешними устройствами 7 контактов, да еще два контакта на подводку питания постоянным током, то очевидно все 4 микросхемы не удастся разметить на одной плате. Поэтому разместим пока по две микросхемы на каждой плате. При выполнении навесного монтажа проволочным способом разместим на плате №1 микросхемы DD1 и DD2, а на плате №2 DD3 и DD4. При этом на 1 и 2 платах контакты К1 и К2 разъемов будут использоваться для подключения к источнику постоянного тока, а контакты 3, 4, 5 разъема платы №1 будут использоваться для входных параметров – X_1, X_2, X_3 соответственно, а 6 и 7 контакты разъема платы №1 – для функций $У_3$ и $У_1$, соответственно. Остается еще один 8 контакт разъема платы №1, который не позволяет разместить на этой плате еще одну микросхему DD3, т.к. для этого необходимо будет использовать еще дополнительных три контакта разъема для подсоединения входных параметров X_4 и X_5 и входной функции У2. Поэтому 8 контакт разъема платы №1 остается незадействованным. Таким образом на плате №1 разместятся две микросхемы, а именно DD1 и DD2, а две другие микросхемы, а именно, DD3 и DD4 будут размещены на другой плате – плате №2, где контактные разъемы будут использованы следующим образом. 1 и 2 контакты разъема платы №2 – под источник постоянного тока. Контакт 3 используется для ввода функции У3; 4 и 5 контакты разъема платы №2 – для входа и выхода функции У1; 6, 7 8 разъемные контакты платы №2 будут использованы для ввода входных величин X_4, X_5, X_6, соответственно.

5.1.2 Изготовление монтажных плат «жгутовым» способом

Можно монтажные схемы выполнять, так называемым, «шинным» или «жгутовым» способом, когда компонуют в пачки или жгуты провода по территориальному принципу. Тогда ту же схему рисунка 5.2 можно представить в следующем виде (рисунок 5.4), где у каждого контактного соединения записывается адрес, с которым этот контакт будет соединяться, а жгуты обозначаются одной линией. При этом необходимо в местах присоединения к контактам микросхемы или контактного разъема указывать адрес, куда направляется данный провод. Причем все надписи делаются над проводом или слева от него. Пример такого выполнения и показан на рисунке 5.4. с учетом замечаний сделанных при выполнении монтажной схемы, показанной на рисунке 5.3.

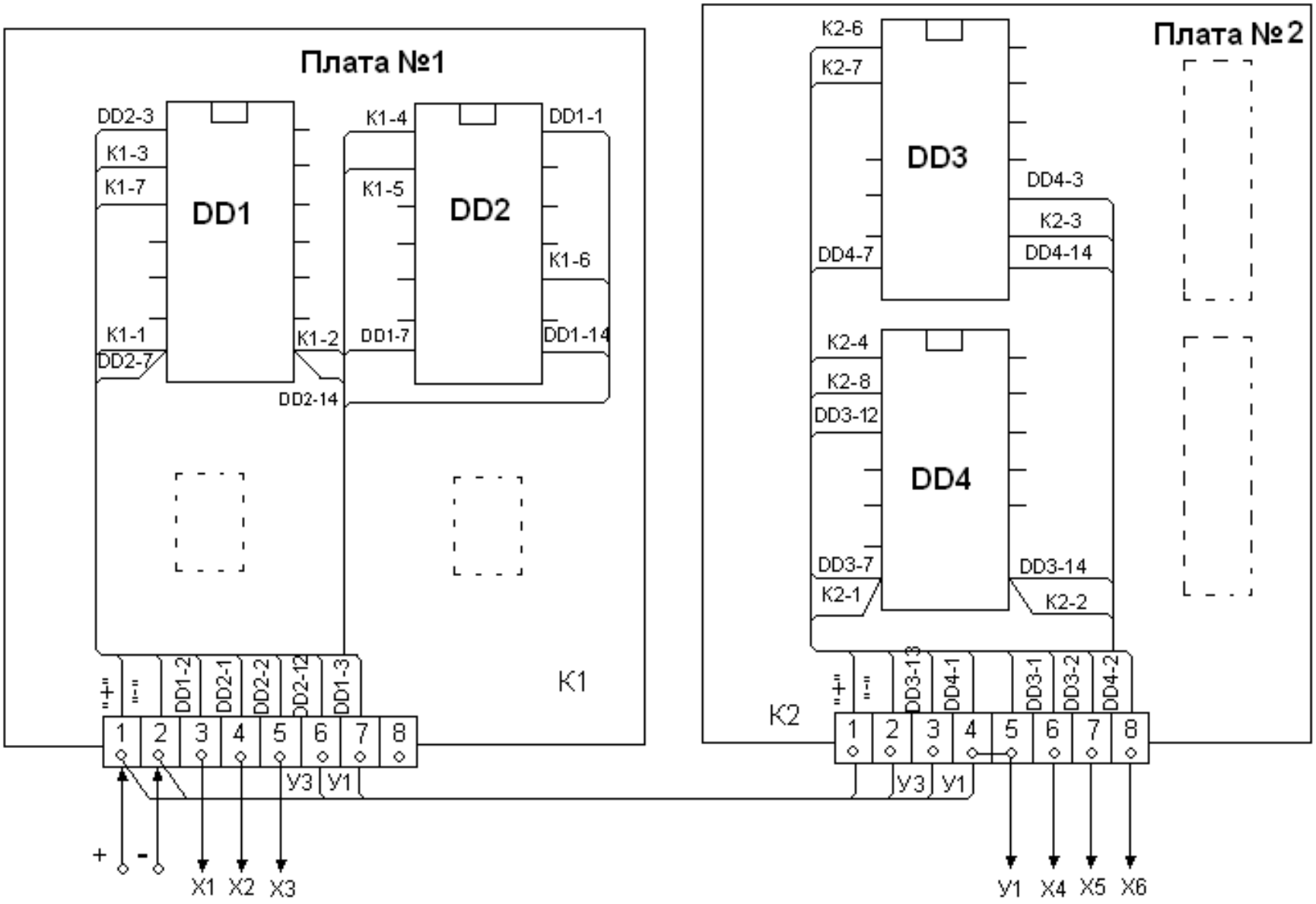

Плата №1
DD1
DD2
DD2-3
K1-3
K1-7
K1-1
DD2-7
K1-2
DD2-14
K1-4
K1-5
K1-6
DD1-1
DD1-7
DD1-14
"+"
"-"
DD1-2
DD2-1
DD2-2
DD2-12
DD1-3
1 2 3 4 5 6 7 8
У3
У1
K1
+
-
X1
X2
X3
Плата №2
DD3
DD4
K2-6
K2-7
DD4-7
DD4-3
K2-3
DD4-14
K2-4
K2-8
DD3-12
DD3-7
K2-1
DD3-14
K2-2
"+"
"-"
DD3-13
DD4-1
DD3-1
DD3-2
DD4-2
K2
1 2 3 4 5 6 7 8
У3
У1
У1
X4
X5
X6

Рисунок 5.4

5.2 Порядок создания печатной платы в P-CAD

5.2.1 Создание принципиальной электрической схемы

Первым шагом, при работе в системе P-CAD, является настройка схемного редактора для получения комфортной среды разработки.

1. Выбор и установка системы единиц измерения и размеров чертежа

Система P-CAD допускает работу в двух системах измерения - дюймовой и метрической. По умолчанию в системе в качестве единиц измерения установлены **mils** (тысячная часть дюйма). Кроме того, в P-CAD, в отличие от многих других графических редакторов, в настройках системы определяется размер рабочей области.

2. Установка параметров сетки

Для облегчения работы все элементы схемы на рабочем поле привязываются к узлам специальной сетки. Параметры сетки (расстояние между узлами, вид сетки, ее тип) устанавливаются по команде **Options/Grids…** (Параметры/Сетки).

3. Создание и редактирование стилей текста

Для задания параметров текстовых надписей на схемах в P-CAD используется понятие стиля. Стилем определяется тип шрифта, размер букв, начертание, набор символов. По умолчанию, в систему встроены несколько служебных стилей для обозначения текстовых атрибутов типовых элементов. P-CAD поддерживает два вида шрифтов – True Type и Stroke (штриховые).

Возможны три вида штриховых шрифтов QUALITY (сглаженный), BASIC (рубленный), и LCOM (с засечками).

Все стили в системе, за исключением Default и Default TTF, могут быть отредактированы.

4. Задание ширины линий и проводников

По умолчанию в системе установлены две ширины линии и проводников – Thin (тонкая, шириной 0,254 мм) и Thick (толстая, шириной 0,762 мм для линий и 0,381 мм для проводников). При необходимости список размеров линий и проводников может быть расширен.

5. Настройка параметров отображения

По команде основного меню **Options/Display** (параметры/отображение) на панели **Options Display** можно задать цвета и стили отображения различных объектов схемы. Окно этой команды содержит две закладки. На первой (*Colors*) в рамке *Item Color* (цвет элементов) задаются цвета отображения проводников (Wire), символов компонентов (Part), шин (Bus), точек пересечения проводников (Junction), выводов компонентов (Pin), линий (Line), полигонов (Polygon),

текстов (Text), не подсоединенных (открытых) выводов компонентов или цепей (Open End).

Системные стили текста

Название стиля	Назначение
PinStyle	Нумерация выводов (размер 2.31 мм)
PartStyle	Нанесение позиционных обозначений, типов и номиналов элементов (размер 3.48 мм)
PortStyle	Нанесение имен специальных элементов – портов (размер 1.524 мм)
WireStyle	Нанесение имен цепей (размер 1.524 мм)
Default	Векторный шрифт по умолчанию (размер 2.54 мм). Недоступен для редактирования.
Default TTF True Type	Шрифт по умолчанию (размер 2.54 мм). Недоступен для редактирования.

Порядок выполнения работы

1. Для начала работы необходимо запустить схемный редактор. Для запуска выбрать **«Программы --- P-CAD2001 --- Schematic»**.

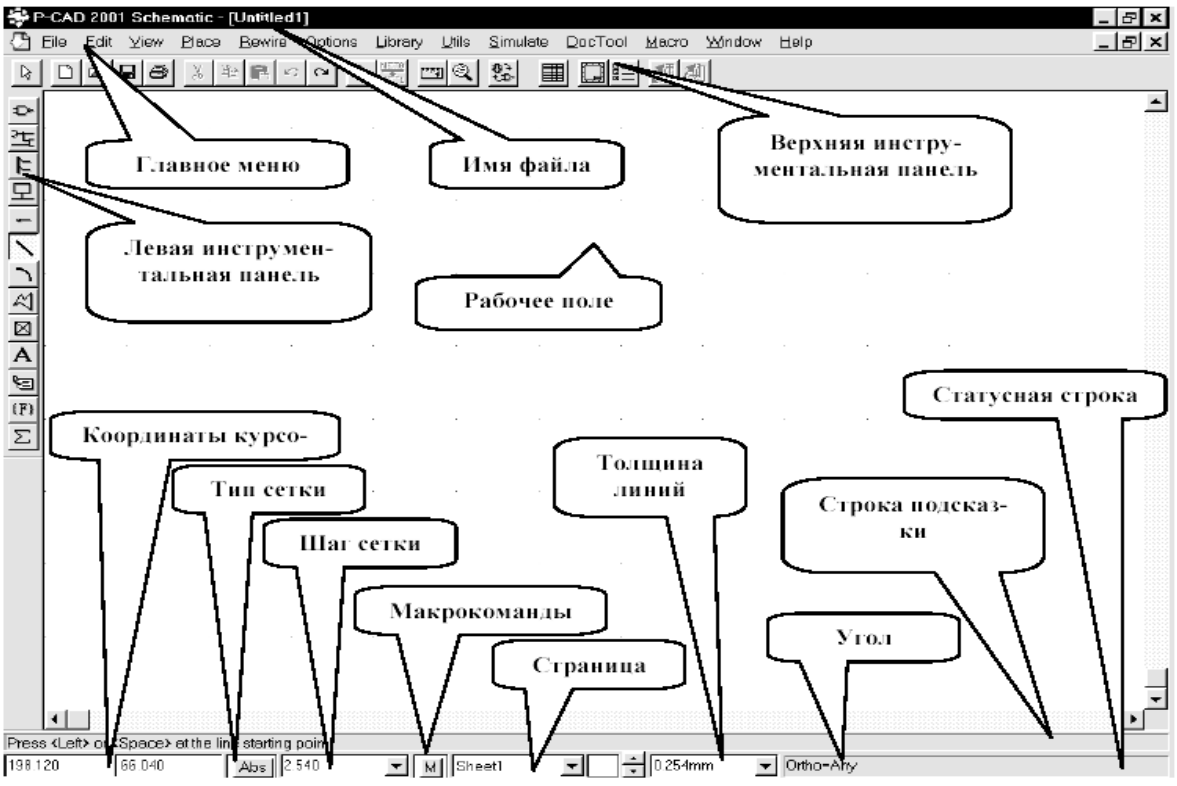


Рисунок 5.5 - Экран схемного редактора

Установите в системе метрическую систему единиц и формат чертежа А4.

1.1. В основном меню схемного редактора выберите команду **Options/Configure..**.. (Параметры/Конфигурация).

1.2. На появившейся панели **Options Configure** (рис. 5.6) в рамке *Workspace Size* (размер рабочей зоны) нажмите кнопку *User* (пользовательский) и введите значение ширины листа (окно *Width*) равной **210 mm** и высоты листа (окно *Height*) равной **297 mm**.

Использование кнопок A4-A0 в рамке ***Workspace Size*** *приведет к установке европейского формата, а кнопок A,B,C,D,E американского формата чертежа с горизонтальным расположением длинной стороны!*

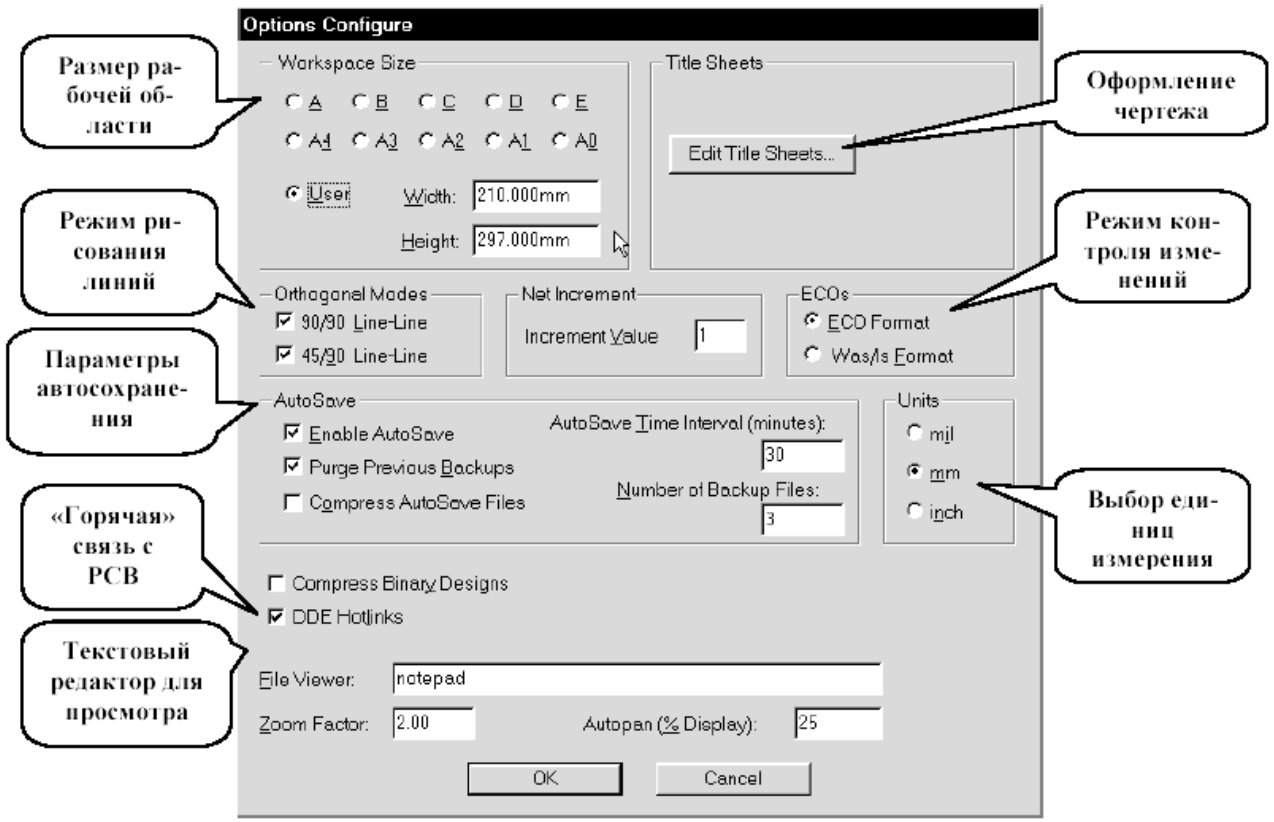


Рисунок 5.6 - Окно конфигурации

1.3. В рамке *Units* в качестве единиц измерения выберите миллиметры (кнопка *mm*).

-Перейти от дюймовой системы единиц к метрической и обратно можно только здесь!

-Изменение единиц измерения возможно на любой стадии проектирования, но лучше это делать в самом начале!

1.4. Кнопка *Edit Title Sheets* (оформление чертежа) позволяет установить стили оформления чертежей схем. Поскольку европейские и российские стандарты различаются, использование системных шаблонов оформления неприемлемо.

1.5. Состояние остальных параметров установите в соответствии с рис. 5.5-5.6.

1.6. Нажмите кнопку ОК для фиксации введенных изменений и закрытия панели установок. Таким образом для чертежа задан формат А4 с вертикальным расположением длинной стороны и выбрана для работы метрическая система единиц.

2. Выберите команду **Options/Grids…** (Параметры/Сетки). При этом появляется специальная панель **Options Grids**.

2.1. В окне *Grid Spacing* (шаг сетки) установите шаг сетки равным **2.5** мм (без указания единиц измерения) и нажмите кнопку **Add**.. (добавить). Новое значение шага сетки появится в окне *Grids* (сетка).

2.2. Аналогичным образом добавьте к списку шагов сетки значения **0.1; 0.75; 1.25**; **5** и **10** мм. Крупные шаги сетки (2.5, 5 и 10 мм) удобно использовать при размещении компонентов, проводников и шин. Более мелкие нужны при размещении атрибутов, полей, текста и создания графики символов.

2.3. Значение 2.540 мм, установленное системой изначально, из списка удалите. Для этого щелкните по нему в списке левой кнопкой мыши и нажмите на панели кнопку **Delete** (удалить).

2.4. Сетку оставьте видимой (флажок *Visible* должен быть установлен).

2.5. Тип сетки в рамке *Mode* (режим): абсолютная - *Absolute* или относительная – *Relative* и вид ее отображения в рамке *Visible Grid Style* (стиль видимой сетки): в виде точек – *Dotted* или линий – *Hatched*, оставьте прежними (установлен флажок *Absolute* и флажок *Dotted*). Заметим, что абсолютная сетка имеет начало координат в левом нижнем углу рабочего поля, а относительная - в точке с координатами, указанными в рамке *Relative Grid Origin* или в точке, отмеченной пользователем щелчком левой кнопки мыши (при установленном флаге *Prompt for Origin*).

2.6. Для выхода из панели **Options Grids** нажмите кнопку ОК.

Также используются следующие горячие клавиши:

«О» - переключение режима ортогональности.

«А» - переход от абсолютной сетки к относительной.

3. Для того чтобы создать новый стиль текста необходимо выполнить следующие команды:

3.1. В основном меню выберите команду **Options/Text Style…** (параметры/стили текста). Появится панель **Options Text Style**.

3.2. Для добавления нового стиля нажмите на ней кнопку **Add** (добавить). Появится панель **Add Text Style** (добавить стиль текста).

3.3. В окне *Style Name* (Имя стиля) на этой панели введите имя нового стиля **Текст3_5_курсив** и нажмите кнопку ОК. В названии стиля будем отображать высоту
символов в мм (в данном случае - 3,5 мм) и начертание (курсив).

3.4. На появившейся панели **Text Style Properties** (свойства стиля текста) установите флажок *Allow True Type* (разрешить TTF) и нажмите кнопку **Font (**шрифт) для выбора вида шрифта.

3.5. На стандартной панели выбора шрифта Windows из списка шрифтов выберите шрифт Arial. Начертание установите – курсив, размер – 10 пунктов. В окне *Набор символов* из списка выберите *Кириллица*. Нажмите кнопку ОК, чтобы закрыть панель.

3.6. на панели **Text Style Properties** в окне *Size* (размер) установите высоту букв равную 3,5 мм.

3.7. В рамке *Display* (отображать) установите флажок *True Type Font,* чтобы разрешить отображение TTF-шрифтов, и нажмите кнопку ОК для окончания ввода.

3.8. Убедитесь, что на панели **Options Text Style** в списке текущих стилей появилось имя нового стиля **Текст3_5_курсив**.

3.9. Повторяя пп. 2-8, добавьте еще два стиля текста - **Текст5_курсив** и **Текст7_курсив** с размером букв 5 и 7 мм.

3.10. На панели **Options Text Style** нажмите кнопку **Close** (закрыть) для завершения ввода новых стилей.

Для изменения свойств какого-либо стиля необходимо указать его в списке *Current Text Style* на панели **Options Text Style** и нажать на кнопку **Properties**. Появится панель **Text Style Properties**, где можно выбрать новый вид шрифта или установить его новые размеры. Вновь введенные стили можно при необходимости переименовать, используя кнопку **Rename** на панели **Option Text Style**, или удалить из системы, используя кнопку **Delete**. Кнопка **Purge Unused Styles** позволяет удалить из списка все неиспользованные в данном проекте стили, кроме системных.

4. Задание новой ширины линии.

4.1. В основном меню выберите команду **Options/Current Line…**(параметры/текущая линия). Появится панель **Options Current Line**.

4.2. В рамке *Width* (ширина) установите флажок *User* (пользовательская) и в окне редактирования наберите новое значение ширины линии равное **1.0mm**

4.3. Нажмите кнопку ОК для завершения работы.

Теперь все линии будут рисоваться шириной 1 мм. Оперативно изменять ширину текущей линии можно с помощью окна со списком в статусной строке. Здесь же можно задавать новые значения ширины линии. Для этого необходимо в окне редактирования набрать новое значение и нажать клавишу **ENTER**.

4.4. В рамке *Style* (стиль) на панели **Options Current Line** для линии Thin можно выбрать стиль – Solid (сплошная), Dashed (штриховая) и Dotted (точечная). *Все линии кроме Thin могут быть только сплошными (Solid)!*

4.5. Ввод нового значения ширины проводников производится по команде **Options/Current Wire…**(параметры/текущий проводник). Появляющаяся при этом панель **Options Current Wire** похожа на панель задания ширины линий (отсутствует рамка задания стиля) и работа с ней производится аналогично.

Диапазон пользовательских значений ширины проводников определен в системе в пределах от 0 до 100 mils (0…2,54 мм).

Для обеспечения совместимости с предыдущими версиями системы проводники шириной менее 11 mils отображаются на экране линией в 1 пиксель.

Все введенные значения ширины линии и проводников хранятся в файле настроек системы (для схемного редактора это файл *SCH.ini*).

5. Установка цветовой палитры рабочего поля.

5.1. В рамке *Display Color* (цвет отображения) устанавливают цвет дополнительных элементов чертежа: фона (Background), нормальной (1x Grid) и крупной сетки (10x Grid), подсвеченных объектов (Highlight), выбранных объектов (Selection), форматки схемы (Title), атрибутов проводников (Wire Attr) и атрибутов компонентов (Part Attr). Для изменения цвета какого-либо объекта необходимо нажать на соответствующую кнопку и выбрать цвет из представленной палитры. В группе *Junction Size* можно задать размер точек соединения проводников.

5.2. В рамке *Bus Connection Mode* (режим подключения к шине) нажатием соответствующей кнопки выбирается один из трех стилей подключения проводников к шине.

На закладке *Miscellaneous* (разное) в одноименной группе устанавливаются стили отрисовки различных элементов:

Draft Mode (контурное отображение) – изображение широких линий, полигонов и текстов без их заливки для ускорения перерисовки экрана;

Display Default PinDes – отображение номеров выводов по умолчанию (можно сбросить).

Display Open End – отметка неподсоединенных выводов компонентов и неподключенных концов проводников специальными символами (желтыми квадратами). При подключении к выводу компонента проводника этот символ исчезает

Display Overridden Error – отображение отмененных ошибок

Display Part Gate Number – отображение номеров секций;

Scroll Bars – показ линеек прокрутки;

Show Data Tips – показ контекстно-зависимой информации о шинах, проводниках, компонентах, выводах компонентов при наведении на них курсора;

Thin Stroked Text – отображение текстов тонкими линиями;

Drag by Outline – перемещение вершин полигонов без показа их промежуточных положений (ускоряет перерисовку экрана, но затрудняет контроль положения).

5.3. В рамке *Cursor Style* (стиль курсора) можно установить текущий стиль отображения курсора – стрелка (кнопка *Arrow*), маленькое перекрестие (кнопка *Small Cross*) и большое перекрестие на все рабочее поле (кнопка *Large Cross*).

В окне со списком *Text Style* выбирается стиль текста для ссылок, а в окнах *Offset* задается их смещение по X и Y от точки привязки символа межстраничного соединителя.

Кнопка **Default** возвращает всем параметрам значения по умолчанию.

6. Сохранение текущего проекта в качестве шаблона.

6.1. В основном меню выберите команду **File/Save As…**

7. Для того чтобы создать печатную плату с помощью пакета программ P-CAD необходимо создать принципиальную электрическую схему будущего устройства. Для этого запускается схемный редактор P-CAD 2001 Schemaftic.

а. В меню «Пуск» выбирается пункт «Все программы».

б. Находится пункт «P-CAD 2001»(или более позднюю версию PCAD 2004) и запускается программа «Schemaftic». Основное окно программы показано на рисунке 5.7.

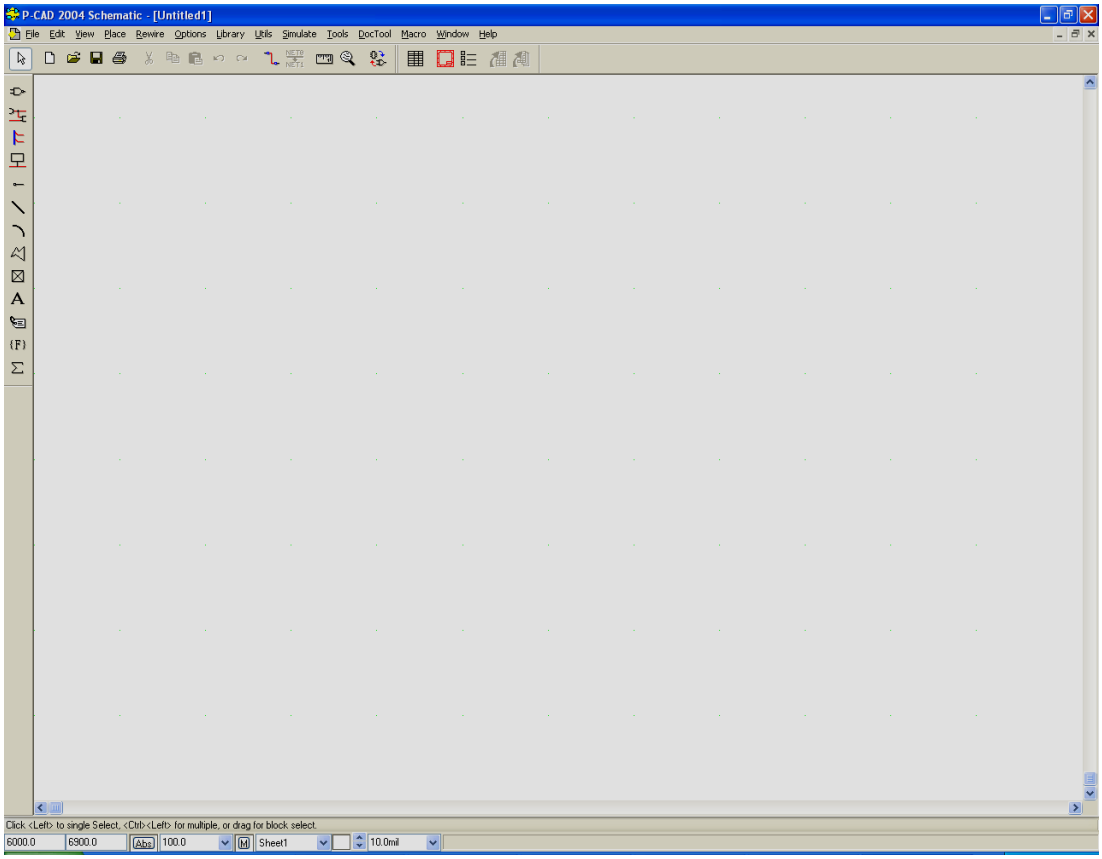


Рисунок 5.7 - Основное окно программы

2. Для создания электрической схемы необходимо расставить соответствующие компоненты в виде УГО (условных графических обозначений). Для этого выбирается пункт «Place», затем в развернувшемся меню «Part» (или можно нажать значок на панели слева). Появится окно, показанное на рисунке 5.8.

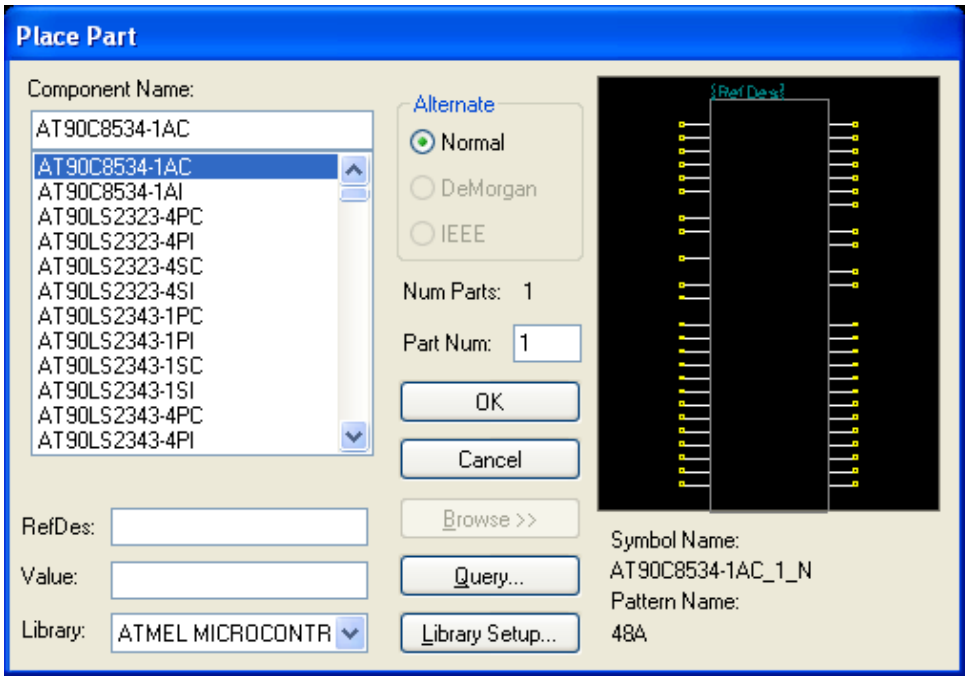


Рисунок 5.8

В появившемся окне выбирается необходимый компонент, который хранится в определенной (текущей) библиотеке (ее название – в строке «Library», если нет нужной библиотеки, то ее нужно загрузить, см. п.II,2). Далее нажимается ОК. Появившийся контур УГО компонента ставится в нужное место (рисунок 5.9), и далее нажимается левая кнопка мыши.

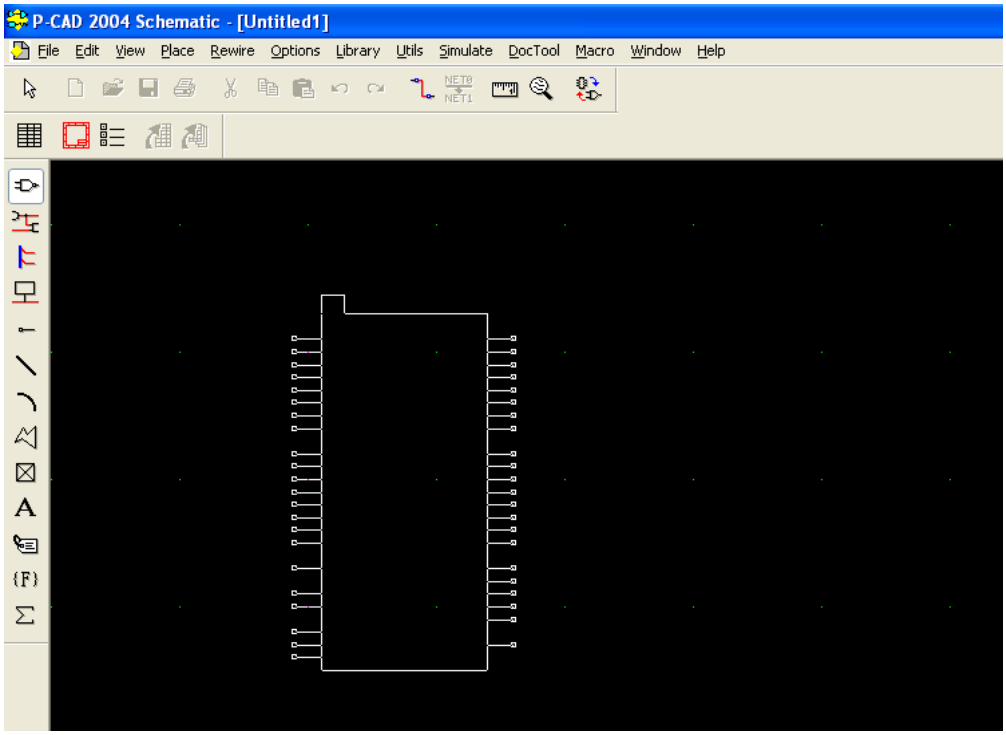


Рисунок 5.9

Компонент установлен. Остальные УГО компонентов расставляются аналогичным образом. Для перемещения элементов схем их нужно выделить курсором (для перехода в режим курсора необходимо нажать на «стрелку» в левом верхнем углу окна или нажать клавишу «S»), затем, не отпуская левую кнопку мыши, переставить элемент в нужное место, после чего отпустить кнопку мыши. Для вращения элементов следует также выделить их, после чего нажатием на клавишу «R» определить положение элемента. Схема примера показана на рисунке 5.10.

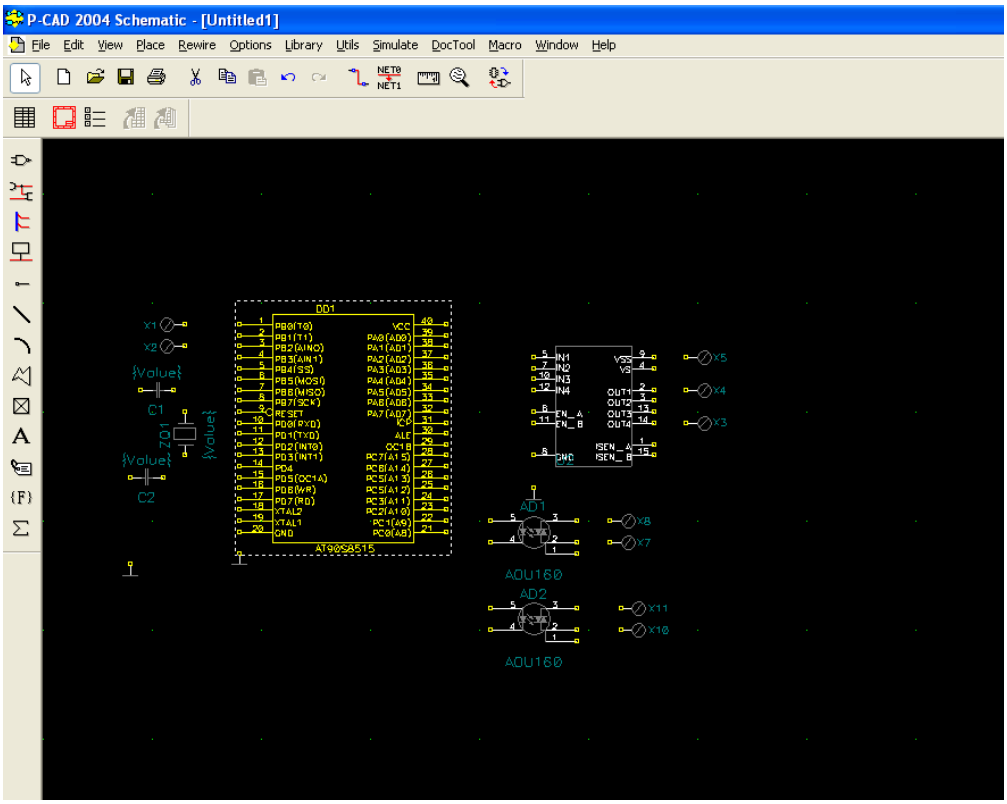


Рисунок 5.10

3. После расстановки элементов схемы необходимо соединить выводы в определенном порядке. Для этого из меню выбирается «Place», затем «Wire» (либо кнопку на панели слева).

После этого курсором мыши наводится на один из выводов компонента (желтый квадратик), нажимается левая кнопка мыши. Затем ставится полученное перекрестие на вывод другого элемента, с которым нужно получить электрическое соединение, и нажимается левая кнопка мыши. Для того чтобы оборвать проводимую линию, необходимо нажать правую кнопку мыши. Появится проводник красного цвета.

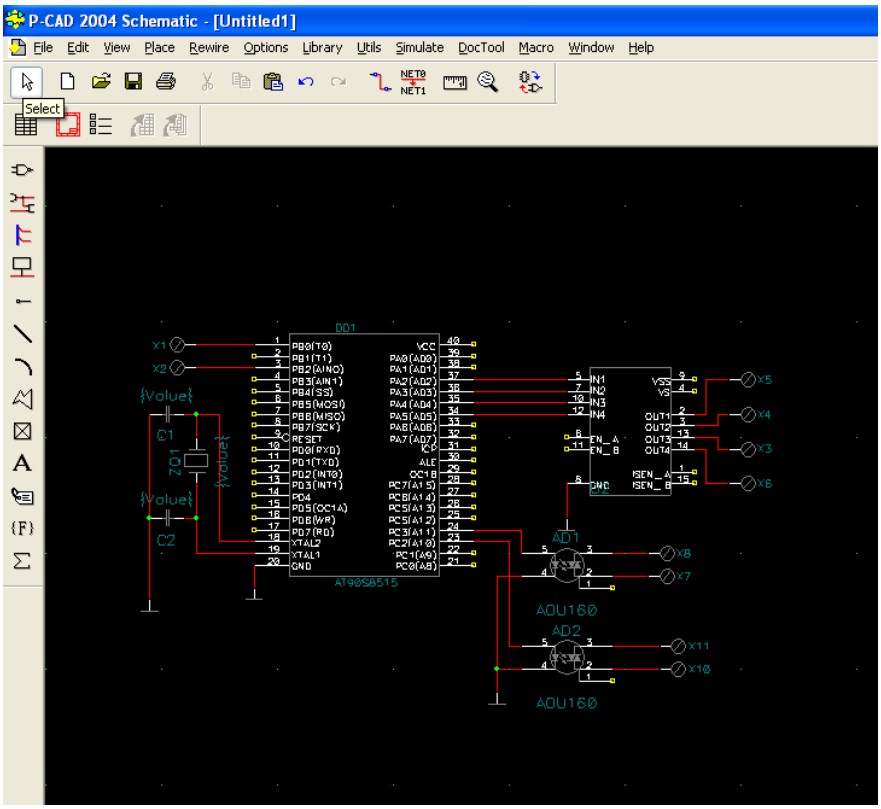


Рисунок 5.11

Для удаления проводника необходимо его выделить курсором и нажать клавишу «Delete».

4. После создания электрической схемы выбирается меню «Utils», затем Generate «Netlist…», в появившемся окне необходимо нажать кнопку «Netlist Filename» и сохраняем файл с расширением «net» в любой директории под произвольным именем (имя необходимо писать латинским шрифтом). Далее нажимается «Сохранить» и затем ОК.

5.2.2 Порядок создания печатной платы

1. Запускается редактор печатных плат P-CAD PCB.

а. Для этого из меню выбирается «Utils» при работе в программе P-CAD 2001 Schemaftic, затем «P-CAD PCB…».

б. Программу можно запустить из меню «ПУСК» вышеуказанным способом.

2. В данной программе необходимо установить библиотеки элементов, которые были использованы в предыдущей программе при создании принципиальной электрической схемы. Для этого необходимо выполнить следующую последовательность: Library – Setup – Add. С помощью стандартного диалогового окна находятся нужные библиотеки (файлы с расширением .lib) и затем нажимается ОК.

3. Из меню «Utils» выбирается, затем «Load Netlist». В появившемся окне необходимо нажать кнопку «Netlist Filename». Находится сохраненный ранее файл с расширением «net», нажимается кнопка «Открыть» и затем «ОК». При этом, если не было допущено ошибок, появляется схема с размещенными на плате корпусами (их изображений, соответствующих реальным типоразмерам) элементов, из которых составлена схема в предыдущей программе.

4. Расставляются элементы (корпусы) таким образом, как они будут расположены на будущей печатной плате. Для этого наводится курсор мыши на корпус и нажимается левая кнопка мыши. Затем, не отпуская ее, передвигается компонент в нужное место. Пример расположения элементов на будущей плате показан на рисунке 5.12.

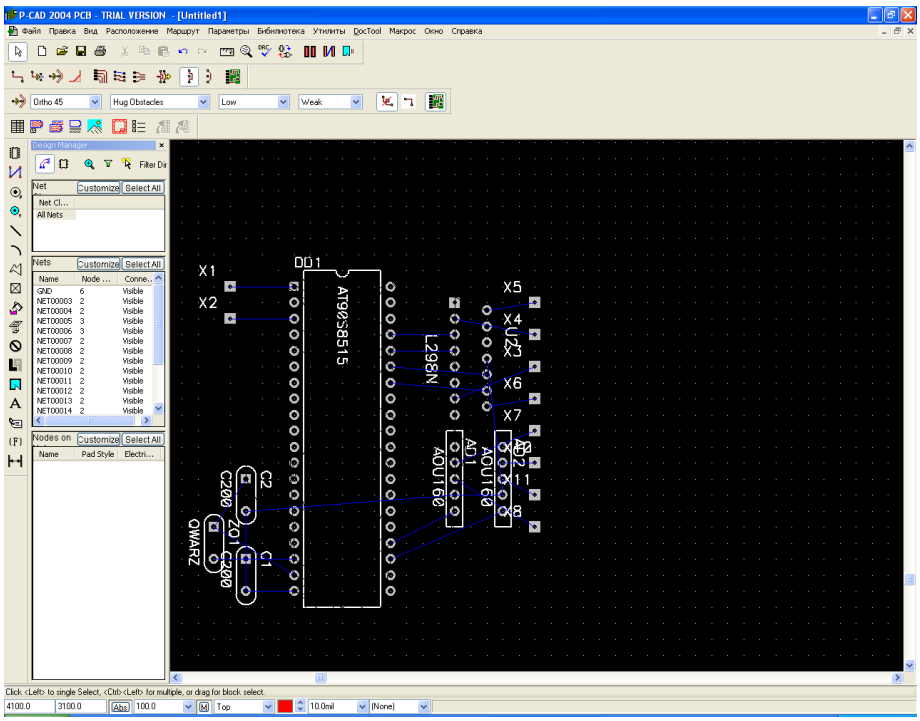


Рисунок 5.12

5. После расстановки элементов выбирается меню «Route», затем «Auto-routers…» (режим автоматической трассировки). В появившемся окне нажимается кнопка «Start». Первоначально программа выдаст предупреждение «Warning 9559» (после сохранения файла трассировки этого предупреждения не будет). Нажимается «Да» и исходный файл сохраняется под любым именем в необходимую директорию.

6. После этого открывается программа трассировки P-CAD 2001 Shape-Based Router (по умолчанию). Здесь необходимо нажать зелёную стрелку на верхней панели. Происходит автоматическая трассировка платы. В этом случае разводится 2-х сторонняя печатная плата. Для создания односторонней платы нужно в программе трассировки Shape-Based Router выбрать меню «Options», затем «Auto-router», в «Router Parameters» в окне слоя «Top» надпись «Auto». Нажимаем на

нее, в выпадающем меню выбирается «Disabled», затем нажимается ОК, и далее на зелёную стрелку на верхней панели. В итоге трассировщик «разводит» одностороннюю плату с активным нижним слоем (обозначается зеленым цветом).

7. После этого выбирается меню File, затем Save and Return. Плата готова.

8. Для того чтобы получить печатный вариант необходимо в меню «File» выбрать «Print…». Появится окно как на рисунке 5.13.

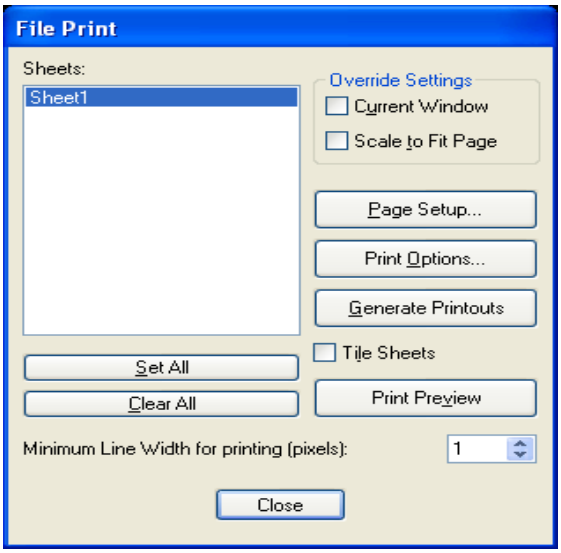


Рисунок 5.13

Затем нажимается кнопка «Setup Page Jobs…», появляется окно установки параметров печати схемы (рисунок 5.14).

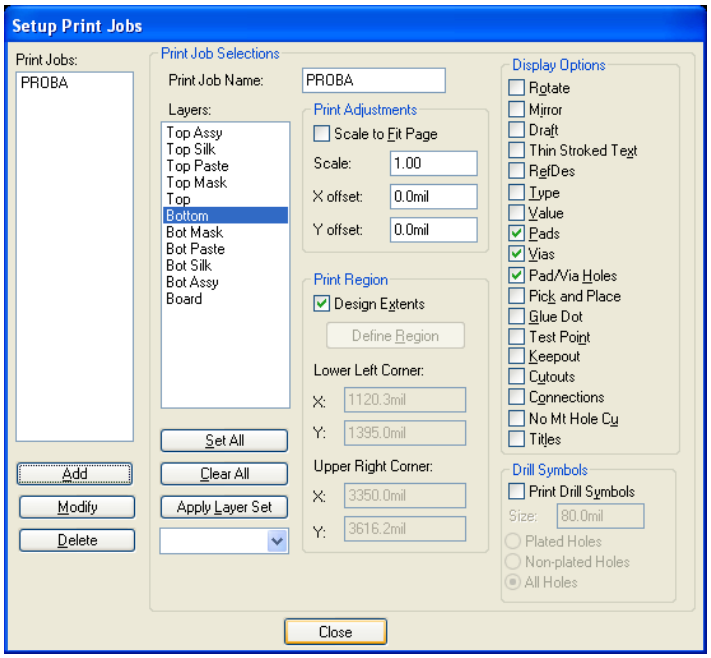


Рисунок 5.14

Далее выбирается слой, для которого следует проводить печать (в данном случае Bottom), устанавливаются «галочки» в «Display Options» как показано на рисунке Pads, Vias, Pad/Via Holes (другие пункты по мере необходимости). Дается произвольное название этому типу печати (верхняя строка), затем нажимаются кнопки «Add» и «Close».

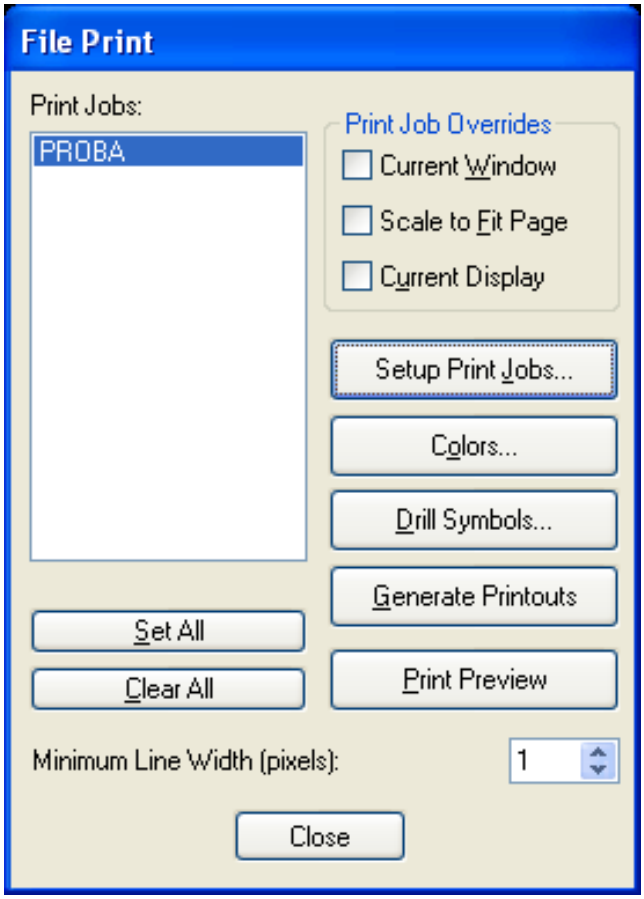


Рисунок 5.15

Далее нажимается кнопка «Generate Printouts» (рисунок 5.15) и распечатывается полученный документ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приступая к работе над этим учебным пособием, хотелось познакомить с основными приемами и методами синтеза дискретных систем автоматического управления, применяемых в системах и устройствах числового программного управления (ЧПУ) электроприводом, как станков, так и различных автоматизированных технологических линий и комплексов. Однако по мере завершения пособия становилось все яснее, что решить полностью поставленную задачу не удастся. Это связано с тем, что автоматика проникла в большинство отраслей научной и производственной деятельности. В связи с этим, элементы дискретной автоматики имеют большое многообразие, а также появляются новые и в большинстве случаев «компьютерные» методы синтеза, которые пока не в полной мере доступны рядовому разработчику САУ, да и прогресс настолько стремителен, что сведения, которыми мы располагали вчера, сегодня начинают устаревать.

Как же быть? Может быть, безнадежно и пытаться писать подобные пособия и, тем более, изучать существующие методы синтеза – все равно за современными достижениями не угонишься? Это не совсем так. Речь идет не о гонке и не о соревновании. В данном учебном пособии приводятся сведения, которые являются основополагающими при любом типе проектирования и синтеза систем автоматического управления и знать эти основы в любом случае необходимо. Изучая и совершенствуя изложенные методы синтеза СУ, вы внесете посильный вклад своей творческой деятельностью при разработке новых методов синтеза систем управления, помогающих ускорить технический прогресс, который ускорит создание общества будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1) Бойт К. Цифровая электроника: М. Техносфера 2007 - 472 с

2) Структурная теория релейных устройств. Под. ред. проф. М. Т. Гаврилова АН СССР 1963 - 271 с.

3) Арменский Е. В., Прокофьев П. А., Ю Фало Г. Б. Автоматизированный электропривод. – М: Высшая школа 1987 - 143 с.

4) Проектирование бесконтактных логических устройств промышленной автоматики. Грейнер Г. Р., Ильященко В. П. и др. –М. Энергия, 1977 - 384 с.

5) Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы. Справочник. С.В. Якубовский, Л. И. Михельсон, В. И. Кулешова и др. Под. ред. Якубовского. М. Радио и связь. 1999 - С.496.

6) Программируемые логические контроллеры. DVP (Руководство к эксплуатации), www.stoikltd.ru.

7) Стальная М. И. Элементы аналоговой и дискретной автоматики систем УСПУ. Уч. Пособие - АлтГТУ Барнаул. 1999 - 82 с.

8) Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. Под общ. ред. Чиликина М. Г., - М. Энергия 1971 - 624 с.

9) Иванова Н. Ю., Романова Е. Б. Проектирование печатных плат в САПР P-CAD-2002. Методическое пособие; Методическое пособие. / СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 118 с.

10) Сучков Д. И. Проектирование печатных плат в САПР P-CAD 4.5, P-CAD 8.5 и ACCEL EDA; / Малип, 1998, 576 с.

11) Уваров А. С. Программа P-CAD. Электронное моделирование; Издательство «Диалог-МИФИ», 2008. - 192 с.

12) Динц К. М., Куприянов А. А. Схемотехника и проектирование печатных плат. P-CAD, 2006. Издательство: Наука и Техника-2009

Мая Ивановна Стальная,
Сергей Юрьевич Еремочкин

СИНТЕЗ ДИСКРЕТНЫХ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Электронное издание

Производитель электронного издания:
ООО «МЦ ЭОР», 656043, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Ползунова, 40

Сайт: http://mceor.ru/
E-mail: einfo@mail.ru

Электронное издательство «Виртуальная литература»

Связаться с издательством: http://stashko.ru/author
Заказать издание: +79230097208

Наши издания на ЛитРес: http://stashko.ru/litres1