

Санкт–Петербургский политехнический
университет Петра Великого

Институт энергетики и транспортных систем
Кафедра «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели»

А.С. ДОНСКОЙ

СИНТЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2019

УДК 62-85(075.32)
ББК 34.4472я723
Д 67

Рецензент:
доктор технических наук, профессор
Балтийского государственного технического университета
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
В.А. Королев

Донской А.С. **Синтез пневматических систем:** Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. – 57 с.

В учебном пособии излагаются методы синтеза одноконтурных и многоконтурных пневматических систем. Рассмотрены примеры построения диаграмм.

Предназначено для студентов и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям и специальностям в области техники и технологии при изучении дисциплины «Теория пневматического привода». Пособие может быть полезно для студентов, обучающихся по другим специальностям.

© Донской А. С. , 2019
© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОПРИВОДАМИ	6
1.1. Синтез одноктактных (комбинационных) систем.....	8
1.2. Способы задания системы управления.....	9
1.3. Реализация в одной пневмосхеме нескольких функций.....	11
1.4. Примеры построения одноктактных систем управления.....	13
2. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ (ЦИКЛОГРАММ).....	17
2.1. Диаграммы движения.....	17
2.1.1. Диаграмма «Перемещение – шаг».....	17
2.1.2. Диаграмма «Перемещение – время».....	18
2.2. Диаграмма управления.....	19
2.3. Функциональная диаграмма	19
2.4. Изображение основных элементов на диаграмме.....	20
2.4.1. Изображение сигналов	20
2.4.2. Изображение входных устройств.....	21
2.5. Диаграмма с линиями сигналов	21
3. УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ОПЕРАЦИЙ.....	24
3.1. Реализация единичного и повторяющегося циклов.....	26
3.2. Синтез многотактных (последовательностных) систем.....	27
4. УСТРАНЕНИЕ РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ СИГНАЛОВ	35
4.1. Метод разбиения на группы	35
4.2. Устранение разнонаправленности сигналов с помощью формирования импульсов	45
Приложение (индивидуальные задания).....	50
Литература.....	57

1. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОПРИВОДАМИ

Входными сигналами в пневмосистемах могут быть сигналы от конечных выключателей, датчиков, органов ручного управления и т.д. Входные сигналы вызывают появление выходных сигналов, которые поступают на следующие элементы и являются для них входными сигналами. В конечном счете, сигналы поступают на пневмораспределители, которые приводят в действие пневматические исполнительные устройства (ИУ).

Обозначения на схемах

На схемах пневмоцилиндры и другие ИУ будем нумеровать по порядку: *A*, *B*, *C*.

В пневмосхемах, не связанных с конкретной технологической задачей, за исходное положение принимают состояние с втянутым штоком.

Команды на перемещение каждого ИУ из положения «0» в положение «1» обозначают буквой, соответствующей буквенному обозначению ИУ со знаком «+» и называют положительной: *A+*, *B+*, *C+*.

Соответственно команда на обратное движение будет называться отрицательной и обозначаться со знаком «-»: *A-*, *B-*, *C-*.

Датчики или путевые выключатели на схеме и соответствующие им сигналы обозначают теми же строчными буквами, что и соответствующие им ИМ. Например, датчик *b* подает сигнал *b*.

Сигналы (датчики) от датчиков, которые распознают исходное, т.е. нулевое положение ИМ, обозначают с индексом «0»: *a*₀, *b*₀, *c*₀.

Сигналы (датчики) от датчиков при противоположном, т.е. положительном положении ИМ, будут обозначаться с индексом «1»: a_1, b_1, c_1 .

Символы путевых выключателей для каждого пневмодвигателя изображают на одной горизонтальной линии. При этом желательно, чтобы вертикальные линии, по которым от выключателей идут выходные сигналы, попадали без изгибов в место своего назначения.

Место фактического положения путевых выключателей на механизме указывают с помощью соответствующих буквенных обозначений $a_1, a_0, b_0, b_1, c_0, c_1$.

При наличии сигнала на входе или выходе любого устройства его состояние характеризуется значением 1, а при отсутствии сигнала – значением 0.

Например, если требуется обеспечить выдвижение поршня, то необходимо задать $A+ = 1, A- = 0$. (рис. 1.1)

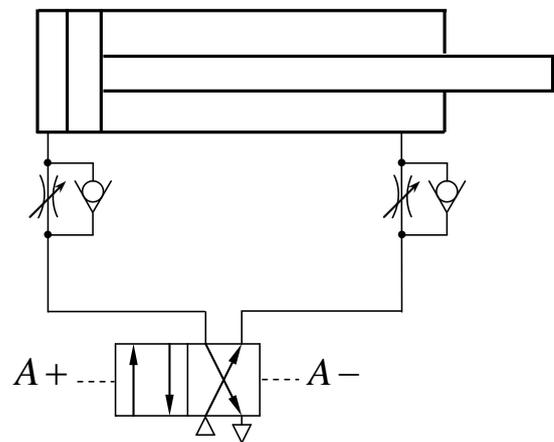


Рис. 1.1. Обозначение команд на распределителе

Процесс построения пневмосистемы называют **логическим или структурным** синтезом, т.к. для реализации заданных логических соотношений между входами и выходами элементов схемы требуется определенная ее структура.

В зависимости от условий работы различают комбинационные (однотактные) и последовательностные (многотактные) системы управления.

1.1. Синтез одноктактных (комбинационных) систем

Одноктактными называются такие системы, у которых комбинация выходных сигналов в любой промежуток времени (в любом такте) однозначно зависит от комбинации сигналов, поступающих на вход в течение этого же промежутка времени (такта) и не зависит от комбинации сигналов, поступивших на вход в предыдущие промежутки времени.

Такие системы называют еще системами без памяти.

Состояния системы

Состояние системы управления – это совокупность значений входных, выходных и промежуточных переменных в некотором интервале времени, в течение которого эти переменные сохраняют неизменные значения.

Различают устойчивое и неустойчивое состояние.

Устойчивым является состояние системы, если остаются неизменными состояния входных, выходных и промежуточных переменных.

Неустойчивое состояние имеет место, если состояние входных переменных изменилось, а состояние выходных и промежуточных переменных им еще не соответствует.

Состояния входных переменных называются соседними, если они отличаются друг от друга значением одной переменной.

1.2. Способы задания системы управления

Для задания комбинационных систем управления широкое распространение получили три способа:

- 1) словесное описание,
- 2) таблицы состояний,
- 3) алгебраические формулы.

Первые два способа всегда можно выразить третьим. Однако словесное описание работы даже для простейших систем достаточно громоздко и неудобно для использования в структурном синтезе. Наиболее широкое применение находят таблицы состояний.

Пример словесного описания системы управления:

«Пневмопривод приводит в действие механизм подачи заготовок. Схема должна предусматривать как автоматический, так и наладочный режимы работы.

Автоматический режим работы пневмопривода должен осуществляться нажатием кнопки управления при условии наличия заготовок.

В наладочном режиме пневмопривод должен срабатывать от кнопки ручного управления».

Обозначим каждое из условий работы синтезируемой пневмосистемы. Пусть

x_1 – сигнал на включение автоматического режима работы пневмопривода. Тогда при отсутствии сигнала можно реализовать наладочный режим, т.е. можем обозначить

$\overline{x_1}$ – сигнал на работу в наладочном режиме.

x_2 – сигнал о наличии деталей;

x_3 – сигнал от кнопки управления;

x_4 – сигнал от кнопки ручного управления.

Запишем условия срабатывания пневмоцилиндра запишем **на языке алгебры логики**:

$$f = x_1 x_2 x_3 + \overline{x_1} x_4.$$

Поскольку на аппаратуре высокого давления используем два входа, преобразуем функцию следующим образом:

$$f = (x_1 x_2) x_3 + \overline{x_1} x_4.$$

Тогда принципиальная пневматическая схема будет иметь следующий вид (рис. 1.2).

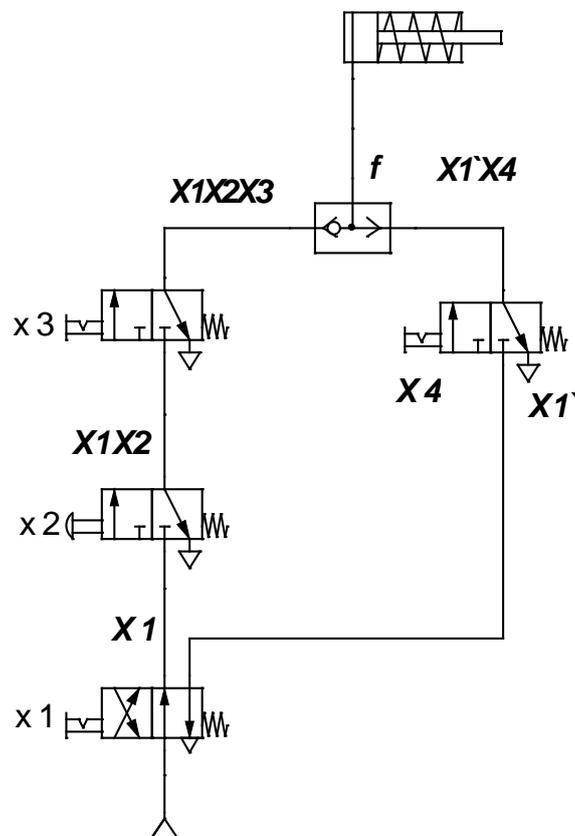


Рис. 1.2. Принципиальная пневматическая схема механизма подачи заготовок

Пример. Уменьшить число логических элементов для реализации выражения

$$f = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3.$$

Для реализации схемы потребуется 5 операторов (пневмоэлементов).

Упростим выражение, используя распределительный закон:

$$f = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3 = x_1(x_2 + x_3) + x_2x_3$$

Число логических операций сократилось до 4. Уменьшится также и число элементов, реализующих эту функцию.

1.3. Реализация в одной пневмосхеме нескольких функций

Пример. Реализовать функции $f_1 = x_1x_2 + x_3$ и $f_2 = \overline{x_1} + \overline{x_2}$.

Для реализации нескольких функций от одних и тех же переменных с целью упрощения пневмосхемы и минимизации числа пневмоэлементов следует выделить совпадающие части функций.

Сравним результаты построения пневмосхемы без выделения совпадающих частей и с выделением совпадающих частей.

Для реализации двух функций без выделения совпадающих частей требуется пять логических элементов. Пневмосхема будет иметь вид (рис.1.3).

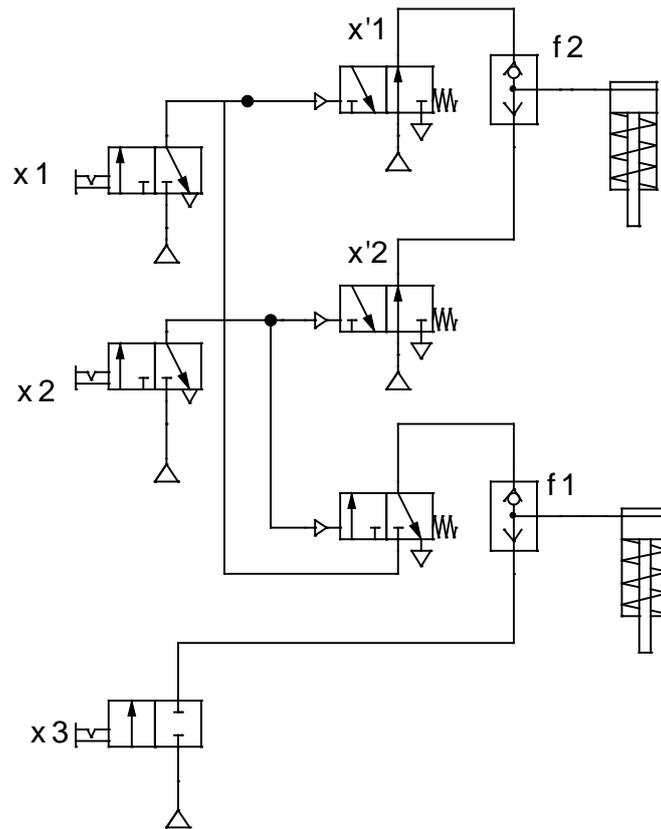


Рис. 1.3. Принципиальная пневматическая схема, реализующая две функции

Однако если воспользоваться законом инвертирования, можем преобразовать функцию f_2 , следующим образом:

$$f_2 = \overline{x_1} + \overline{x_2} = \overline{x_1 x_2}$$

В результате для обеих функций получили совпадающие части $x_1 x_2$. В этом случае пневмосхема будет состоять всего из трех элементов (рис.1.4):

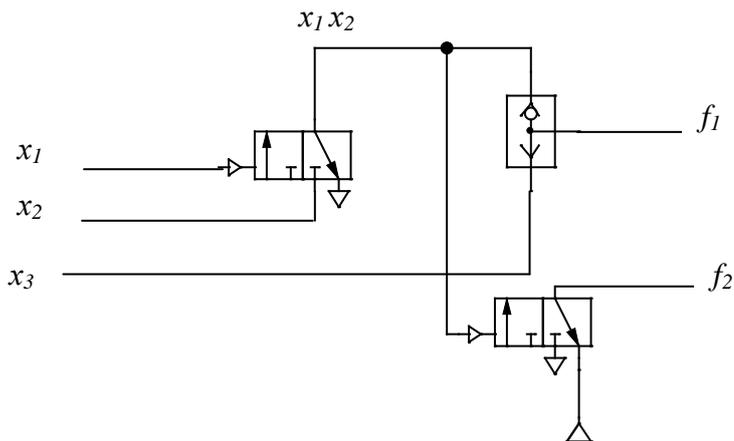


Рис.1.4. Упрощение пневмосхемы, реализующей две функции

1.4. Примеры построения однотактных систем управления

Рассмотрим систему управления одним исполнительным устройством. Для включения специального оборудования необходима совместная работа минимум двух из трех операторов x , y и z , подающих команды на включение, т.е. поршень пневмоцилиндра должен перемещаться вперед при поступлении не менее двух из трех сигналов x , y , z .

Команда на возврат поршня в исходное положение подается от отдельной кнопки h . При этом возврат поршня возможен лишь при снятии сигнала на выдвижение.

Запишем логическую функцию для этого случая. Формально согласно условию задачи для написания функции необходимо рассмотреть все возможные сочетания команд x , y и z :

$$f = xy\bar{z} + x\bar{y}z + \bar{x}yz + xyz.$$

Для реализации функции требуется 14 операторов. Упростим

выражение.

Здравый смысл подсказывает, что поскольку в любом случае достаточно всего двух сигналов, то при написании функции можно и не учитывать отсутствующие сигналы, т.е. \bar{x} , \bar{y} и \bar{z} . Кроме того, для работы не обязательно наличие всех трех сигналов, т.е. можно исключить также и слагаемое xuz . Таким образом, функцию можно записать следующим образом:

$$f = xy + xz + yz.$$

Тот же результат получим, используя законы алгебры логики.

На основании закона повторения запишем исходное уравнение следующим образом:

$$\begin{aligned} f &= (xy\bar{z} + xyz) + (x\bar{y}z + xyz) + (\bar{x}yz + xyz) = \\ &= xy(\bar{z} + z) + xz(\bar{y} + y) + yz(\bar{x} + x). \end{aligned}$$

Имея в виду, что $\bar{z} + z = 1$, $\bar{y} + y = 1$, $\bar{x} + x = 1$, получим

$$f = xy + xz + yz.$$

Для реализации такой функции требуется 5 операторов. Однако и ее можно упростить, используя распределительный закон:

$$f = xy + xz + yz = xy + z(x + y).$$

В этом случае для построения пневмосхемы потребуется всего 4 оператора, т.е. 4 пневматических элемента.

Порядок построения пневмосхемы.

Сигналы x , y и z получим, например, от пневмокнопок.

Построение начинаем с изображения пневмоцилиндра, поэтому пневмокнопки с сигналами x , y и z изобразим в самом конце (рис.1.5).

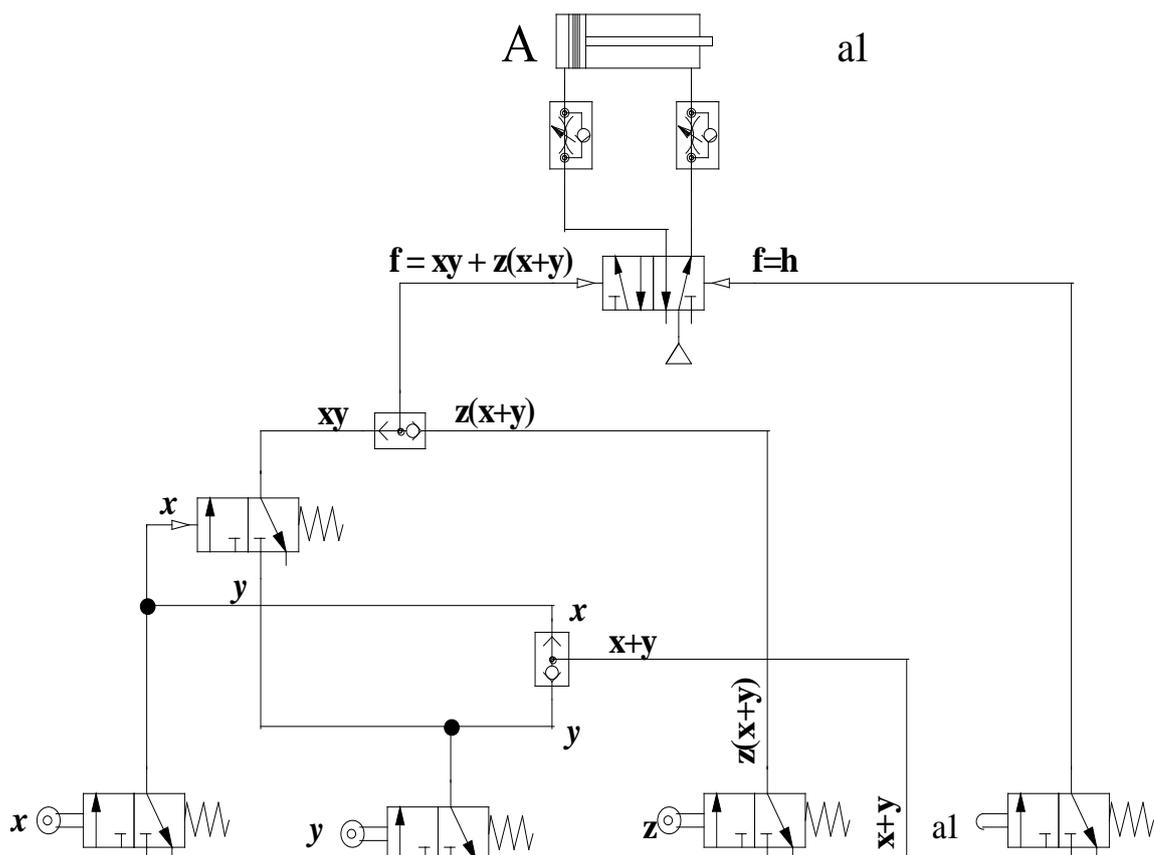


Рис. 1.5. Пневматическая схема системы управления исполнительным устройством от трех переключателей

Порядок построения пневмосхемы следующий.

1. Поскольку поршень должен выдвигаться при появлении сигнала $f = xy + z(x + y)$ и втягиваться по сигналу $\bar{f} = h$ при отсутствии сигнала f , можно использовать бистабильный распределитель с двухсторонним управлением, на входы которого подадим эти два сигнала. Изображаем рядом с пневмоцилиндром распределитель.

2. Сигнал $\bar{f} = h$ на распределитель реализуем с помощью пневмокнопки. Изображаем кнопку.

3. Сигнал на распределитель на выдвигание штока $f = xy + z(x + y)$ представляет собой логическую сумму двух сигналов xy и $z(x + y)$. Для реализации сигнала логического сложения, можно

использовать трехлинейный нормально замкнутый пневмораспределитель или специальный разделительный клапан (клапан ИЛИ), на входы которых должны поступать два сигнала x и $z(x + y)$. Изображаем разделительный клапан ИЛИ и сигналы x и $z(x + y)$ на его входах.

4. Сигнал x на входе элемента ИЛИ представляет собой функцию логического умножения сигналов x и y – функцию И, которую можем получить, как видно из таблицы, с помощью трехлинейного нормально закрытого пневмораспределителя или специального клапана И. Изображаем, например, трехлинейный пневмораспределитель, на который поступают сигналы x и y .

5. Второй сигнал $z(x + y)$ на входе элемента ИЛИ представляет собой также функцию логического умножения сигналов, но других сигналов: z и $(x + y)$. Эту функцию можем получить также с помощью трехлинейного нормально замкнутого пневмораспределителя или специального клапана И. Изображаем аналогичный трехлинейный пневмораспределитель, на который поступают сигналы z и $(x + y)$.

6. Сигнал $(x + y)$ на входе изображенного распределителя представляет собой функцию логического сложения – функцию ИЛИ, которую можно реализовать также с помощью трехлинейного нормально замкнутого пневмораспределителя или специального клапана ИЛИ, на входы которых подаются сигналы x и y . Используем, например, специальный клапан ИЛИ. Сигналы x и y мы уже изобразили на входе элемента ИЛИ (см. п.4), поэтому сигналы x и y на клапан ИЛИ отводим от соответствующих линий с этими сигналами.

5. Теперь изображаем 3 пневмокнопки, от которых поступают сигналы x , y и z .

2. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ (ЦИКЛОГРАММ)

Последовательное срабатывание (выдвижения и втягивания штоков) исполнительных механизмов один за другим записывается следующим образом:

$$A+ B+ A- B-$$

При одновременном срабатывании приводов, например, *A* и *B*, запись будет иметь вид:

$$A+ A- B- \\ B+$$

2.1. Диаграммы движения

К диаграммам движения относятся диаграмма «Перемещение – шаг» и диаграмма «Перемещение – время»

2.1.1. Диаграмма «Перемещение – шаг»

Диаграмма «Перемещение – шаг» изображает последовательность работы исполнительных устройств. На ней изображают зависимость пути от шага.

Если пневмосистема состоит из нескольких исполнительных устройств, то последовательность работы каждого устройства показывают одно под другим с учетом их последовательности работы. Изобразим диаграмму для следующей последовательности работы двух пневмоцилиндров: $A+B+A-B-$ (рис. 2.1).

На диаграмме показано последовательность движения двух пневмоцилиндров 1 и 2. На шаге 1 выдвигается шток цилиндра *A*, на шаге 2 – шток цилиндра *B*.

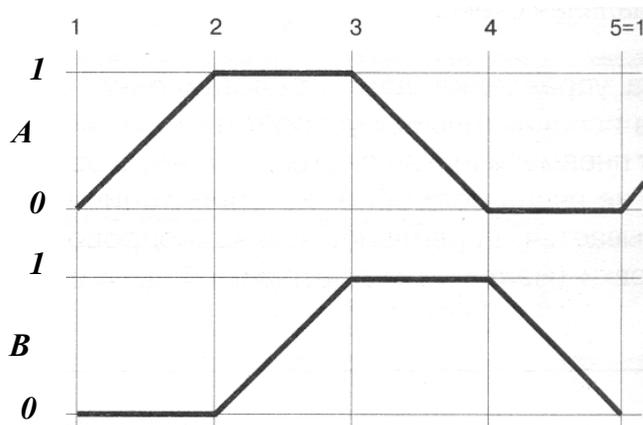


Рис.2.1. Диаграмма «Перемещение-шаг»

На шаге 3 шток цилиндра *A* втягивается, на шаге 4 втягивается шток цилиндра *B*.

2.1.2. Диаграмма «Перемещение – время»

На диаграмме «Перемещение – время» изображается зависимость перемещения от времени (рис.2.2).



Рис.2.2. Диаграмма «Перемещение-время»

2.2. Диаграмма управления

На диаграмме управления показывают зависимость состояний информационных (датчиков положения) и управляющих элементов от шага. Время их переключения на диаграмме не учитывается (рис. 2.3).

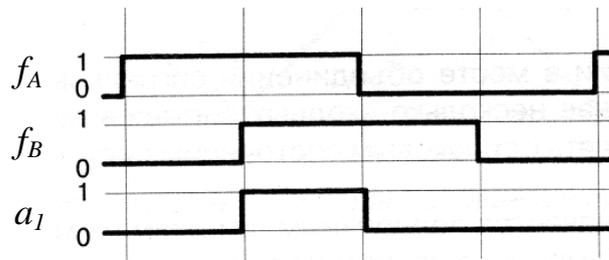


Рис.2.3.Диаграмма управления

2.3. Функциональная диаграмма

Функциональная диаграмма представляет собой сочетание диаграммы перемещения и диаграммы управления (рис. 2.4).

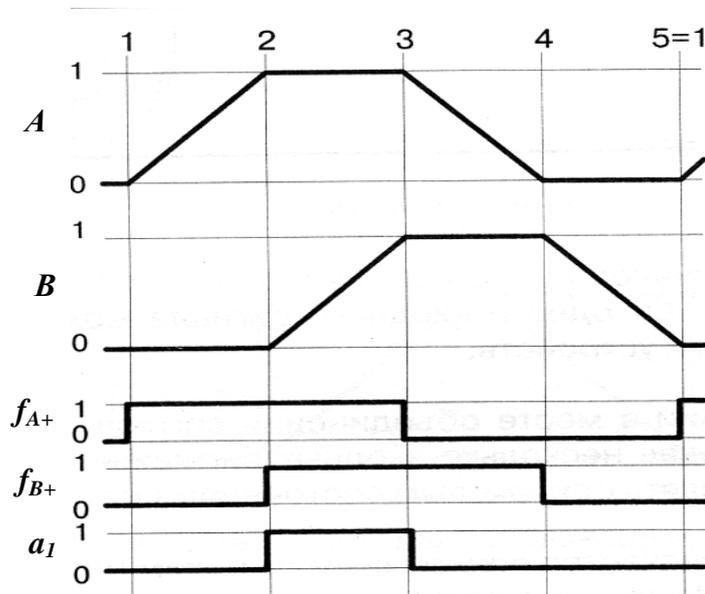


Рис. 2.4. Функциональная диаграмма

Линии на диаграмме называются функциональными линиями.

2.4. Изображение основных элементов на диаграмме

2.4.1. Изображение сигналов

На функциональной диаграмме могут изображаться линии сигналов (рис.2.5).

1. Линии сигналов изображаются прямой или ломаной линией со стрелкой. Стрелки показывают направление действия сигнала.

Линии начинаются в точках изображения информационных или управляющих элементов и заканчиваются стрелкой в том месте диаграммы, в котором от действия этого сигнала должно произойти изменение состояния пневмосхемы.



Рис. 2.5. Линии сигналов

2. Если от одного сигнала изменяется состояние нескольких устройств, то показывают разветвление сигналов, которое обозначается на месте разветвления точкой.

3. Если несколько сигналов приводят к одному и тому же изменению состояния (функция ИЛИ), то в месте объединения сигнальных линий изображается точка.

4. Если изменение состояния системы происходит при одновременном действии двух сигналов (функция И), в этом случае на месте пересечения линий сигналов обозначается поперечным штрихом.

2.4.2. Изображение входных устройств

На рис. 2.6 показано графическое изображение входных устройств.

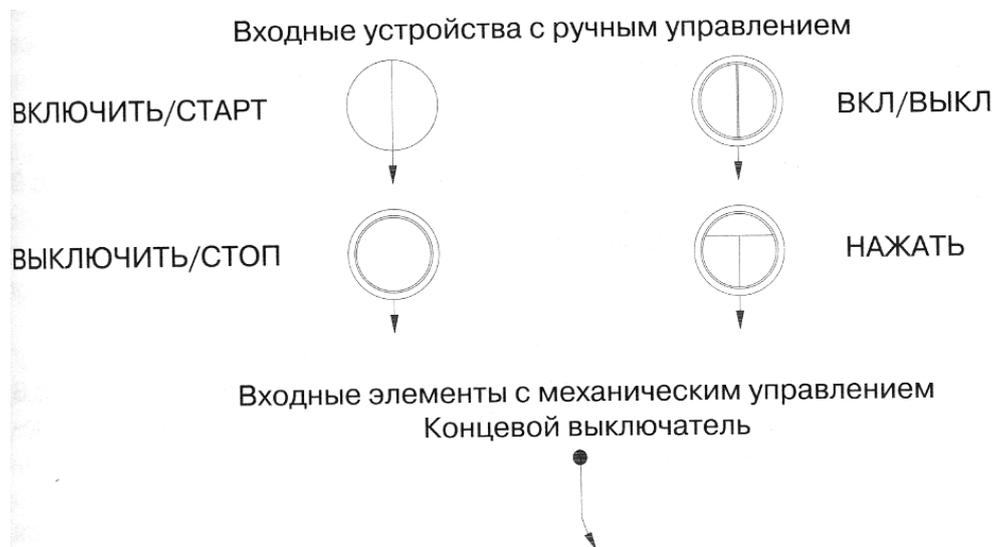


Рис. 2.6. Графическое изображение входных устройств

2.5. Диаграмма с линиями сигналов

В качестве примера изобразим диаграмму работы механизма перемещения деталей из магазина на лоток с помощью двух цилиндров (рис. 2.7).

При нажатии кнопки шток первого цилиндра выталкивает деталь из магазина в зону действия второго цилиндра.

После окончания движения штока первого цилиндра выдвигается шток второго цилиндра и сталкивает деталь в лоток, по которому она скользит в коробку.

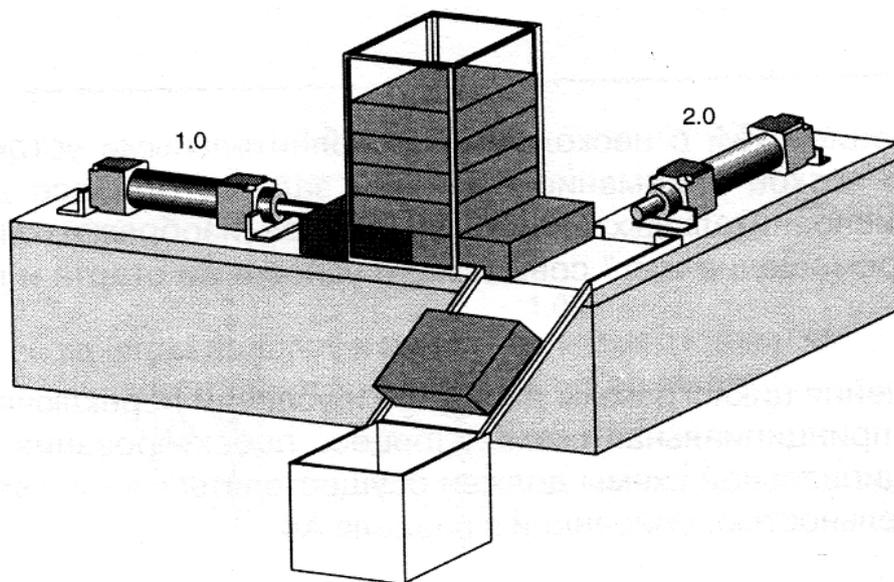


Рис. 2.7. Механизм перемещения деталей

Затем последовательно второй и первый штоки втягиваются.

Схема работает по замкнутому циклу.

Для обеспечения координации работы между цилиндрами в начале и на конце хода каждого из них установлены конечные переключатели, по сигналу от которых начинается очередной такт.

В соответствии со словесным описанием запишем последовательность работы пневмоцилиндров:

$$A+B+ B- A-$$

Срабатывание приводов происходит по сигналам от конечных выключателей a_0, a_1, b_0, b_1 .

Строим сначала диаграмму совместной работы пневмоприводов. Работа начинается с нажатия пусковой кнопки. Выбираем кнопку ВКЛ–ВЫКЛ.

Изображаем с левой стороны вверху.

Затем находим шаги, в которых формируются сигналы от конечных выключателей, и показываем их точками.

Далее с помощью сигнальных линий показываем, куда поступают сигналы от конечных выключателей.

Поскольку цикл непрерывный, то последний сигнал a_0 подаем в начало цикла.

Объединив его функцией И (наклонный штрих) с пусковой кнопкой.

Окончательно диаграмма работы устройства будет иметь вид, представленный на рис. 2.8.

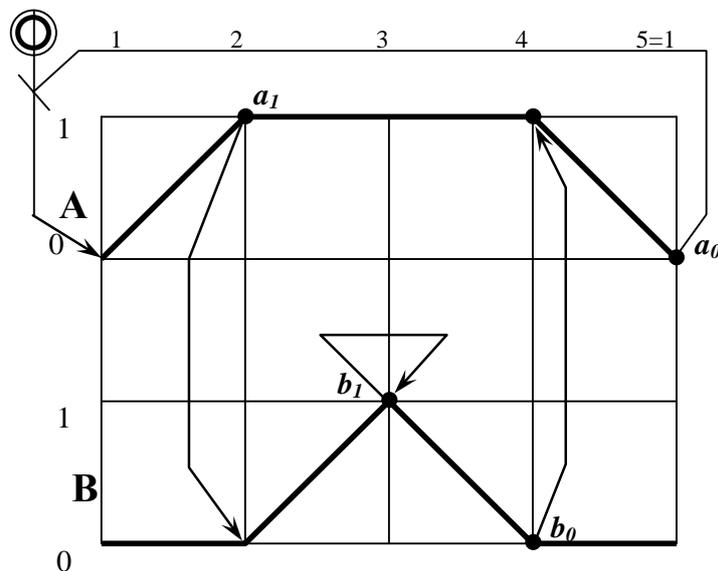


Рис. 2.8. Диаграмма работы механизма перемещения деталей

3. УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ОПЕРАЦИЙ

Рассмотрим пример построения пневмосхемы механизма перемещения деталей из магазина на лоток с помощью двух цилиндров для случая, когда два цилиндра последовательно выдвигаются, а затем втягиваются.

Последовательность команд записывается следующим образом:

$$A+, B+, A-, B-.$$

Дополним эти команды сигналами, от которых появляется каждая команда.

Допустим, сигналы на выдвигание и втягивание поступают от распределителей с роликовыми рычагами (путевых выключателей), установленных на концах хода пневмоцилиндров.

Итак, после первой команды $A+$ пневмоцилиндр выдвигается.

Сигналом к началу выдвигания пневмоцилиндра B будет сигнал « a_1 » от путевого выключателя пневмоцилиндра A .

Затем, после выдвигания цилиндра B , сигналом на втягивание цилиндра A будет сигнал « b_1 » от путевого выключателя пневмоцилиндра B . И так далее.

В конечном счете, можем записать для рассматриваемого режима работы двух цилиндров следующее:

$$A+ \rightarrow a_1 \rightarrow B+ \rightarrow b_1 \rightarrow A- \rightarrow a_0 \rightarrow B- \rightarrow b_0$$

Для включения и выключения последовательности операций нужен дополнительный распределитель с ручным управлением «пуск/остановка», который подает сигнал s .

Команда $A+$ должна появляться по сигналу s при наличии сигнала b_0 . Поэтому распределитель с ручным управлением «пуск/остановка» следует включить последовательно в цепочку после сигнала b_0 перед первой командой $A+$.

Для того чтобы последовательность движений двух пневмоцилиндров проходила по циклу, пусковой распределитель (стартовая кнопка) должен оставаться включенным.

Если его выключить в процессе выполнения цикла, то последовательность оставшихся движений будет выполнена до конца, и цикл завершится после поступления последнего сигнала b_0 , т.е. после возврата пневмоцилиндров в исходное положение.

Однако пройти через стартовую кнопку (обозначаемую кодом « s ») он не сможет.

Для выполнения команды $A+$ необходимы оба сигнала одновременно: b_0 и пусковой сигнал s . Таким образом для выполнения команды $A+$ необходима конъюнкция этих сигналов, т.е. сигнал I : $b_0 s$.

Циклограмма будет следующий иметь вид (рис. 3.1).

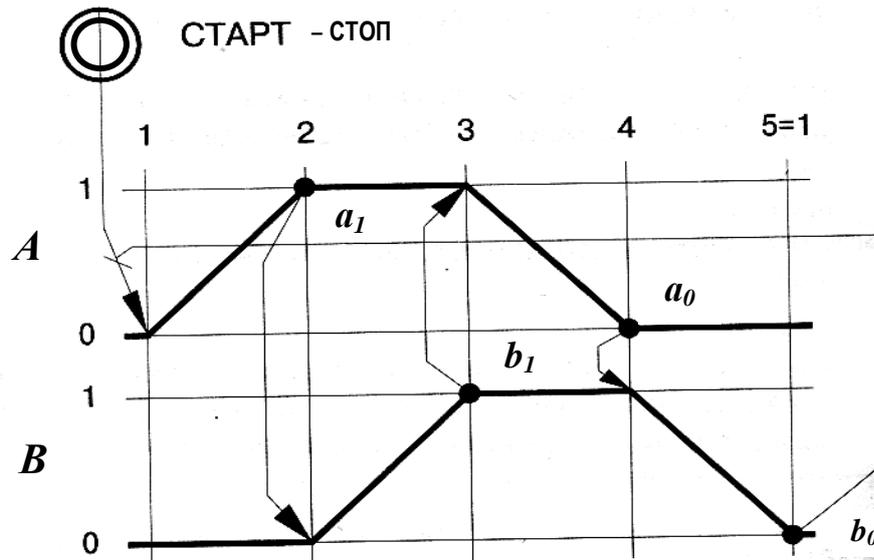


Рис.3.1. Циклограмма механизма перемещения деталей из магазина на лоток

3.1. Реализация единичного и повторяющегося циклов

В зависимости от типа стартовой кнопки получим тот или иной режим работы схемы.

Если кнопка представляет собой моностабильный распределитель, то при нажатии ее и отпускании будет отработан только один цикл.

При использовании бистабильного распределителя после его включения цикл будет повторяться непрерывно до тех пор, пока распределитель не будет выключен. При этом, схема всегда отработает цикл до конца, независимо от того, в какой момент будет выключен пусковой распределитель.

На схемах путевые выключатели, обозначенные нулевым индексом, должны быть изображены всегда в рабочем положении.

Запишем логические функции, по которым строим пневмосхему (рис. 3.2.):

$$A+ = Sb_0, \quad A- = b_1,$$

$$B+ = a_1, \quad B- = a_0.$$

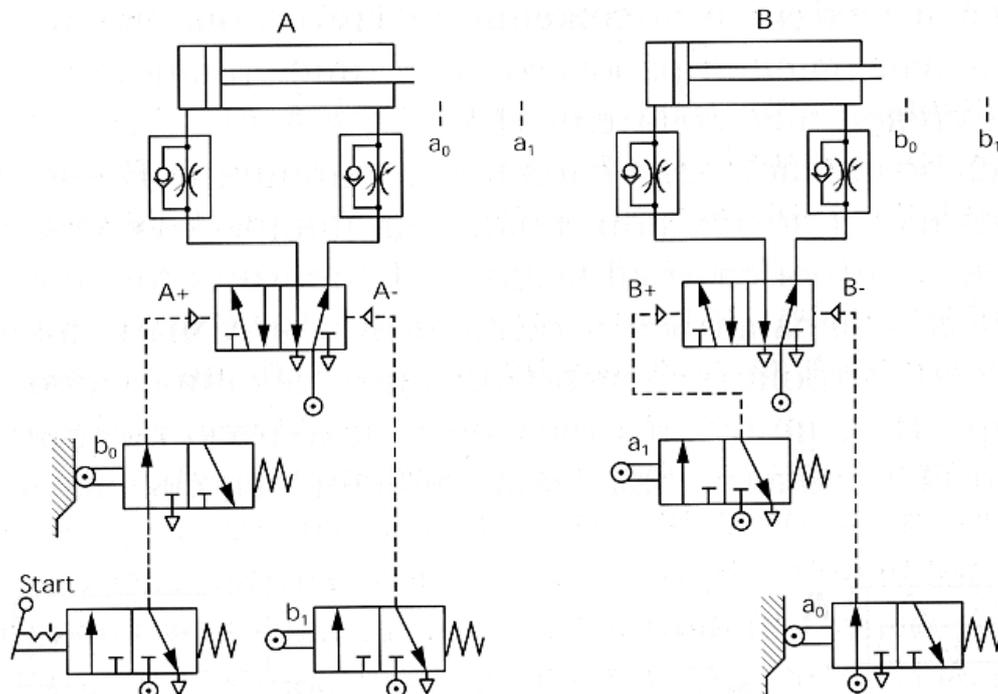


Рис. 3.2. Пневмосхема для последовательности команд $A+$, $B+$, $A-$, $B-$

3.2. Синтез многотактных (последовательных) систем

В некоторых схемах возникает ситуация, когда на оба управляющих входа пневмораспределителя с двусторонним управлением поступают одновременно два сигнала. Это явление называется совпадением или пересечением сигналов или разнонаправленностью сигналов. Оно возникает в многотактных системах.

Многотактные системы, это системы, у которых комбинация выходных сигналов определяется не только состоянием входов в данный момент времени, но зависит также от значений входных сигналов в предыдущих тактах.

Для реализации многотактных систем управления наряду с логическими элементами вводятся элементы памяти или элементы обратной свя-

зи.

В качестве памяти в пневмосхемах могут использоваться распределители с двусторонним управлением (пневматическим или пневмомеханическим).

Для проектирования сложных последовательностных систем управления применяют теория конечных автоматов.

Мы рассмотрим упрощенные методы для синтеза относительно простых систем управления, какими являются многие пневматические системы управления

Для устранения пересечения сигналов используют различные методы:

- использование в качестве конечных выключателей распределители с ломающимся рычагом,
- реле времени,
- триггеры (переключающие распределители) или шины.

Перед началом синтеза пневмосхемы необходимо убедиться, что система является многотактной, так как формальное составление пневмосхемы с помощью уравнений алгебры логики не позволит получить правильное решение.

В качестве примера рассмотрим работу манипулятора для укладки листов материала в стапель (рис. 3.3).

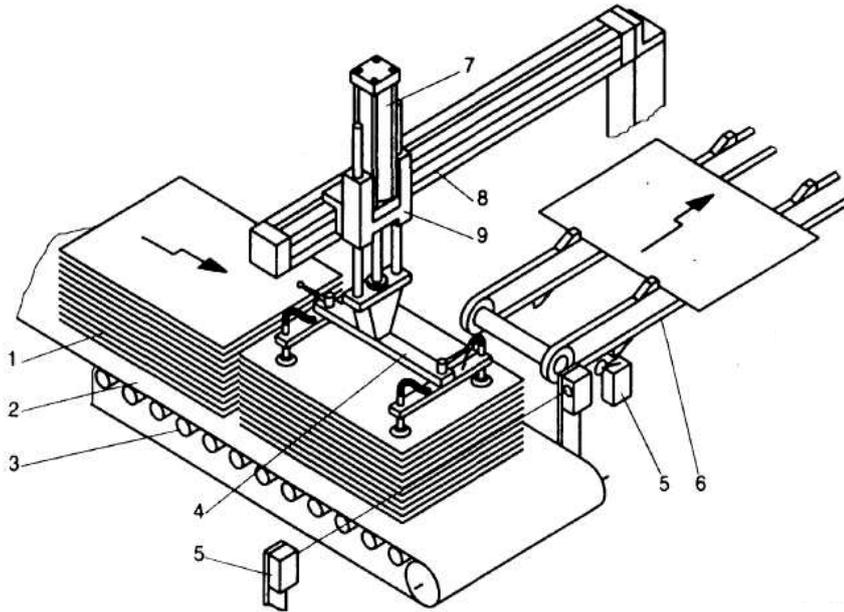


Рис. 3.3. Манипулятор для укладки листов материала в штапель

Манипулятор включает два исполнительных устройства *A* и *B*, последовательность работы которых имеет вид: *A+*, *B+*, *B-*, *A-*.

Является ли синтезируемая пневмосхема многотактной, можно выяснить несколькими способами.

1 СПОСОБ – применение циклограммы и таблицы состояний датчиков положения.

С помощью таблицы состояний можно показать, что при одинаковых состояниях входов (сигналов от конечных выключателей), выходные сигналы (команды на пневмораспределители) отличаются.

Построим функциональную диаграмму.

За исходное состояние системы принимаем втянутое положение штоков цилиндров *A* и *B*.

Между тактами движения в промежуточных тактах изменяется состояние системы управления при срабатывании датчиков положения

ния, и формируется сигнал управления на выполнение следующего такта движения.

Изобразим эти состояния как самостоятельные такты (рис. 3.4).

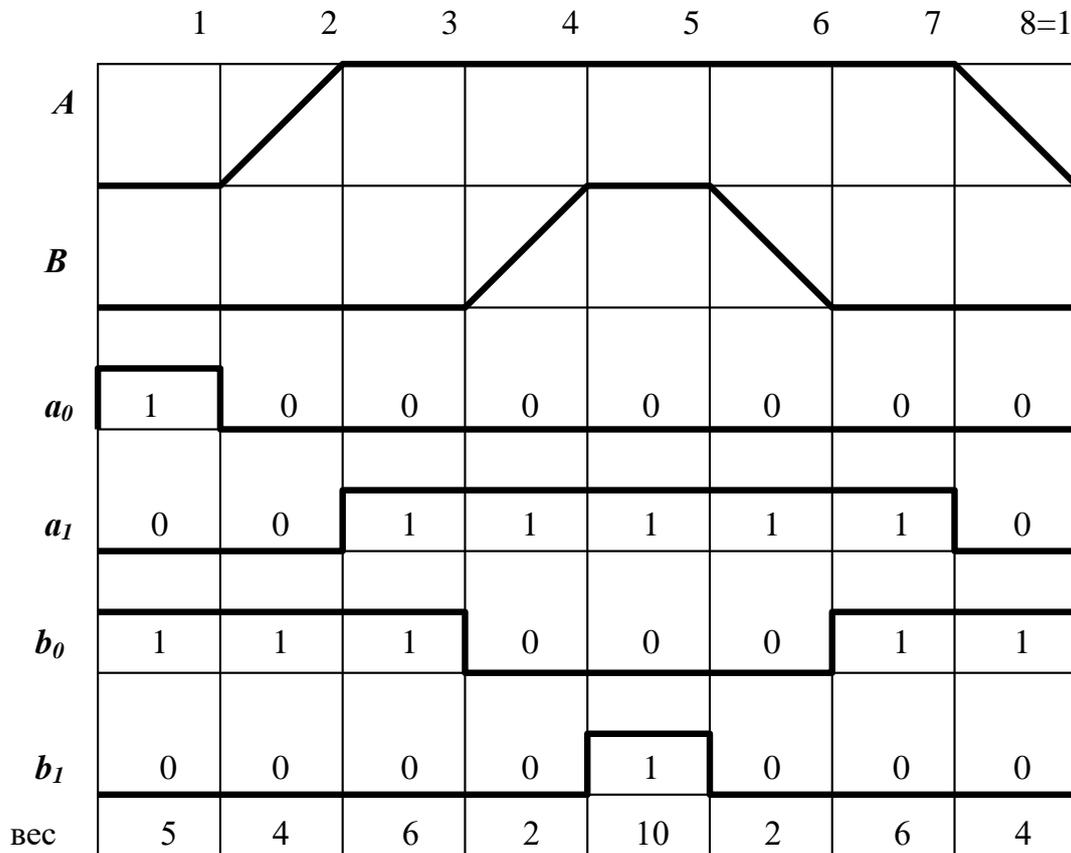


Рис. 3.4. Функциональная диаграмма и таблица включений приводов манипулятора

Включенное положение датчика принимаем за «1».

Выключенное положение датчика принимаем за «0».

В тактах движения датчики соответствующего *ИУ* находятся в выключенном положении. Такие такты называются **неустойчивыми**.

Для синтеза системы управления запишем состояния датчиков в двоичном коде. В первом такте датчики, контролирующие начальное (исходное) положение обоих *ИУ* включены ($a_0 = 1$ и $b_{20} = 1$), датчики окончания движения выключены ($a_1 = 0$ и $b_1 = 0$).

Для упрощения сравнения состояний запишем состояния в де-

сятичном коде.

Пример перевода числа 1010 из двоичной системы в десятичную: $1010_2 = 1*2^3 + 0*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 = 8+0+2+0 = 10_{10}$, т.е.

Считаем, что значения a_0 соответствуют первому разряду в двоичном коде, a_1 – второму разряду, b_0 – третьему, b_1 – четвертому разряду.

Тогда для первого столбца состояние системы будет описываться следующим образом $b_1 b_0 a_1 a_0 = 0101 = b_1*2^3 + b_0*2^2 + a_1*2^1 + a_0*2^0 = 0*2^3 + 1*2^2 + 0*2^1 + 1*2^0 = 5$.

Записываем величину состояния в соответствующую строку.

Аналогично получим веса состояний и в остальных тактах.

Благодаря десятичному коду легко определить, есть ли совпадающие такты.

Из анализа таблицы состояний видим, что совпадают 3 и 7 такты. Имеют также одинаковые состояния и неустойчивые такты – 2 и 8, 4 и 6.

В каждом из совпадающих тактов формируются разные сигналы.

Так, например, в 3 такте формируется сигнал на выдвижение штока в исполнительном устройстве **B**, а при такой же комбинации сигналов в 7 такте должен формироваться сигнал на втягивание штока в исполнительном устройстве **A**. Такие условия являются **не-реализуемыми**.

Схему можно реализовать лишь путем введения дополнительных сигналов от элементов обратной связи, позволяющих изменить повторяющиеся такты.

2 СПОСОБ – применение диаграммы с сигнальными линиями

Чтобы подтвердить, что рассматриваемая диаграмма соответствует многотактной системе, необходимо убедиться, что существуют шаги, в которых возникают разнонаправленные команды.

Из анализа диаграммы (рис. 3.5) следует, что в исходном состоянии, т.е. на 1 шаге, когда штоки обоих пневмоцилиндров втянуты существуют два разнонаправленных сигнала a_0 и b_0 , которые поступают одновременно на противоположные управляющие входы импульсного (бистабильного) распределителя пневмоцилиндра A : сигнал a_0 формирует команду на выдвижение штока пневмоцилиндра, а сигнал b_0 , который появился на шаг раньше, поддерживает в это же время команду на его втягивание.

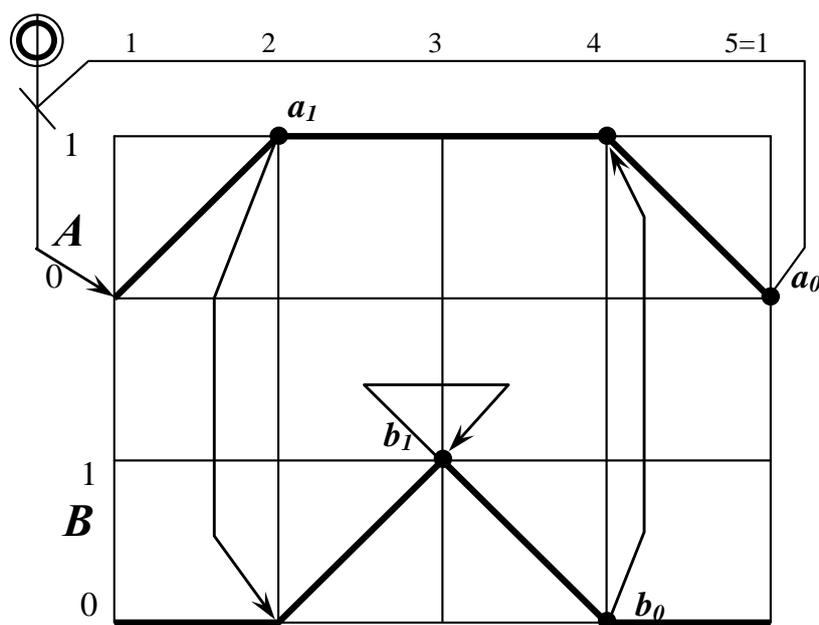


Рис. 3.5. Диаграмма с сигнальными линиями

В положении, когда штоки обоих пневмоцилиндров выдвинуты (шаг 3), на распределитель пневмоцилиндра B также поступают два разнонаправленных сигнала a_1 и b_1 . Сигнал b_1 формирует команду на

втягивание штока пневмоцилиндра B , тогда как сигнал a_1 , появившийся на 2 шаге, поддерживает команду на выдвижение штока пневмоцилиндра B .

3 СПОСОБ – запись последовательности работы приводов

Записывая последовательность работы приводов, можно также убедиться, является ли синтезируемая пневмосхема многотактной, доказав наличие разнонаправленных команд.

Запишем последовательность работы приводов:

$$A+, B+, B-, A-$$

Пользуясь принятыми обозначениями сигналов и команд, для данного режима работы двух цилиндров можем записать следующую цепочку:

$$A+ \rightarrow a_1 \rightarrow B+ \rightarrow b_1 \rightarrow B- \rightarrow b_0 \rightarrow A- \rightarrow a_0$$

Видим, что команды $A+$ и $A-$ (выдвижение и втягивание штока) должны выполняться соответственно сигналами a_0 и b_0 .

Но эти сигналы действуют в исходном положении одновременно на разные управляющие входы распределителя пневмоцилиндра A , т.е. являются разнонаправленными.

Аналогично можно убедиться, что команды $B+$ и $B-$ должны в определенный момент времени выполняться одновременно сигналами a_1 и b_1 , поступающими на разные управляющие входы распределителя цилиндра B .

Формальный же подход к синтезу пневмосхем многотактных

систем лишь с применением уравнений алгебры логики (без использования дополнительных элементов памяти) дает неверный результат. В этом случае схема получается неработоспособной. Действительно, применяя уравнения алгебры логики, могли бы записать:

$$A+ = Sa_0, A- = b_0, B+ = a_1, B- = b_1$$

В результате формально получим следующую пневмосхему (рис. 3.6), которая, как нетрудно убедиться, является неработоспособной!

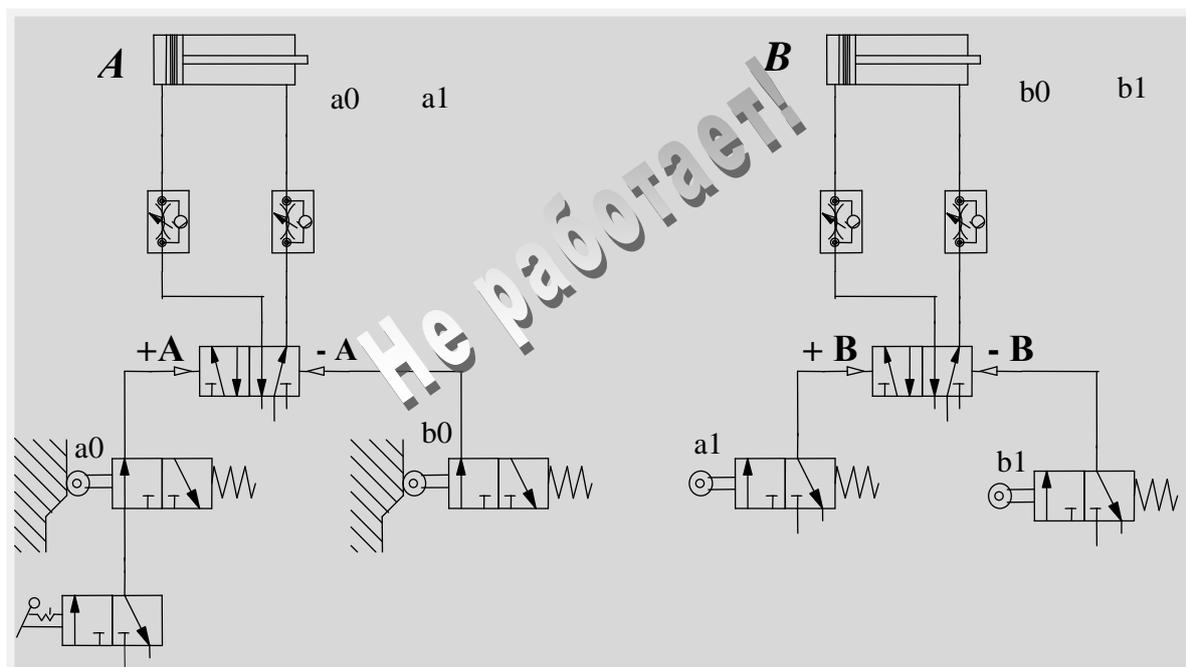


Рис. 3.6. Принципиальная пневматическая схема с пересечением (совпадением) сигналов

Таким образом, для последовательности $A+ B+ B- A-$ в определенные моменты времени возникают разнонаправленные сигналы.

Для синтеза многотактных систем, как показано ранее, используются различные методы.

4. УСТРАНЕНИЕ РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ СИГНАЛОВ

4.1. Метод разбиения на группы

Чтобы устранить разнонаправленные сигналы, т.е. обеспечить наличие сигнала только с одной стороны распределителя, необходимо при появлении одного сигнала убирать противоположный сигнал.

Это можно сделать, например, отключая питание (давление) от источника сигнала (от конечных выключателей, пневмокнопок и других пневмодатчиков).

Это достигается с помощью дополнительного пневмораспределителя – селектора (триггера), который будет подавать питание на эти элементы только тогда, когда их сигналы необходимы для работы пневмосхемы.

Для упрощения схемы необходимо элементы объединить в группы, которые можно запитывать от одной линии (шины).

Суть метода разбиения на группы.

Рабочий цикл разделяется на две или более групп.

Рассматривая команды слева направо, разбиваем эти команды на группы, исходя из условия, что в каждой группе допускается только одна команда для любого цилиндра со знаком либо +, либо –, например:

Так, например, разделение на группы, для цикла «**A+**, **B+**, **B-**, **A-**», выполняется следующим образом.

A+ , B+	B- , A-
группа I	группа II

Для большей наглядности можно записать команды с учетом конечных выключателей в каждой группе. Для ранее рассмотренной циклограммы получим

$$A+ \rightarrow a_1 \rightarrow B+ \rightarrow b_1 \rightarrow B- \rightarrow b_0 \rightarrow A- \rightarrow a_0$$

Разделив на группы, получим:

$$\begin{array}{cc} |A+ \rightarrow a_1 \rightarrow B+ \rightarrow b_1| & |B- \rightarrow b_0 \rightarrow A- \rightarrow a_0| \\ \text{1 группа} & \text{2 группа} \end{array}$$

Следовательно, в 1 группу у нас попадают выключатели a_1 и b_1 , которые запитываем от шины $S1$. Во 2 группу попадают a_0 и b_0 , запитываемые от шины $S2$. (рис. 4.1).

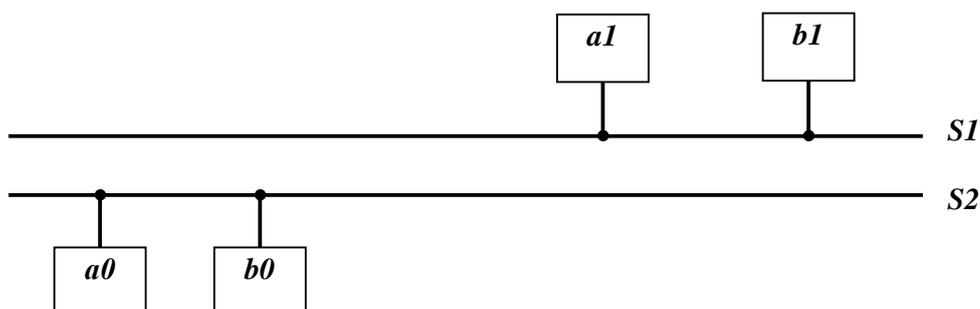


Рис. 4.1. Подключение выключателей к шинам

Группа I, запитываемая от шины $S1$, должна быть обесточена после выполнения последней команды $B+$ (после выдвижения пневмоцилиндра B). Следовательно, шина $S1$ должна отключаться от питания по сигналу от последнего в 1 группе конечного выключателя $b1$.

При этом, шина $S1$, а, следовательно, все элементы первой группы должны соединяться с атмосферным давлением, а группа II (шина $S2$) должна подключаться к магистральному давлению.

Аналогично группа II (шина $S2$) обесточивается после выполнения команды $A-$, т.е. после втягивания пневмоцилиндра A по сигналу от последнего во 2 группе конечного выключателя $a0$, подавая вновь давление питания на 1 шину.

Роль переключателя (селектора) выполняет бистабильный 5-линейный пневмораспределитель (рис. 4.2).

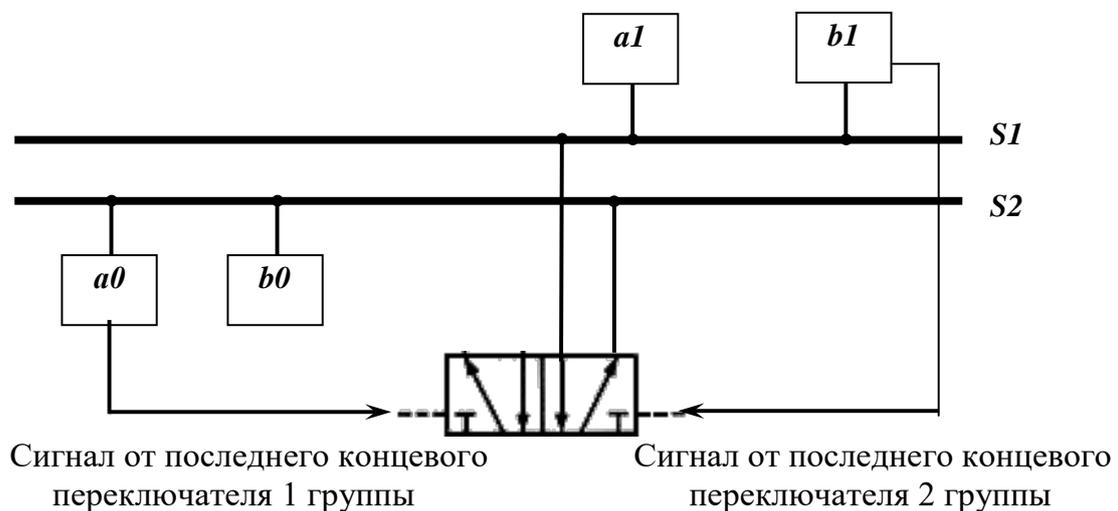


Рис. 4.2. Подключение переключателя – бистабильного 5-линейного пневмораспределителя

Работа устройства с такой циклограммой начинается по сигналу $a0$ (см. рис. 3.5). При этом формируется команда $A+$, которая переключает первый управляющий пневмораспределитель в 1 группе (если их несколько). Но поскольку сигнал $a0$ включает шину $S1$, то сигнал (команду) $A+$ на первый распределитель в 1 группе можно подать не от самого датчика $a0$, а от шины $S1$ (рис.4.3).

Аналогично сигнал $b1$ на начало работы во 2 группе формирует команду $B-$. Но по сигналу $b1$ включается шина $S2$, поэтому сигнал (команду) $B-$ подаем не от самого датчика $b1$, а от шины $S2$, которая включается сигналом этого датчика.

Таким образом, получаем следующую картину

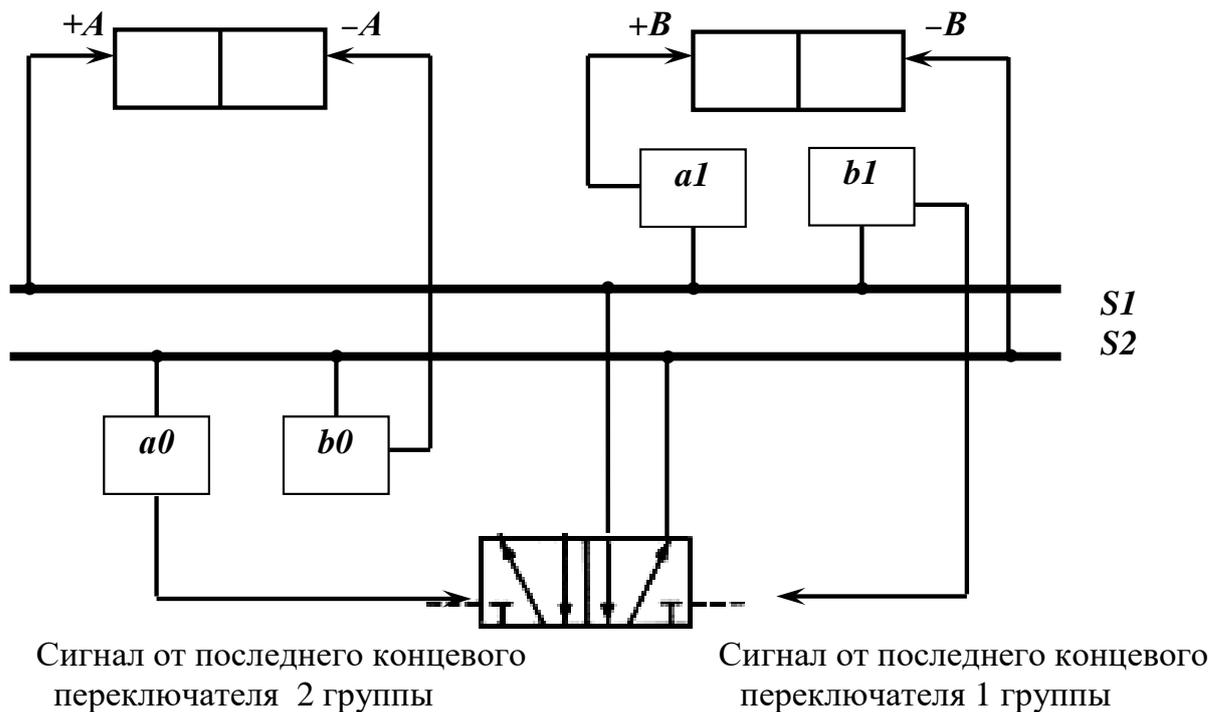


Рис. 4.3. Построение пневмосхемы

Итак, правила построения пневмосхемы методом разбиения на группы отразим в следующей блок-схеме (рис. 4.4).

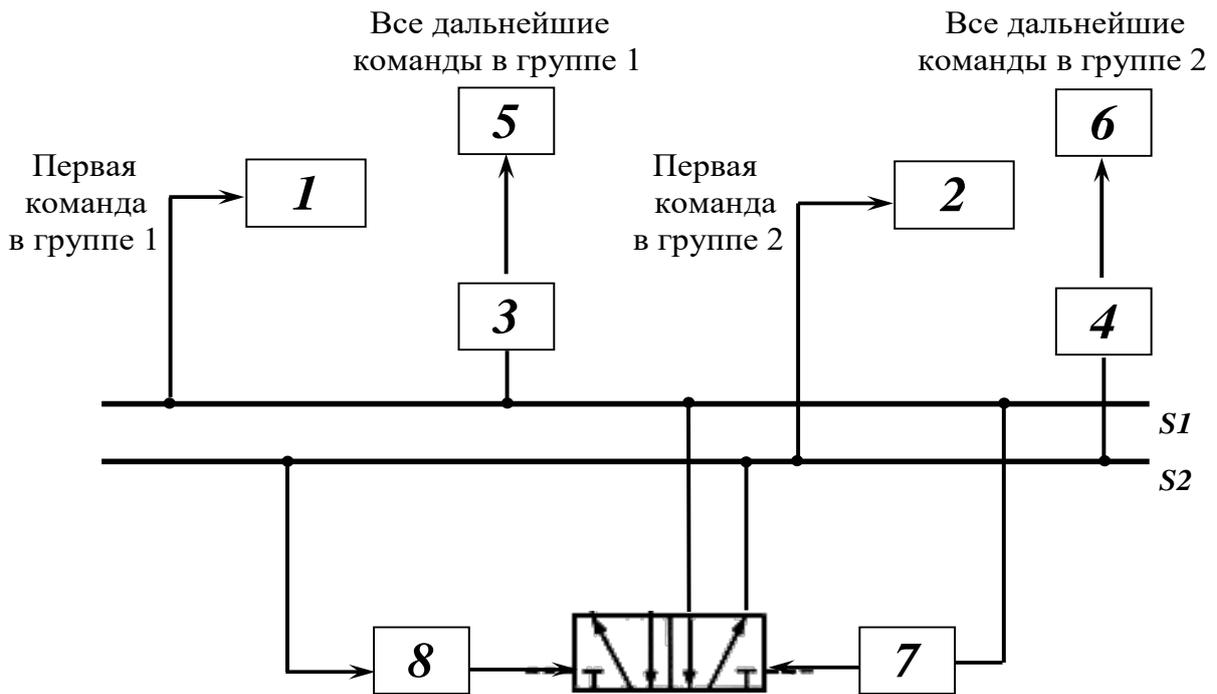


Рис. 4.4. Блок-схема распределения элементов пневмосхемы

- 1 – Управляющий распределитель пневмоцилиндра в группе 1, который совершает первый ход.
- 2 – Управляющий распределитель пневмоцилиндра, совершающий первый ход в группе П.
- 3 – Все путевые переключатели в группе 1, кроме последнего.
- 4 – Все путевые выключатели в группе П, за исключением последнего.
- 5 – Команды на управляющие распределители группы 1 с питанием от шины *S1*.
- 6 – Команды на управляющие распределители группы 2 с питанием от шины *S2*.
- 7 – Путевой выключатель (либо клапан последовательности),

регистрирующий окончание последнего хода в группе 1, переключает селектор. Из шины *S1* сбрасывается воздух, а в шину *S2* подается давление.

8 – Путьевой выключатель (либо клапан последовательности), регистрирующий окончание последнего хода в группе 2, переключает селектор в первоначальное положение.

Стартовая кнопка должна быть всегда включена последовательно в линию на уровне первой команды цикла.

В приведенном выше примере конец цикла совпадает с концом группы. Это не всегда так и, как было отмечено выше, не является обязательным условием.

Выполним синтез пневмосхемы для рассмотренной циклограммы (рис. 4.5). На рис. 4.5 датчики и соответствующие сигналы *a0*, *a1*, *b0* и *b1* обозначены прописными буквами *A0*, *A1*, *B0* и *B1*.

Если разбивать цикл на группы с начала, то получим каскад из 3 групп:

$$|A+, B+, | A-, C+, D+, |D-, B-, C-|.$$

Если же разделить эту последовательность с конца, то в этом случае получим 2 группы, поскольку перемещения $A+$, $D-$, $B-$, $C-$ могут быть выполнены в одной группе:

$$A+, |B+, A-, C+, D+, |D-, B-, C-.$$

В таком случае триггер – селектор будет переключаться при помощи a_1 и переключаться обратно при помощи d_1 .

Пусковая кнопка будет связана через c_0 с командным входом $A+$.

ПРИМЕР. В качестве примера рассмотрим последовательность работы двух пневмоцилиндров $A+B+A-B-$. Выясним с помощью циклограммы (рис. 4.6), является ли такая система одноктактной или многотактной.

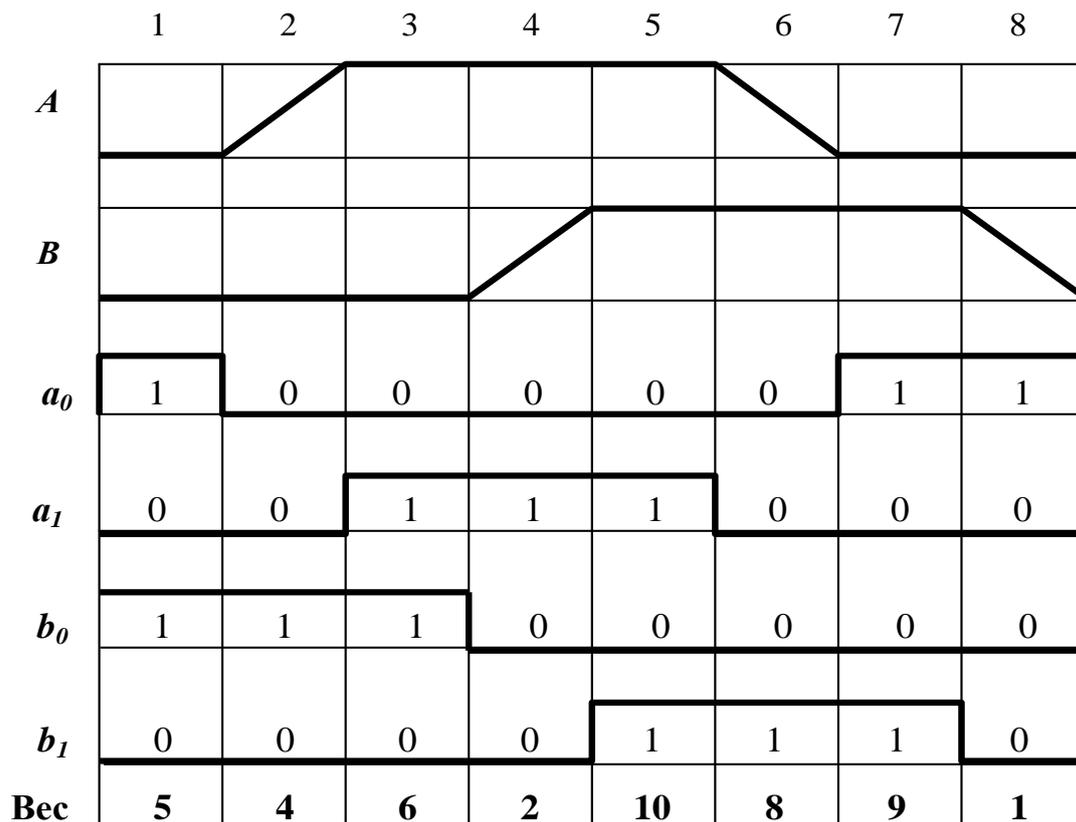


Рис. 4.6. Циклограмма работы двух пневмоцилиндров $A+B+A-B-$

Из анализа весов состояний видим, что такая система не является многотактной, поэтому может быть синтезирована с помощью уравнений алгебры логики (без дополнительных элементов памяти), что мы и сделали ранее.

Вид получаемой пневмосхемы (рис.4.7):

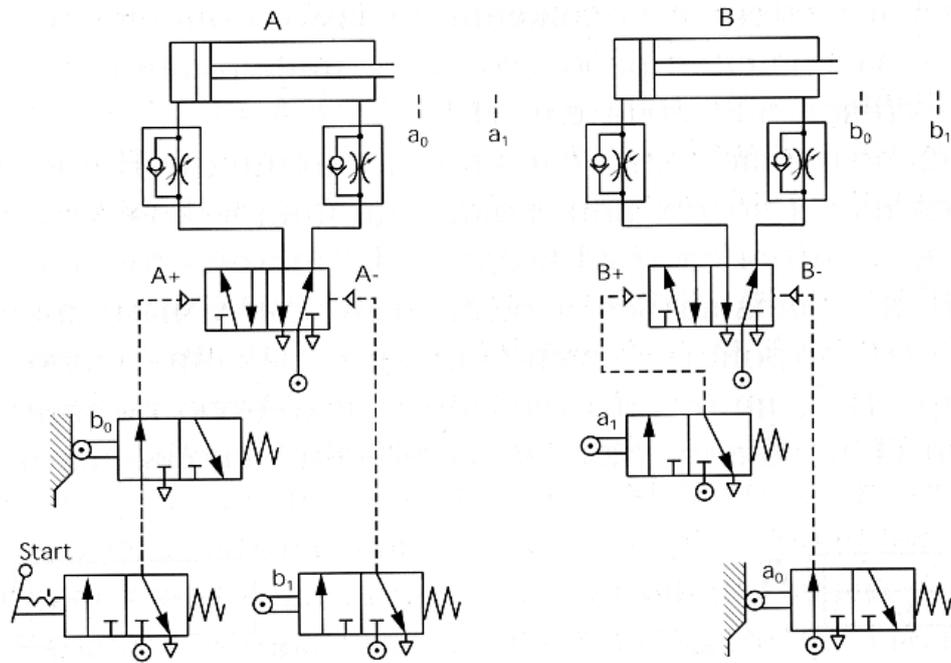


Рис. 4.7. Синтез пневмосхемы одноконтурной системы

Формально пневмосхему с такой циклограммой работы пневмоцилиндров ($A+B+A-B-$) можно построить также и методом разбиения на группы.

В этом случае пневмосхема будет иметь вид, представленный на рис. 4.8.

Сравнивая обе схемы, видим, что первая схема (рис. 4.7) проще. В ней количество операторов (элементов пневмоаппаратуры) на 1 меньше, чем во второй схеме (рис. 4.8).

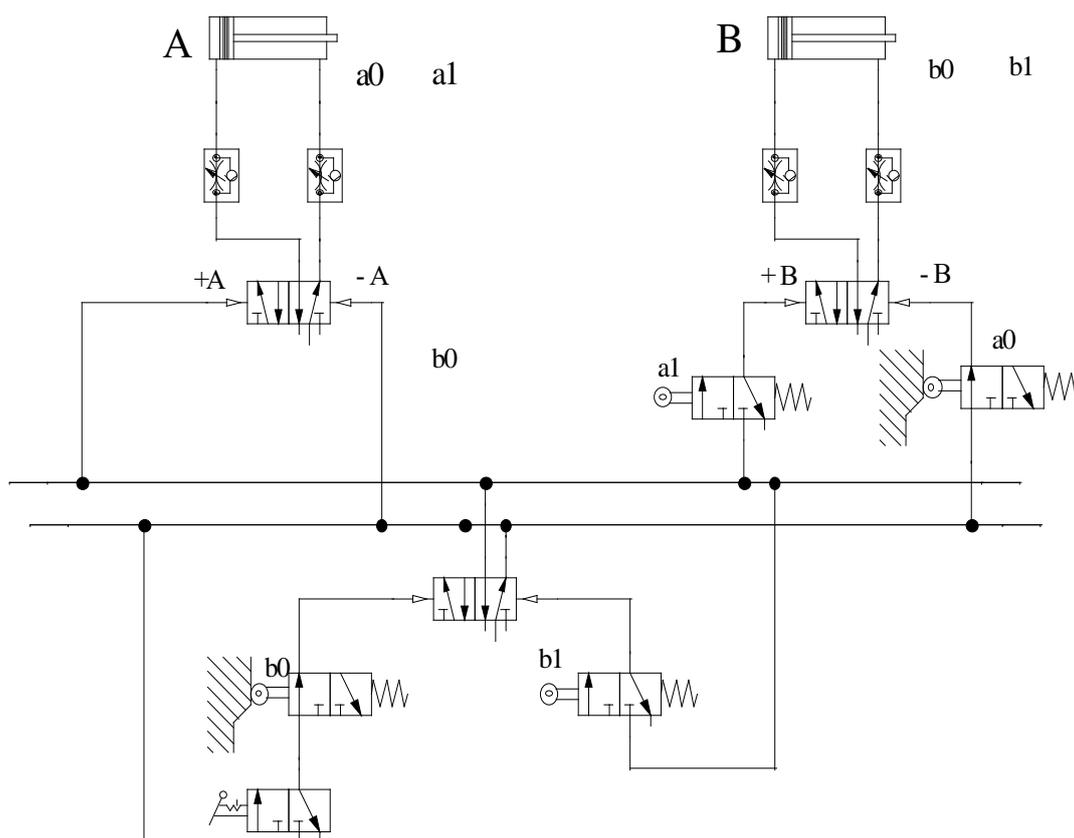


Рис. 4.8. Вид пневмосхемы при построении методом разбиения на группы

4.2. Устранение разнонаправленности сигналов с помощью формирования импульсов

Итак, с помощью метода разбиения на группы можно устранить разнонаправленные сигналы. Кроме этого метода для устранения разнонаправленности сигналов можно вместо постоянного сигнала формировать импульс.

ПРИМЕР. Рабочий вручную должен установить обрабатываемую деталь в станок. Затем по сигналу от пневмокнопки с помощью пневмоцилиндра *A* требуется зажать деталь в станке, а с помощью цилиндра *B* выполнить механическую обработку. Затем пневмоци-

линдр **B** отходит назад, а пневмоцилиндр **A** отпускает деталь, т.е. тоже возвращается в исходное положение.

Таким образом, последовательность команд будет следующей:

A+, B +, B -, A-.

В качестве зажимных применяются короткоходовые цилиндры одностороннего действия. После того, как пневмоцилиндр зажмет деталь, датчик положения даст информацию о том, что пневмоцилиндр завершил ход. Но для соблюдения безопасности важно не только то, что цилиндр завершил ход, но и то, что деталь достаточно прочно закреплена, чтобы выдерживать усилия, возникающие в процессе ее обработки.

Завершение еще не говорит о том, что деталь уже надежно зажата. Это связано с тем, что после завершения хода в пневмоцилиндре имеет место заключительный период движения, в котором давление в полости нагнетания повышается до магистрального при неподвижном поршне.

Единственно подтверждением закрепления детали является сигнал о том, что величина давления на поршень зажимного цилиндра достигла нужной величины.

Такой сигнал можно получить при использовании клапана последовательности давлений, который можно настроить на срабатывание при нужном давлении в полости пневмоцилиндра.

Таким образом, вместо датчика положения используем клапан последовательности, управляющий вход которого подсоединяем к

полости цилиндра, а его выходной сигнал будет сигналом для выдвижения цилиндра B , т.е. для начала механической обработки.

После механической обработки пневматический цилиндр B должен по сигналу b_1 сразу возвратиться в исходное положение по сигналу от путевого выключателя « b_1 ».

Однако команда $B+$ на выдвижение цилиндра B еще не снята. Поэтому при подаче команды $B-$ на его втягивание возникает ситуация, называемая «разнонаправленные команды». В этом случае распределитель не реагирует на команду на втягивание цилиндра B .

Для этого надо снять команду $B+$, но это значит надо убрать сигнал a_1 . Однако сигнал a_1 исчезнет, только если цилиндр A возвратиться в исходное положение и тем самым ослабит зажим детали прежде чем устройство, выполняющее механическую обработку, будет отведено в исходную позицию.

Для решения этой проблемы следует ограничить по времени действие сигнала a_1 . Для этого преобразуем постоянно действующий сигнал от клапана последовательности давлений в импульс.

Для запуска схемы устанавливаем стартовую кнопку *Start*.

Пневмосхема устройства зажима и обработки деталей при единичном цикле изображена на рис. 4.9.

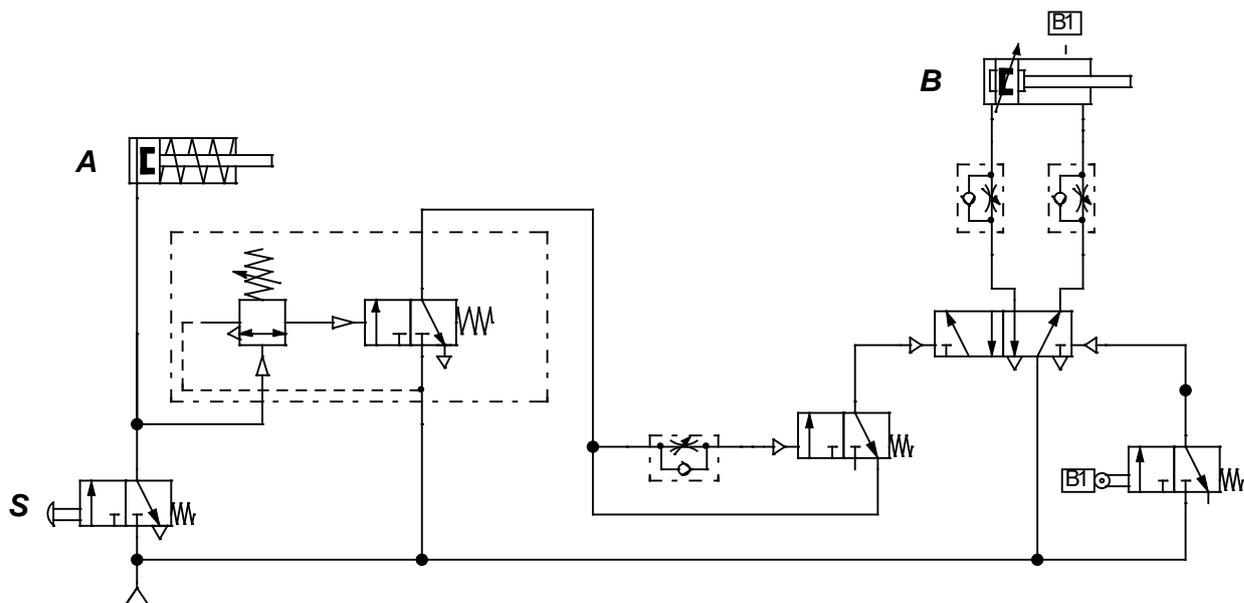


Рис. 4.9. Пневмосхема устройства зажима и обработки деталей при единичном цикле.

Если рабочий отпустит кнопку после того, как начнется механическая обработка детали, то зажим раскроется. Поэтому надо «запомнить» сигнал ручного пуска. Для этого в качестве элемента памяти используем бистабильный распределитель 5/2, который переключается от кнопки *Start*.

Для переключения распределителя 1 в обратную сторону необходимо использовать путевой выключатель b_0 . Однако этот выключатель подаст разнонаправленный сигнал на распределитель 1 в исходном положении цилиндра *B*. Следовательно, в исходном положении от него не должен поступать сигнал на распределитель 1.

Таким образом, имеется еще одна встречная команда, от которой надо избавиться путем преобразования ее в импульс. В результате получим следующую пневмосхему (рис. 4.10).

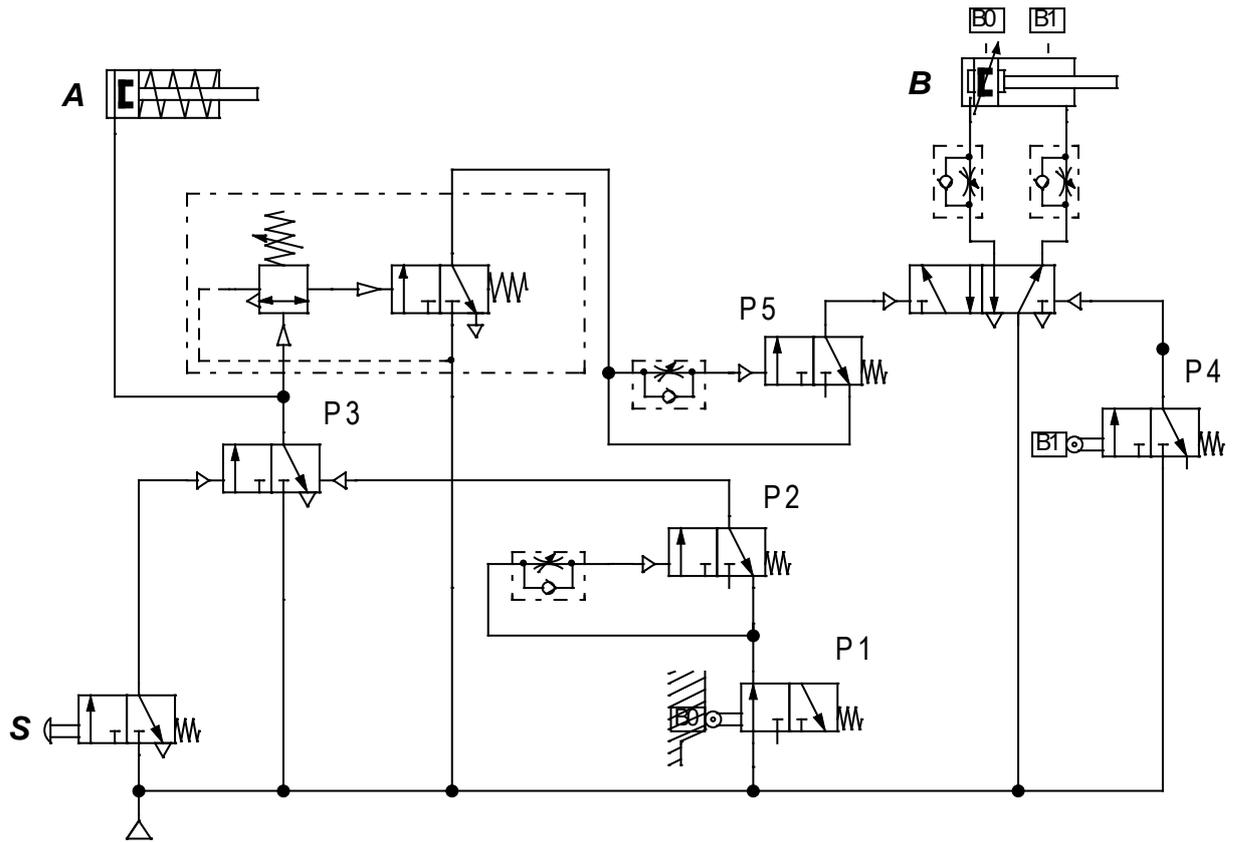


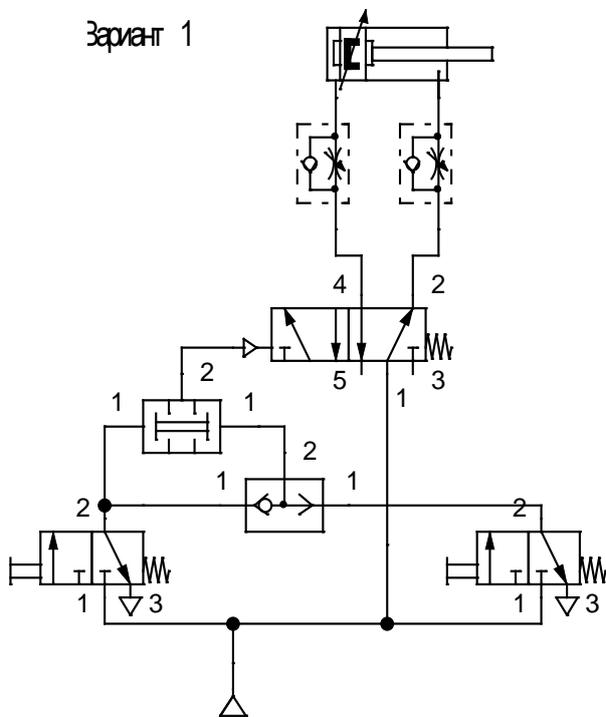
Рис. 4.10. Пневмосхема устройства для зажима и механообработки детали с дополнительной фиксацией

Приложение (индивидуальные задания)

1. Упростить пневмосхемы, используя законы алгебры логики

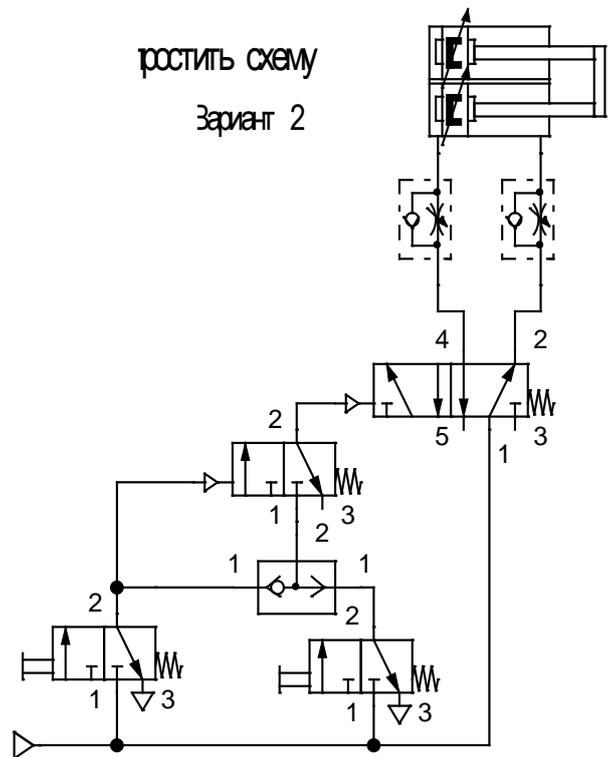
ростить схему

Вариант 1

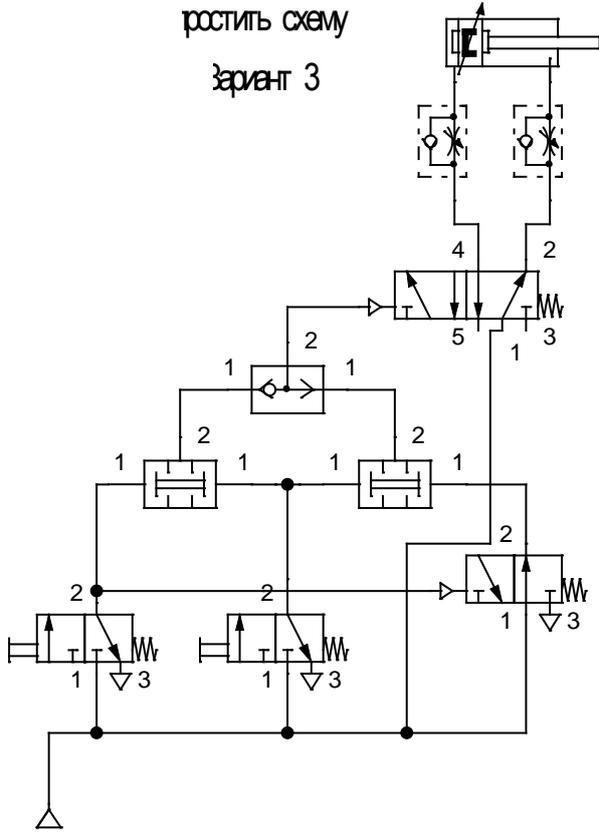


ростить схему

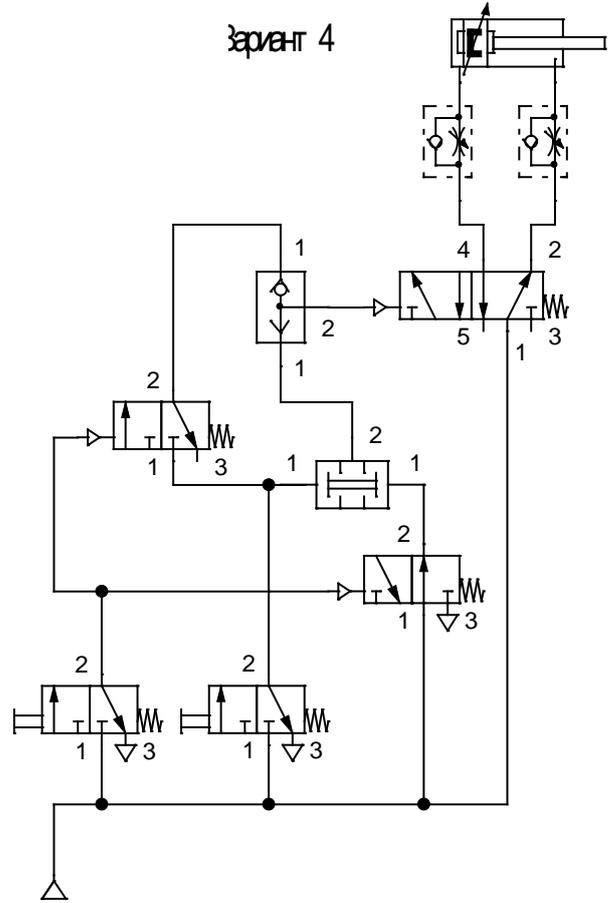
Вариант 2



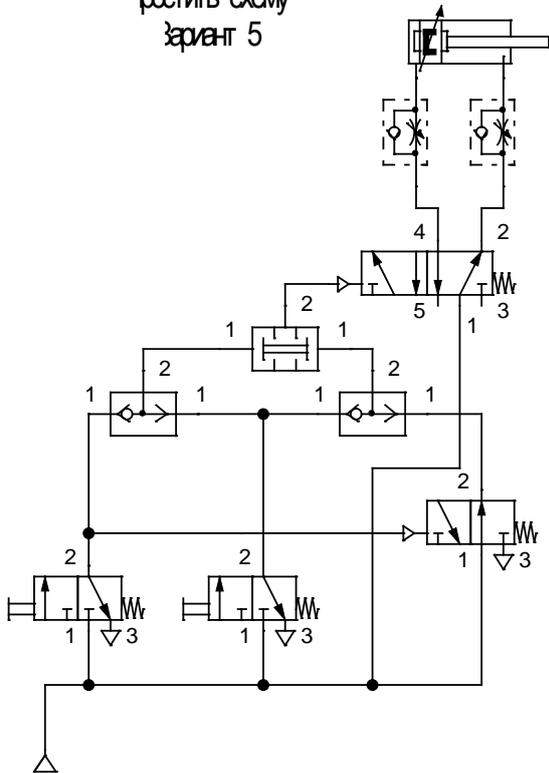
ростить схему
вариант 3



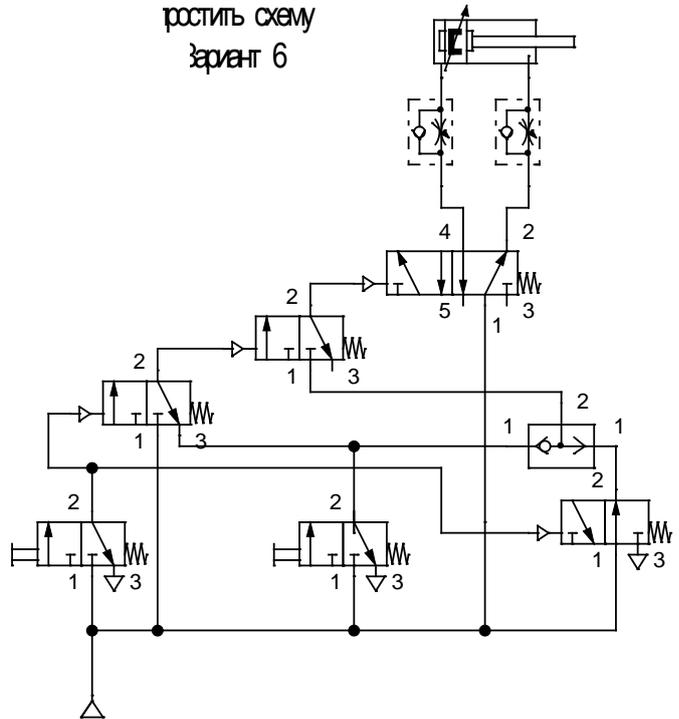
ростить схему
вариант 4



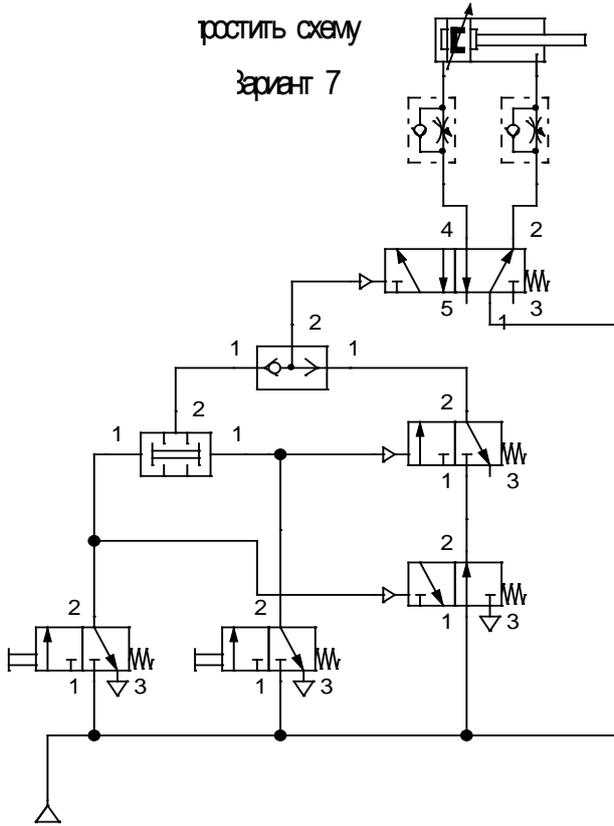
ростить схему
вариант 5



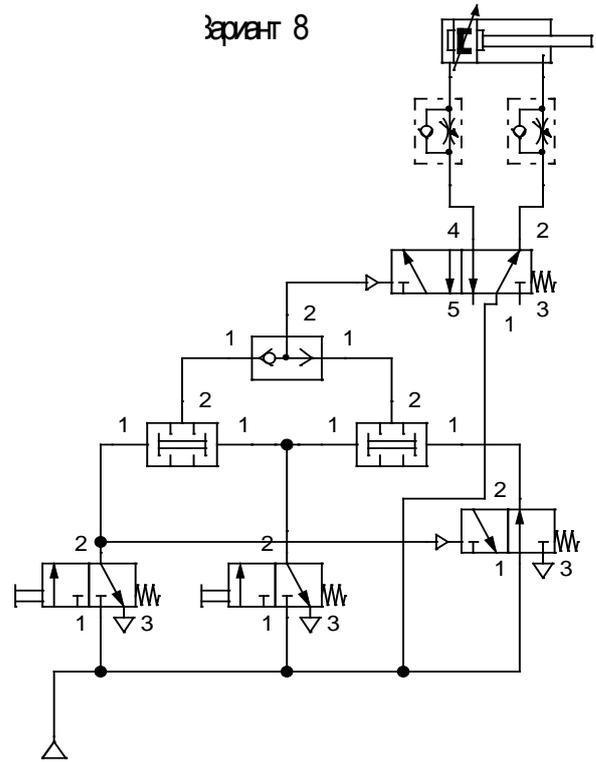
ростить схему
вариант 6



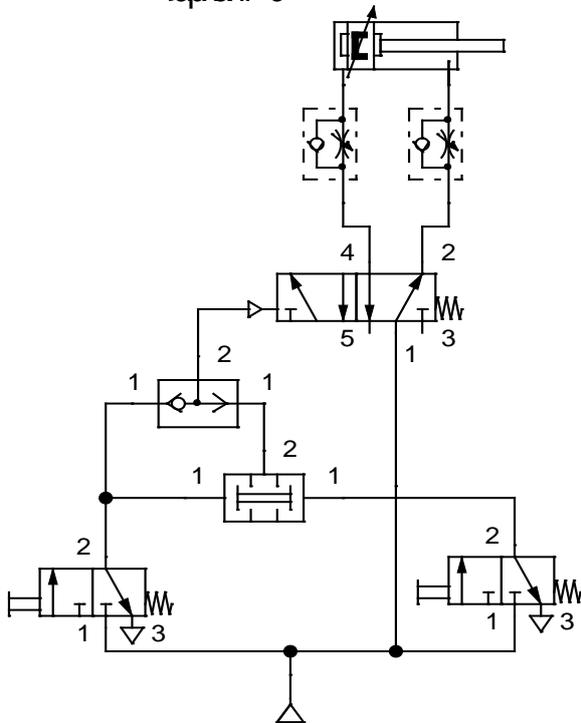
ростить схему
вариант 7



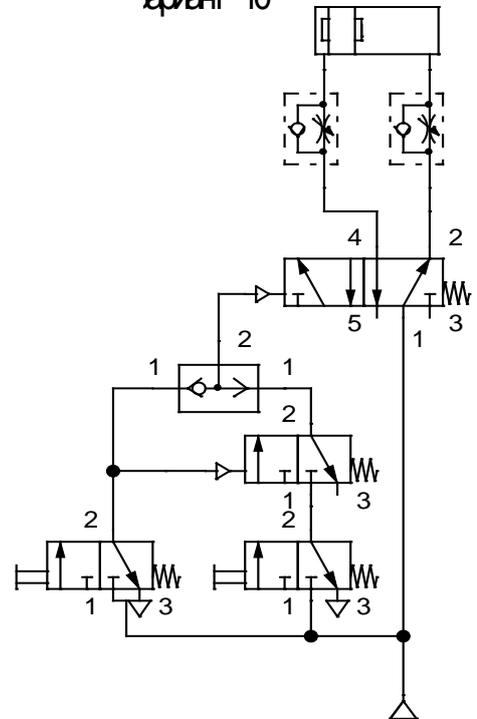
ростить схему
вариант 8



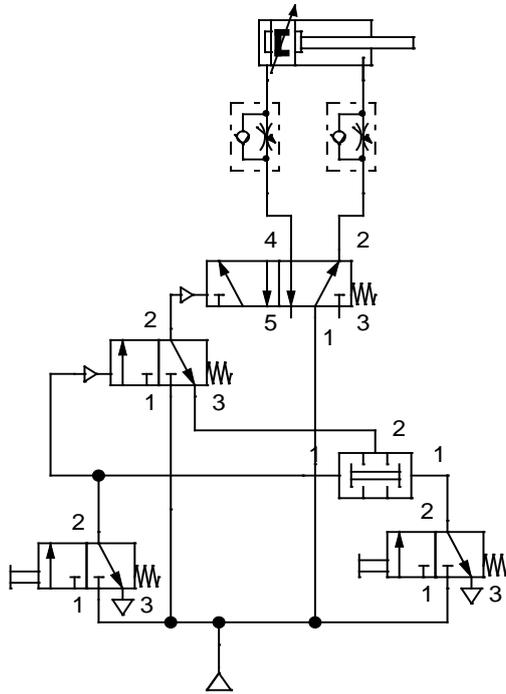
ростить схему
вариант 9



ростить схему
вариант 10



ростить схему
вариант 11



2. Написать выражение для единичных и нулевых функций f .

Доказать эквивалентность полученных выражений и начертить пневмосхему с минимальным числом операторов.

x	y	f
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

1

x	y	f
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

2

x	y	f
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

3

x	y	f
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

4

x	y	f
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

5

x	y	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

x	y	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

x	y	f
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

x	y	f
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

x	y	f
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	0

x	y	f
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

x	y	f
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	0

x	y	f
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

x	y	f
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Рассмотрим пример записи функций для таблицы 7.

$$f = \bar{x}y + x\bar{y} + xy \tag{1}$$

$$\bar{f} = \overline{xy} \tag{2}$$

Упростим функцию f (1), используя основные законы и соотношения алгебры логики [1]:

$$f = \bar{x}y + x\bar{y} + xy = \bar{x}y + xy + x\bar{y} + xy = y(\bar{x} + x) + x(\bar{y} + y) = x + y \tag{3}$$

Докажем, что инверсия от выражения (3) соответствует уравнению (2). В соответствии с законом инвертирования получим

$$\bar{f} = \overline{(x + y)} = \bar{x}\bar{y}$$

Лабораторные работы

Работа № 1

Привод установки для точечной клейки изделий должен срабатывать от кнопок s_1 или s_2 . При этом шток выдвигается, и происходит клейка изделия. Время удержания штока в выдвинутом положении (время склеивания) равно 3 с. Втягивание штока происходит при нажатии пневмокнопки s_3 при условии, что шток полностью выдвинут и обеспечено время выдержки штока для приклеивания детали. Скорость штока должна регулироваться в обоих направлениях.

- Построить циклограмму работы привода.
- Написать уравнения алгебры логики, соответствующие заданному технологическому процессу.
- Разработать принципиальную пневматическую схему.

Работа № 2

Привод выталкивает из магазина детали в зону их обработки. Втягивание штока происходит по сигналу от конечного выключателя. Цикл непрерывный. В схеме предусмотреть кнопку аварийной остановки, при нажатии которой привод останавливается. Скорость движения привода регулируется в обоих направлениях.

- Построить циклограмму работы привода.
- Написать уравнения алгебры логики, соответствующие заданному технологическому процессу.
- Разработать принципиальную пневматическую схему.

Работа № 3

Привод подает детали в зону их обработки. В конце хода происходит плавное изменение скорости до заданной величины (ползучей скорости). Уменьшение скорости осуществляется путем дросселирования выхлопной линии. Торможение начинается на заданном расстоянии от конца хода по сигналу от промежуточного выключателя (выключатель остается нажатым до конца хода). Втягивание штока происходит по сигналу от конечного выключателя. Цикл непрерывный.

Разработать принципиальную пневматическую схему.

Работа № 4

Привод подает детали в зону их обработки. В конце хода происходит плавное изменение скорости до заданной величины (ползучей скорости). Уменьшение скорости осуществляется путем дросселирования выхлопной линии. Торможение начинается на заданном расстоянии от конца хода по сигналу от промежуточного выключателя (выключатель нажат на небольшом участке пути). Втягивание штока происходит по сигналу от конечного выключателя. Цикл непрерывный.

Разработать принципиальную пневматическую схему.

Рассмотреть варианты с использованием конечного выключателя с ломающимся рычагом и с обычным конечным выключателем.

Работа №5

Разработать пневмосхему управления дверьми поезда метро. Дверь управляется от одной пневмокнопки. При каждом последующем нажатии меняется направление движения дверей, не зависимо от их местоположения.

Разработать пневмосхему управления без использования конечных выключателей.

Литература

1. Донской А.С. Основы пневмоавтоматики. Учебное пособие. - СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2016.-77с.

<http://elib.spbstu.ru/dl/2/s16-48.pdf>

2. Пневмоавтоматика. Учебное пособие. СПб.: «ЭС ЭМ СИ Пневматик». – 176 с. 2013.

3. Наземцев А.С. Гидравлические и пневматические системы. Часть 1. Пневматические приводы и средства автоматизации. Учебное пособие. – М: ФОРУМ, 2004. – 240с.

4. FESTO. Пневмоавтоматика. Основной курс TP101. Учебное пособие.

5. SMC. Компоненты пневмоавтоматики. Каталог. 2005.

6. ГОСТ 2.781–96. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические. Устройства управления и приборы контрольно-измерительные