

А. Н. Нарбут. – 2-изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 256 с.

5. Тарасик, В. П. Интеллектуальные системы управления авто-транспортными средствами: монография / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Мн. : УП «Технопринт», 2004. – 512 с.

6. Logan 4×4 – Renault испытывает трансмиссию с гидроприводом. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autoreview.ru/articles/kak-eto-rabotaet/logan-4x4-renault-ispytyvaet-transmissiyu-s-gidroprivodom>.

7. МКМ-1904 с гидрообъемной трансмиссией "Danfoss". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atlantauto.ru/catalog/spetstekhnika/mkm1904-s-gidroobuemnoy-transmissiey-danfoss/>.

Представлено 19.05.2021 г.

УДК 621.5

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

GRAPHOANALYTIC SYNTHESIS OF PNEUMATIC DRIVE UNIT FOR ASSEMBLING VEHICLE UNITS

П. Р. Бартош, канд. техн. наук, доц., **Л. Г. Филипова**, ст. преп.,

Я. А. Чикилевский, студ.,

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь

P. Bartosh, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

L. Filipova, Senior Lecturer; Y. Chikilevsky, student,

Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Пневматические системы управления (ПСУ) могут быть применимы для многих автоматизируемых объектов в машиностроении и других отраслях промышленности. Характерной чертой развития ПСУ в современном машиностроении является использование пневматических устройств не только в силовых приводах,

но и в системах управления для программирования, контроля и управления рабочими процессами в автоматических линиях, манипуляторах и других машинах.

Pneumatic control systems (PCS) can be applied to many automated objects in mechanical engineering and other industries. A characteristic feature of the development of PCS in modern mechanical engineering is the use of pneumatic devices not only in power drives, but also in control systems for programming, monitoring and controlling work processes in automatic lines, manipulators and other machines.

Ключевые слова: пневматическая система, система управления, исполнительные устройства, логические устройств, дискретные системы управления.

Key words: pneumatic system, control system, executive devices, logic devices, discrete control systems.

ВВЕДЕНИЕ

Технологические процессы, автоматизируемые с помощью пневматических приводов, представляют собой определенную последовательность операций, в соответствии с которой срабатывают исполнительные устройства (ИУ) машины или установки. Функции управления работой ИУ выполняют связанные между собой и объектами управления элементы, образующие систему управления (СУ). В процессе автоматической работы на вход СУ поступают сигналы, характеризующие состояние объектов управления, а также управляющие сигналы от программных устройств, преобразователей, контролирующих состояние внешней среды, оператора и т. п. Это входные сигналы управления. В зависимости от состояния входных сигналов СУ формирует выходные сигналы, управляющие работой ИУ. В пневматических СУ носителем информации является давление рабочей среды, а сигналы управления (входные и выходные) представляют собой потоки воздуха под давлением.

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА УСТАНОВКИ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Технологические процессы, автоматизируемые с помощью пневматических приводов, представляют собой определенную по-

следовательность операций. В соответствии с которой срабатывают исполнительные устройства (ИУ) машины или установки. Функции управления работой ИУ выполняют связанные между собой и объектами управления элементы, образующие систему управления (СУ). В процессе автоматической работы на вход СУ поступают сигналы, характеризующие состояние объектов управления, а также управляющие сигналы от программных устройств, преобразователей, контролирующих состояние внешней среды, оператора и т. п. Это входные сигналы управления. В зависимости от состояния входных сигналов СУ формирует выходные сигналы, управляющие работой ИУ. В пневматических СУ носителем информации является давление рабочей среды, а сигналы управления (входные и выходные) представляют собой потоки воздуха под давлением.

В зависимости от типа ИУ и организации управления ими СУ могут быть непрерывными (аналоговыми) и дискретными. Непрерывные СУ используют ИУ без жесткофиксированных рабочих положений (стабилизирующие, следящие устройства), реагирующие на изменение уровня управляющего сигнала. В дискретных системах управления (ДСУ) используются ИУ с фиксированными рабочими положениями, которые срабатывают периодически и управляются аппаратурой с релейными характеристиками. Сигналы управления могут принимать одно из двух значений, обозначенных «1» и «0». Значение «1» соответствует наличию сигнала с принятым уровнем рабочего давления, значение «0» – отсутствию сигнала и атмосферному уровню давления. Передаются сигналы управления по гидравлическим или пневматическим линиям. В структуре гидравлических и пневматических дискретных систем можно выделить три составные части (рисунок 1): энергетическую (I), исполнительную (II) и управляющую (III).

Математическим аппаратом синтеза ДСУ служит двухзначная алгебра логики или булева алгебра, в частности ее раздел «Исчисление высказываний». Алгебра логики позволяет свести операции с логическими заключениями к формальным действиям над символами. т. е. оперировать логическими рассуждениями, как математика алгебраическими символами. Двухзначная алгебра изучает связи между высказываниями, которые могут принимать одно из двух значений – быть истинными или ложными. Истинность обозначает-

ся символом «1», ложность – «0». Высказывания могут быть простыми и сложными. Простое высказывание – предложение, устанавливающее некоторый факт, неограниченный каким-либо дополнительными условиями. В алгебре логики простые высказывания называются логическими переменными. В дальнейшем они будут обозначаться символами x_1, x_2, \dots, x_n . Сложные высказывания называют логическими функциями, они обозначаются символами y_1, y_2, \dots, y_m . Логические связи между простыми высказываниями называются логическими операциями.

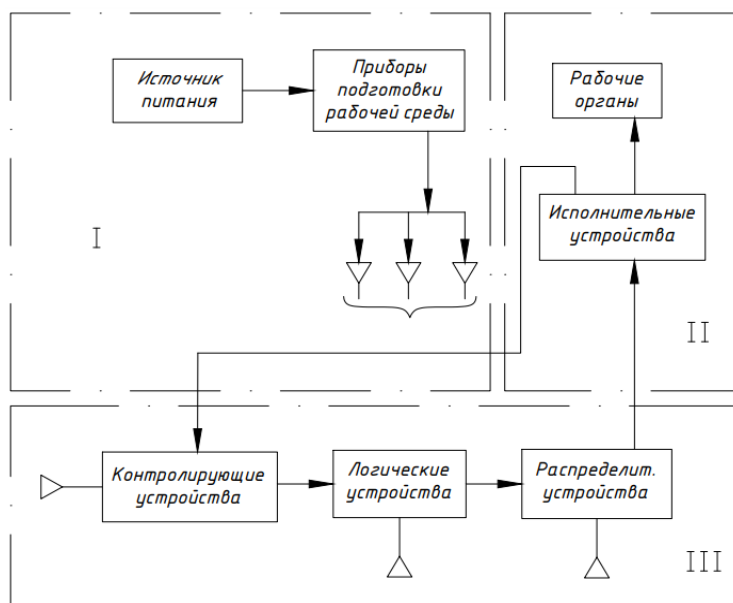


Рисунок 1 – Структурная схема дискретной системы

Уравнения входящих сигналов, по которым строятся структурная и принципиальная схемы проектируемой ДСУ, должны быть приведены к минимальному виду, наиболее соответствующему функциональным возможностям логических элементов.

В подавляющем большинстве случаев пневматические дискретные системы многотактные, т. е. они работают по определенному замкнутому циклу такт за тактом с заданной последовательностью

движений исполнительных устройств. Выполнение команд управляющей части исполнительными устройствами контролируется конечными выключателями. Комбинации сигналов, поступающих от выключателей на входы логического устройства, могут повторяться, но реакция на них логического устройства должна быть различной и соответствовать запрограммированному циклу. Для определенности логического решения в таких ситуациях нужен ввод в логическое устройство дополнительной информации о том, на какой стадии выполнения цикла находится система. Эта информация поступает в виде дополнительных входных сигналов от запоминающих устройств – триггеров. Для управления триггерами (их включения и выключения на определенных этапах цикла) с выходов логического устройства подаются дополнительные выходные сигналы. Структуру управляющей части ДСУ упрощенно можно представить в виде логического многополюсника, для которого триггеры образуют обратные связи (ОС) (рисунок 2). Поэтому многотактные ДСУ называют системами с ОС или автоматами «с памятью».

При проектировании пневматических дискретных систем управления необходимо проводить их структурный синтез. При этом синтезе входные сигналы, поступающие логическое устройство, рассматриваются как логические переменные, а выходные сигналы – как логические функции.

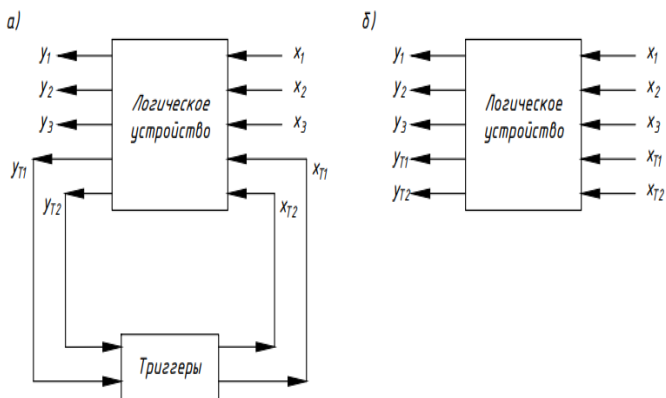


Рисунок 2 – Логический многополюсник:
 а – многотактная ДСУ; б – однотоктный эквивалент

Основные этапы структурного синтеза многотактной ДСУ следующие:

- 1) задание условий работы дискретной системы, ее рабочего цикла;
- 2) анализ цикла на реализуемость и определение потребности в триггерах;
- 3) выявление последовательности переключений триггеров в течение рабочего цикла;
- 4) моделирование выходных сигналов и их минимизация;
- 5) построение структурной и принципиальных схем.

Условия работы многотактной системы могут быть заданы различными способами:

- 1) словесной формулировкой, в которой отражается требуемая последовательность работы ИУ, отмечаются особенности технологических операций, режимы работы, потребность в блокировках;
- 2) таблицей состояний или цикловой диаграммой работы ИУ;
- 3) графом;
- 4) системой логических уравнений;
- 5) условной записью.

ИУ, выполняющим технологические операции, присваиваются порядковые номера, и последовательность их срабатывания представляется в виде чередования этих номеров. В полученном таким образом цифровом ряду такты рабочего цикла выделяются с помощью тире, а порядковые номера ИУ, работающих одновременно, разделяются запятыми. Прямому ходу данного ИУ в записи соответствует его порядковый номер, а обратному ходу – тот же номер, но со знаком инверсии. Например, запись $1-2-\bar{1},\bar{2}$ означает, что в трехтактном цикле два ИУ срабатывают в следующем порядке: 1-й такт – прямой ход первого устройства; 2-й такт – прямой ход второго устройства; 3-й такт – обратный ход обоих исполнительных устройств (ИУ).

Условимся представлять дискретные ИУ в виде цилиндров со втянутыми в исходном положении штоками. Крайние положения подвижных частей контролируются конечными выключателями,

подающими входные сигналы $x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}, x_{2n}$, где n – порядковый номер ИУ.

Выходные сигналы логического устройства (ЛУ), управляющие распределителями P_1, \dots, P_n , обозначим $y_1, \bar{y}_1, \dots, y_n, \bar{y}_n$ для распределителей с двухсторонним управлением, причем прямые сигналы y_1, y_2, \dots, y_n вызывают переключение распределителей, соответствующие прямым ходам ИУ, а инверсные $\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_n$ – обратным их ходам. Индекс при y совпадает с порядковым номером ИУ.

Примечательно к пневматическим многотактным ДСУ используют несколько методов структурного синтеза, базирующихся на общей теории релейных устройств и отличающихся друг от друга способами представления условий работы, анализа на реализуемость, определения потребного числа триггеров, получения уравнений выходных сигналов и их минимизации. Примерами могут служить: методы синтеза по таблицам состояний с последующей минимизацией структуры табличным методом или при помощи матриц Карно; метод Хафмена; графоаналитический; построение ДСУ с применением логических схем алгоритмов (ЛСА); синтеза с использованием языка циклических процессов (ЯЦП) и др.

Недостаток большинства методов структурного синтеза состоит в том, что даже при сравнительно небольшом усложнении задач (увеличении количества ИУ, входных и выходных сигналов) исчезает простота решения, появляются огромные таблицы матрицы, теряется наглядность, резко возрастают затраты времени, увеличивается вероятность чисто механических ошибок при выполнении несложных, но многочисленных формальных действий. Эти недостатки в основном устранены в графоаналитическом методе структурного синтеза многотактных ДСУ.

Ниже приводится структурный синтез по графоаналитическому методу пневматической дискретной системы управления роботизированной установки для сборки агрегата транспортного средства.

На установке автоматически соединяются два узла в единый агрегат. Система работает в циклическом режиме. Цикл включает в себя 8 тактов. В первом такте оба отдельно расположенных узла зажимаются индивидуальными захватами с помощью пневмоцилиндров Ц1 и Ц3. Затем с помощью рукоятки (пневмоцилиндра Ц2)

первый узел перемещается на сборку. После этого пневмоцилиндр Ц4 подает второй узел на место сборки. С помощью пневмоцилиндра Ц5 включается устройство, соединяющее оба узла в единый агрегат, а потом выключается. После этого соединения захват Ц3 разжимается, а пневмоцилиндры Ц2 и Ц4 возвращают рукоять Ц4 и рукоять Ц2 (с собранным узлом в исходное положение). В завершение захват Ц1 разжимается.

Такая последовательность работы описывается тактограммой $1, 3 - 2 - 4 - 5 - \bar{5} - \bar{3} - 4, \bar{2} - \bar{1}$.

Используемый структурный синтез позволяет не только создать систему, точно реализующую заданную тактограмму, но и определить минимальную структуру ДСУ.

Основные этапы структурного синтеза по графоаналитическому методу следующие [1]:

- 1) построение первичного графа и его анализ на реализуемость;
- 2) приведение первичного графа, в случае необходимости, к реализуемому виду;
- 3) построение вторичного графа;
- 4) составление уравнений выходных сигналов;
- 5) построение структурной и принципиальной схем.

Первичный граф (рисунок 3) строится для проверки цикла на реализуемость и определения (при необходимости) нужного количества триггеров и последовательности их включения.

Для этого вначале проводится окружность – символ замкнутого цикла, которая делится на равные дуговые участки по числу тактов в цикле. Точки деления образуют вершины графа. Одна из них принимается за исходную, и начиная от нее, при последовательном обходе графа по часовой стрелке им присваиваются порядковые номера исполнительных устройств в соответствии с очередностью их срабатывания, т.е. обозначения вершин точно повторяют принятую форму условной записи цикла (см. тактограмму). Внутри окружности проводятся линии связи (сплошные линии на рисунке 3 соединяющие вершины графа), соединяющие сопряженные вершины. Две вершины являются сопряженными, если в их обозначениях содержатся инверсные по отношению друг к другу порядковые номера, например, 1 и $\bar{1}$, 2 и $\bar{2}$ и т. д.

1) уравнения составляются для прямого и инверсного выходных сигналов управителя распределителем;

2) уравнение данного выходного сигнала всегда содержит опорный сигнал для вершины графа, из которой он выходит;

3) если зона действительных значений опорного сигнала для данного выхода меньше зоны действия самого выхода, то его уравнение включает только опорный сигнал;

4) если зона действительных значений опорного сигнала для данного выхода больше зоны действия самого выхода, то в уравнении к опорному сигналу добавляют множитель из числа входных сигналов, зона действительных значений которого пересекается с зоной опорного сигнала и пересечение не выходит за пределы зоны действия данного выхода;

5) если в графе имеются повторяющиеся опорные сигналы, то в уравнения соответствующих им выходов вводят дополнительные множители из числа входных сигналов, образующие такие пересечения, которые однозначно определяют зону действительных значений каждого из этих опорных сигналов;

6) если данный выход повторяется в графе, то его уравнение имеет вид суммы уравнений составляющих.

Уравнения выходных сигналов в данном случае имеют вид:

$$\begin{array}{l} \overline{y_1} = \overline{x_T} \\ \overline{y_2} = \overline{x_1 \cdot x_3 \cdot x_T} \\ \overline{y_3} = \overline{x_T} \\ \overline{y_4} = \overline{x_2 \cdot x_T} \\ \overline{y_5} = \overline{x_4 \cdot x_T} \\ \overline{y_T} = \overline{x_5} \end{array} \quad \begin{array}{l} \overline{y_1} = \overline{\overline{x_4} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_T}} \\ \overline{y_2} = \overline{x_3} \\ \overline{y_3} = \overline{x_5 \cdot x_T} \\ \overline{y_4} = \overline{x_3} \\ \overline{y_5} = \overline{x_3 \cdot x_T} \\ \overline{y_T} = \overline{x_1} \end{array}$$

По полученным уравнениям составляется схема пневматической дискретной системы управления (рисунок 5).

На рисунке 5 не показаны блок питания (подготовка сжатого воздуха), элементы, обеспечивающие запуск и остановку системы, а также

организующие наладку и автоматическое включение ее в работу. Здесь уделено основное внимание блоку управления, с помощью которого автоматически обеспечивается заданный цикл работы пневмосистемы.

Схема содержит 5 исполнительных элементов Ц1–Ц5 (рисунок 5), 10 конечных выключателей (распределителей) P1–P10, 8 логических элементов (распределителей) «И» P11–P18, триггер P19, 5 силовых распределителей.

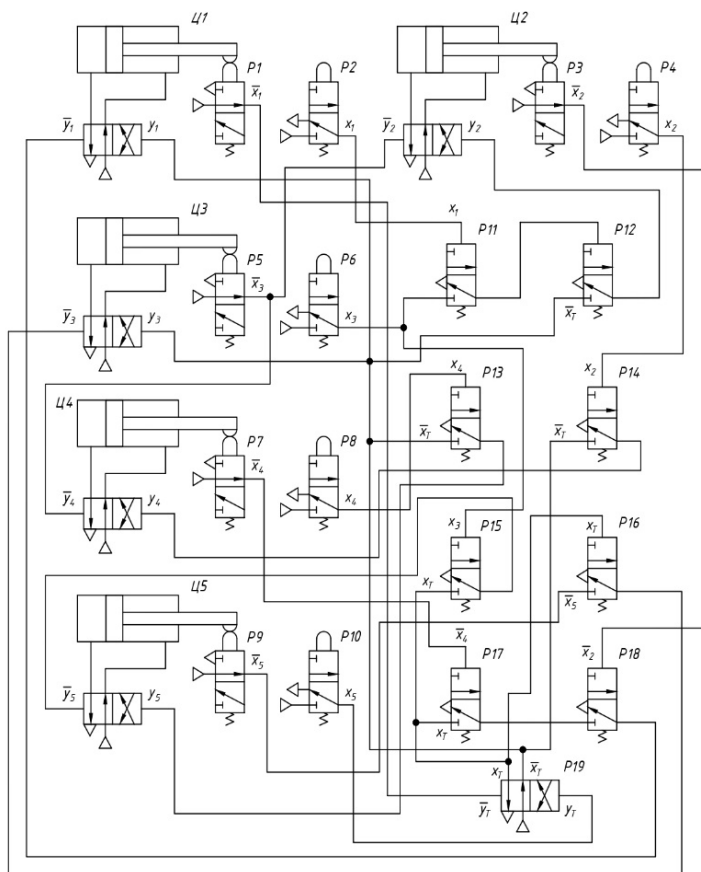


Рисунок 5 – Схема пневматической дискретной системы управления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной НИР получена схема дискретной системы управления роботизированной установки, показан порядок проведения графоаналитического синтеза такой системы с помощью теории графов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартош, П. Р. Средства гидропневмоавтоматики. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / Бартош П. Р., Кишкевич П. Н. – Мн. : БНТУ, 2010 – 79 с.
2. Андреев, А. Ф. Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод мобильных машин. Средства гидропневмоавтоматик. / Андреев А. Ф., Артемьев П. П., Бартош П. Р., Богдан Н. В., Королькевич А. В., Метлюк Н. Ф. – Мн. : ВУЗ – ЮНИТИ БГПА – ИСН, 1998.
3. Канапс, Е. В. Цикловые системы автоматического управления / Е.В. Канапс. – Рига : РТУ, 1990.

Представлено 10.04.2021

УДК 621.5

К ВОПРОСУ ОРИЕНТИРОВОЧНОГО ВЫБОРА НАСОСА

TO THE QUESTION OF REFERENCE PUMP SELECTION

П. Р. Бартош, канд. техн. наук, доц., **Л. Г. Филипова**, ст. преп.,
Я. А. Чикилевский, студ.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь
P. Bartosh, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
L. Filipova, Senior Lecturer; Y. Chikilevsky, student,
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Выбор насосного оборудования производится на основании технических параметров будущей или существующей системы. Это