

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Студенты, обучающиеся по специализации «Автоматизация производственных процессов деревообработки» (0902А) выполняют по дисциплине «Технические средства автоматизации» три контрольные работы. Выполнять контрольные работы следует только после проработки и усвоения материалов соответствующих разделов курса. Контрольные работы выполняются согласно варианту, номер которого определяется последней цифрой шифра студента (номера зачетной книжки).

При выполнении заданий по синтезу принципиальных схем дискретных автоматов (контрольная работа 1) необходимо использовать рекомендованные методы синтеза и анализа с подробным изложением последовательности получения требуемой схемы и проверки условий функционирования дискретного автомата. При решении задач контрольных работ № 2 и 3 необходимо привести подробные расчеты по соответствующим формулам, результаты расчетов свести в таблицы.

Изображения схем необходимо выполнить с соблюдением установленных масштабов и обозначений элементов в соответствии с требуемыми стандартами и ГОСТами.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 1

Включает в себя два задания по синтезу дискретных автоматов без памяти (задание 1) и с памятью (задание 2). Перед выполнением задания по синтезу дискретных автоматов без памяти следует проработать материал учебного

пособия [3]: пп. 2.1, 2.2 (пример 2.3), п. 2.3 с примером 2.5, п. 2.4 с примером 2.8, п. 3.2.1, табл. 3.7, пп. 4.1 и 4.2.

Перед выполнением задания по синтезу дискретных автоматов с памятью необходимо проработать пп. 2.2 (пример 2.4), 2.3 с примером 2.6, 2.4 с примером 2.9, 3.5 и 4.3 учебного пособия [3].

Самостоятельная проработка примеров, приведенных в методических указаниях к каждому из заданий, является необходимой предпосылкой успешного освоения изучаемого материала и правильного выполнения заданий.

Задание 1

Выполнить синтез дискретного автомата без памяти. Условия функционирования дискретного автомата определяются логическим выражением, указанным в табл. 1 для каждого варианта.

Таблица 1

Номер варианта	Логические выражения	Номер варианта	Логические выражения
1	$y = abdva(\overline{bvc})\overline{d}$	6	$y = \overline{acdvc}(avb)\overline{d}$
2	$y = \overline{abd}vb(\overline{avc})\overline{d}$	7	$y = \overline{abd}va(\overline{bvc})\overline{d}$
3	$y = bcdvc(avb)\overline{d}$	8	$y = \overline{acdvc}(avb)\overline{d}$
4	$y = \overline{bcd}vb(\overline{avc})\overline{d}$	9	$y = \overline{abd}vb(\overline{avc})\overline{d}$
5	$y = acdva(\overline{bvc})\overline{d}$	10	$y = \overline{abd}va(\overline{bvc})\overline{d}$

Примечание: Назначаются следующие веса: $a=1$, $b=2$, $c=4$, $d=8$.

В ходе выполнения задания необходимо:

1. Синтезировать функциональную схему дискретного автомата на элементах НЕ, И, ИЛИ.

2. Составить принципиальную схему дискретного автомата на логических элементах типа ЛА интегральных микросхем серии К155.

Методические указания к заданию 1

1. Синтез функциональной схемы ДА на элементах НЕ, И, ИЛИ

Синтез функциональной схемы дискретного автомата по заданному логическому выражению выполняется в следующей последовательности:

а) По правой части логического выражения определяются число входов дискретного автомата, вид, количество логических элементов функциональной схемы. Принимается, что все входные и выходные сигналы реализуются прямыми значениями потенциала.

б) Составляется функциональная схема дискретного автомата. Изображения элементов и линий связи выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.742—72. Обозначения элементов некоторых используемых микросхем приведены на рис. 4.

Построение схемы начинают с изображения в левой части чертежа горизонтальных линий, помечаемых прямыми значениями переменных сигналов. Правее размещают инверторы, которые соответствуют инверсным значениям переменных, далее логические элементы операций, выполняемых согласно логическому выражению после инвентирования входных сигналов, затем элементы последующих логических операций заданного выражения.

в) По составленной схеме записывается логическое выражение выходной величины дискретного автомата. Для этого на выходах каждого из логических элементов записываются промежуточные переменные, выражаемые через входные величины рассматриваемых логических элементов и их логические функции. Промежуточные переменные записываются по цепям прохождения сигналов от входов дискретного автомата до его выхода.

г) Полученное логическое выражение записывается в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ). Каждая конъюнкция такого выражения должна содержать переменные всех входных сигналов. Достигается это домножением каждого из написанных членов выражения на сумму прямого и инверсного значений одной и той же недостающей в данном члене переменной.

д) Составляется таблица состояний дискретного автомата. Число столбцов таблицы равно сумме входных и выходных сигналов и столбца с весом состояния дискретного автомата. Число строк таблицы равно 2^k , где k — число входных сигналов. Вес состояния дискретного автомата складывается из суммы весов включенных приемных элементов, то есть из суммы весов входных сигналов, состояние которых характеризуется высоким уровнем потенциала (единичным значением переменной) и обозначается знаком +. Каждому входному сигналу автомата присваивается свой вес: 1, 2, 4

и так далее. Единичные состояния выходного сигнала обозначаются знаком 1. Столбец с значениями веса дискретного автомата заполняется числами от 0 до $2^k - 1$, образуя 2^k строк таблицы. С помощью знаков + и — заполняются столбцы входных сигналов так, чтобы сумма весов входных сигналов, имеющих единичное состояние, образовывала вес дискретного автомата.

Заполнение последнего столбца таблицы состояний знаками 1 или 0 ведется с помощью СДНФ логического выражения. Каждой конъюнкции СДНФ соответствует одна строка таблицы с рабочим состоянием дискретного автомата, отмечаемого знаком 1 в столбце выходного сигнала. Прямому значению переменной конъюнкции СДНФ соответствует единичное состояние идентичного входного сигнала, обозначается в таблице значением +, инверсному значению переменной — нулевое состояние, соответствующего входного сигнала, обозначаемого в таблице

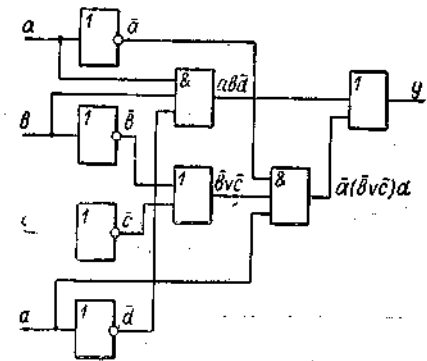


Рис. 1. Функциональная схема дискретного автомата в базисе НЕ, И, ИЛИ

знаком —. Запрещенные состояния дискретного автомата отмечаются в последнем столбце знаком 0.

е) Вычисляется сумма весов рабочих состояний дискретного автомата. Находится как сумма весов строк таблицы, соответствующих рабочим состояниям дискретного автомата.

Пример 1.

Задано логическое выражение дискретного автомата

$$y = ab\bar{d}\bar{v}\bar{a}(\bar{b}\bar{v}\bar{c})d.$$

Необходимо синтезировать функциональную схему дискретного автомата на логических элементах НЕ, И, ИЛИ.

Решение

1.1. Дискретный автомат имеет четыре входа (прямые значения переменных a, b, c, d) и один выход y .

Используются логические элементы в количестве: инвертор НЕ — четыре, умножение И — два, сложение ИЛИ — два.

1.2. Составляем функциональную схему дискретного автомата (рис. 1).

1.3. Записываем логическое выражение выходной величины дискретного автомата (см. рис. 1.)

Получаем

$$y = a\bar{b}\bar{d}\bar{v}\bar{a}(\bar{b}\bar{v}\bar{c})d.$$

1.4. Записываем полученное логическое выражение в СДНФ.

$$\begin{aligned} y &= a\bar{b}\bar{d}\bar{v}\bar{a}(\bar{b}\bar{v}\bar{c})d = a\bar{b}\bar{d}(c\bar{v}\bar{c})\bar{v}a\bar{b}\bar{d}\bar{v}a\bar{c}d = \\ &= a\bar{b}\bar{d}c\bar{v}a\bar{b}\bar{d}c\bar{v}a\bar{b}\bar{d}(c\bar{v}\bar{c})\bar{v}a\bar{c}d(\bar{b}\bar{v}\bar{b}) = \\ &= a\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{v}a\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{v}a\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{v}a\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{v}a\bar{b}\bar{c}\bar{d}. \end{aligned} \quad (*)$$

1.5. Составляем таблицу состояний дискретного автомата (табл. 2). Таблица имеет 6 столбцов и 16 строк. Присваиваем входным сигналам веса:

$$a-2^0, b-2^1, c-2^2, d-2^3.$$

Таблица 2

Вес состояния	Входные сигналы и их веса				y
	a	b	c	d	
	2 ⁰	2 ¹	2 ²	2 ³	
0	—	—	—	—	0
1	+	—	—	—	0
2	—	+	—	—	0
3	+	+	—	—	1
4	—	—	+	—	0
5	+	—	+	—	0
6	—	+	+	—	0
7	+	+	+	—	1
8	—	—	—	+	1
9	+	—	—	+	0
10	—	+	—	+	1
11	+	+	—	+	0
12	—	—	+	+	1
13	+	—	+	+	0
14	—	+	+	+	0
15	+	+	+	+	0

После заполнения левых пяти столбцов таблицы обращаемся к СДНФ логического выражения (*).

Первая конъюнкция $abc\bar{d}$ содержит прямые значения переменных a, b, c , (в таблице состояний им соответствует знак +) и инверсное значение переменной d (в таблице это значение обозначено —). Находим строку, в которой переменные a, b, c обозначены через +, а переменная d — через —. Это строка с весом 7. В столбце выходной величины y этой строки ставим 1.

Аналогичным образом записываем значение 1 в строки таблицы, соответствующие остальным конъюнкциям СДНФ (*). В остальных строках таблицы в столбце выходной величины y ставим знак 0.

1.6. Сумма всех весов рабочих состояний дискретного автомата равна $3+7+8+10+12=40$.

Синтез функциональной схемы дискретного автомата завершен, сумма весов рабочих состояний дискретного автомата равна 40.

2. Составление принципиальной схемы дискретного автомата

Составление принципиальной схемы дискретного автомата по известному логическому выражению ведется с учетом вида конкретных элементов, используемых при построении дискретного автомата. В случае отличия логических функций, реализуемых логическими элементами, от функций, входящих в исходное логическое выражение, последние преобразуются с помощью законов алгебры логики. (двойного отрицания и преобразования де Моргана) таким образом, чтобы выходная величина выражалась только через логические функции выбранных логических элементов. После этого синтезируется функциональная схема дискретного автомата. Синтез проводится по упрощенной методике, при этом пункты $г, д, е$ изложенной ранее методики заменяются сопоставлением полученного логического выражения с заданным. Затем подбираются конкретные типы логических элементов и синтезируемая функциональная схема преобразуется в принципиальную. Проверка правильности синтеза принципиальной схемы выполняется методом анализа дискретных автоматов без памяти (пп. $в, г, д, е$ изложенной методики). Техническая реализуемость дискретного автомата устанавливается сопоставлением характеристик и параметров задействованных элементов с их паспортными значениями.

Пример 2

Задано логическое выражение $y = a\bar{d}\bar{b}\bar{v}\bar{a}(\bar{b}\bar{v}\bar{c})d$.

Составить принципиальную схему дискретного автомата на интегральных микросхемах серии К155 типа ЛА.

Решение

2.1. Выражаем заданное логическое уравнение через функции И—НЕ, поскольку элементы микросхем типа ЛА реализуют логические функции И—НЕ:

$$y = abd\bar{v}\bar{a}(b\bar{v}c)d = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}(b\bar{v}c)d}} = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}} \cdot \overline{\overline{b\bar{v}c}} \cdot \overline{\overline{d}}} = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}} \cdot \overline{\overline{b\bar{v}c}} \cdot \overline{\overline{d}}} = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}} \cdot \overline{\overline{b\bar{v}c}} \cdot \overline{\overline{d}}}$$

Если применить предварительно преобразование де Моргана к логической сумме $(b\bar{v}c)$, то получим:

$$y = abd\bar{v}\bar{a}(b\bar{v}c)d = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}} \cdot \overline{\overline{b\bar{v}c}} \cdot \overline{\overline{d}}} = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}} \cdot \overline{\overline{b\bar{v}c}} \cdot \overline{\overline{d}}} = \overline{\overline{abd\bar{v}\bar{a}} \cdot \overline{\overline{b\bar{v}c}} \cdot \overline{\overline{d}}}$$

Очевидно, второй вариант логического выражения требует меньшее количество элементов для реализации схемы, чем первый (два элемента трехходовых 3И—НЕ, четыре элемента двухходовых 2И—НЕ, два из которых используются в качестве инверторов входных сигналов a и d).

Поэтому синтез схемы дискретного автомата проводим по последнему логическому выражению.

2.2. Применяя последовательно пп. a и b приведенной методики, получим функциональную схему дискретного автомата (рис. 2).

2.3. Выбираем для построения принципиальной схемы микросхемы К155ЛА3 и К155ЛА4. Микросхема ЛА3 содержит четыре двухходовых элемента 2И—НЕ; два из них при объединении входов позволяют получить инверторы для сигналов a и d . Микросхема ЛА4 содержит три трехходовых элемента 3И—НЕ; один элемент является резервным.

2.4. Заменяем элементы функциональной схемы обозначения выбранных элементов (рис. 3).

2.5. Размечаем входы элементов задействованных микросхем. Нумерация входов используемых микросхем приведена на рис. 4. Проставляем позиционное обозначение элементов. Получаем принципиальную схему дискретного автомата.

2.6. Проводим анализ условий функционирования дискретного автомата, выполняя пункты $в, г, д, е$ методики синтеза функциональной схемы. Равенство суммы весов рабочих состояний принципиальной схемы дискретного автомата

и его функциональной схемы подтверждает правильность логического синтеза ДА.

2.7. Синтезированная схема дискретного автомата технически реализуема, поскольку:

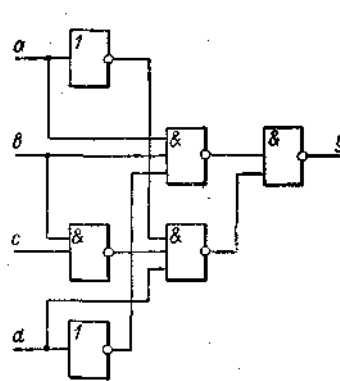


Рис. 2. Функциональная схема дискретного автомата в базисе И—НЕ

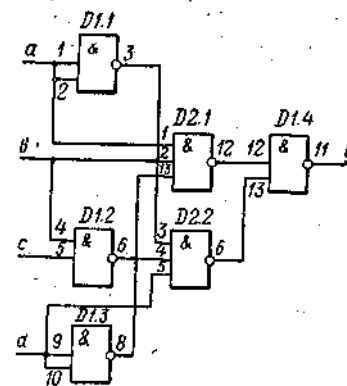


Рис. 3. Принципиальная схема дискретного автомата без памяти

— в синтезированной схеме коэффициент объединения входов элементов не более 2, возможно же объединение 8—10 входов логических элементов микросхем типа ЛА;

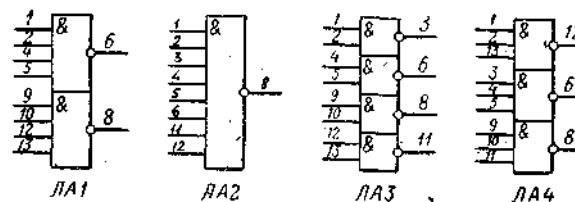


Рис. 4. Условные обозначения микросхем класса ЛА

— коэффициент разветвления задействованных элементов равен 1, что значительно меньше нормативного значения $K_p=10$.

Заключение: синтезированная схема дискретного автомата работоспособна.

Задание 2

Синтезировать принципиальную схему дискретного автомата с памятью на логических элементах интегральных микросхем серии К155 типа ЛА. Формулы включения, логиче-

Таблица 3

Номер варианта	Формула включения	Логические выражения	Тип преобразователя
1	$F_Y = +A + Y + C + B - Y -$ $-C - B - A$	$\begin{cases} x = a(\overline{bcvx}), \\ y = ab(\overline{cvx}) \end{cases}$	РК
2	$F_Z = +B + Z + C + A - Z -$ $-C - A - B$	$\begin{cases} x = b(\overline{acvx}), \\ z = \overline{ab}(\overline{cvx}) \end{cases}$	РТ
3	$F_W = +A + W + C + B - C -$ $-W - B - A$	$\begin{cases} x = a(\overline{bcvx}), \\ w = a(\overline{bxvcx}) \end{cases}$	РН
4	$F_Z = +B + Z + C + A - C -$ $-Z - A - B$	$\begin{cases} x = b(\overline{acvx}), \\ z = b(\overline{axvcx}) \end{cases}$	РТ
5	$F_Y = +A + C - A + B + Y -$ $-B - C - Y$	$\begin{cases} x = \overline{bc}(\overline{avx}), \\ y = \overline{ac}(\overline{bvx}) \end{cases}$	РК
6	$F_Z = +B + C - B + A + Z -$ $-A - C - Z$	$\begin{cases} x = \overline{ac}(\overline{bvx}), \\ z = \overline{bc}(\overline{avx}) \end{cases}$	РТ
7	$F_W = +A + W + B + C - B -$ $-C - W - A$	$\begin{cases} x = a(\overline{bcvbx}), \\ w = a[\overline{bcv}(\overline{cxvcx})] \end{cases}$	РН
8	$F_W = +B + W + A + C - A -$ $-C - W - B$	$\begin{cases} x = b(\overline{acvax}), \\ w = b[\overline{acv}(\overline{cxvcx})] \end{cases}$	РН
9	$F_Y = +A + Y + B + C - C -$ $-Y - A - B$	$\begin{cases} x = \overline{ab}(\overline{cvx}), \\ y = a(\overline{bcvxcx}) \end{cases}$	РК
10	$F_Z = +B + Z + A + C - C -$ $-Z - B - A$	$\begin{cases} x = \overline{ab}(\overline{cvx}), \\ z = b(\overline{acvxcx}) \end{cases}$	РТ

Примечание: В учебном пособии [3] преобразователь РН обозначен символом VL2 (см. табл. 3, 10 позиция 7).

ские выражения и тип преобразователя выходной величины дискретного автомата для каждого варианта представлены в табл. 3.

Методические указания к заданию 2

1. Описание условий функционирования дискретного автомата с памятью

Формула включения исполнительного элемента отражает изменения состояния приемных и исполнительных элементов дискретного автомата. В качестве приемных элементов используются замыкающие и размыкающие контакты переключателей, обозначаемые заглавными буквами латинского алфавита: $A, \overline{B}, C, \dots$. Черта над буквой означает размыкающий контакт. Знак $+$ перед символом контакта показывает изменение состояния контакта из исходного в противоположное, а знак $-$ перед символом контакта указывает на возврат контакта в исходное состояние. Например, $+A$ означает замыкание замыкающего контакта A , $-A$ — размыкание замыкающего контакта A , $+\overline{A}$ — размыкание размыкающего контакта \overline{A} и $-\overline{A}$ — замыкание размыкающего контакта \overline{A} .

Исполнительным элементом указывается в задании или замыкающий контакт К релейного преобразователя РК, или им отождествляется, прямое значение потенциального сигнала транзистора Т с амплитудой 12В на выходе транзисторного преобразователя РТ, или сигнал светодиода преобразователя РН.

В задании указаны формулы включения для случая, когда все приемные элементы реализуются формирователями сигналов с замыкающими контактами, исполнительные элементы обозначены символами Y, Z и W .

Исполнительным элементом Y отождествляется релейно-контактный преобразователь РК с замыкающим контактом реле, исполнительный элемент Z реализуется транзисторным преобразователем РТ с прямым значением переменной выходного сигнала, элемент W реализуется светодиодом, погашенным в исходном состоянии дискретного автомата. Обозначения формирователей входных сигналов, преобразователей выходного сигнала и их принципиальные схемы приведены в таблицах 3.9 и 3.10 пособия [3].

Промежуточный элемент дискретных автоматов всех вариантов обозначен через X , что отмечено в логических выражениях в табл. 3 переменной x .

2. Методика синтеза принципиальной схемы дискретного автомата с памятью

Синтез принципиальной схемы дискретного автомата с памятью выполняется в следующей последовательности:

а) Логические выражения дискретного автомата выражаются через логические функции, которые реализуются принятыми логическими элементами. В настоящем задании логические элементы интегральных микросхем типа ЛА реализуют логическую функцию И—НЕ.

б) На основании преобразованных логических выражений чертится функциональная схема собственно дискретного автомата, т. е. автомата без формирователей и преобразователей сигналов. Входные и выходные сигналы описываются прямыми значениями переменных, соответствующих этим сигналам. Функциональные схемы изображаются вначале для каждого отдельного логического выражения, а затем замыкаются в общую функциональную схему.

в) Изображается полная функциональная схема дискретного автомата, включающая формирователи сигналов и преобразователь выходной величины. Дополнение функциональной схемы собственно дискретного автомата до полной ведется с помощью обозначений формирователя и подключается к соответствующему входу собственно дискретного автомата только при совпадении характера и состояния сигналов соединенных выводов. Преобразователь подключается к схеме также с учетом вида сигналов на выходе схемы собственно дискретного автомата и на входе преобразователя.

г) Полная функциональная схема дискретного автомата преобразуется в принципиальную схему. Элементы функциональной схемы заменяются изображением реальных логических элементов микросхем с указанием позиционных обозначений. Обозначения формирователей и преобразователей заменяются их принципиальными схемами. Составляется перечень используемых элементов с указанием их типов и номиналов.

д) Выполняется проверка правильности синтезированной схемы. Условия функционирования дискретного автомата

проверяются методами анализа дискретных автоматов. Техническая реализуемость схемы подтверждается сопоставлением технических параметров элементов условиям их включения в схему дискретного автомата.

Рассмотрим применение указанной методики синтеза принципиальной схемы дискретного автомата с памятью на примере.

Пример 3.

Формула включения исполнительного элемента имеет вид:

$$F_T = +A + T + \bar{C} + B - T - \bar{C} - B - A.$$

Условия функционирования дискретного автомата определяются логическими выражениями*:

$$\begin{cases} x = a(\bar{b} \cdot \bar{c} v x), \\ t = a \cdot b \cdot (c v \bar{x}). \end{cases}$$

Используются формирователи входных сигналов $F(+A)$, $F(+B)$, $F(+C)$. Преобразователем выходной величины является преобразователь типа РТ. Логическими элементами являются микросхемы серии К155 типа ЛА. Требуется синтезировать принципиальную схему дискретного автомата.

Решение

3.1. Выразим логические уравнения дискретного автомата через логические функции И—НЕ:

$$\begin{aligned} x &= a(\bar{b} \cdot \bar{c} v x) = \overline{\overline{a} \cdot \overline{\overline{b} \cdot \overline{c} v x}}, \\ t &= a b (c v \bar{x}) = \overline{\overline{\overline{a} \cdot \overline{b} \cdot \overline{c v \bar{x}}}} \end{aligned}$$

или

$$\begin{cases} x = \overline{\overline{a} \cdot \overline{b} \cdot \overline{c} \cdot \overline{a x}}, \\ t = \overline{\overline{a} \cdot \overline{b} \cdot \overline{c} \cdot \overline{a b x}}, \end{cases}$$

* Из формулы включения следует, что приемным элементом воздействия S является размыкающий контакт \bar{C} . Именно для этого случая получены логические выражения для промежуточной переменной x и выходной величины t . Эта особенность применения формирователя с размыкающим контактом найдет свое отражение в последующем, при составлении принципиальной схемы дискретного автомата и при определении веса состояния автомата в исходном положении (нулевой такт таблицы включений).

3.2. Изображаем функциональную схему собственно дискретного автомата с помощью функциональных логических элементов И—НЕ, (рис. 5). Первое уравнение реализуется элементами $D1—D5$. Элементы $D6, D7$ и $D8$ позволяют реализовать второе логическое выражение. В качестве входных переменных для второго логического выражения использованы переменные с выходов элементов $D1, D3$ и $D4$.

3.3. Дополняем полученную функциональную схему изображением формирователей и преобразователя. Формирователи $F(+A), F(+B)$ в исходном состоянии имеют на выходе сигналы, описываемые прямыми значениями переменных a и b , совпадающими с значением соответствующих переменных функциональной схемы (см. рис. 5). Поэтому входы,

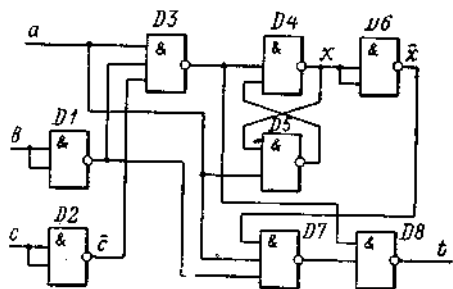


Рис. 5. Функциональная схема собственно дискретного автомата

обозначаемые через a и b , подключаем к выходам преобразователей $F(+A)$ и $F(+B)$ непосредственно (см. рис. 6). Формирователь $F(+C)$ имеет на выходе сигнал, описываемый инверсным значением переменной c , то есть \bar{c} , в то время как в схему (см. рис. 5) входит сигнал с прямым значением переменной c . Поэтому подключить формирователь $F(+C)$ непосредственно к входу с функциональной схемы нельзя. Необходимо инвертировать значение переменной c на выходе формирователя дополнительным элементом — инвертором. В этом случае для данной схемы окажутся включенными последовательно два инвертора: дополнительный инвертор на выходе формирователя $F(+C)$ и элемент $D2$ схемы (см. рис. 5). На выходе элемента $D2$ переменная сигнала принимает инверсное значение \bar{c} , совпадающее с переменной на выходе формирователя $F(+C)$. Поэтому формирователь

$F(+C)$ подключаем непосредственно к входу элемента $D3$ функциональной схемы, исключая элемент $D2$ схемы на рис. 5.

Преобразователь РТ играет роль логического повторителя, усиливая выходной сигнал по амплитуде и мощности. В исходном состоянии входная и выходная переменные преобразователя имеют прямое значение. Следовательно, этот преобразователь подключаем непосредственно к выходу элемента $D8$, (рис. 5).

Полная функциональная схема дискретного автомата приведена на рис. 6 (нумерация элементов принята новая).

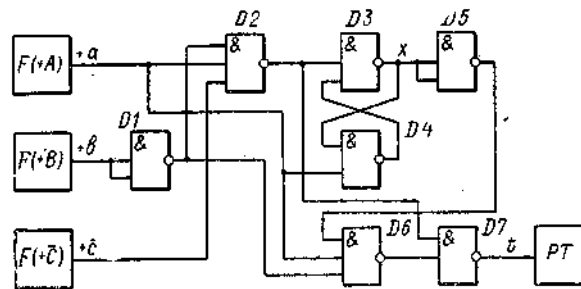


Рис. 6. Полная функциональная схема дискретного автомата

3.4. Преобразуем полную функциональную схему в принципиальную. Выбираем конкретный тип микросхем серии К155. Элементы $D1, D3, D4, D5, D7$ полной функциональной схемы заменяем ИМС типа ЛА3, реализующих функцию И—НЕ на два входа; элементы $D2$ и $D6$ заменяем на элементы ИМС типа ЛА4, реализующих функцию И—НЕ на три входа. Обозначения формирователей и преобразователя выходной величины заменим их принципиальными схемами. Получаем принципиальную схему, приведенную на рис. 7.

3.5. Условия функционирования синтезированной схемы проверяем с помощью таблицы включений.

По принципиальной схеме ДА запишем логические выражения переменных x и d на выходах соответственно элементов $D2.1$ и $D2.2$, образующих элемент памяти, и выходной переменной t :

$$\begin{aligned} x &= \overline{abc} \cdot d, \\ d &= \overline{ax}, \\ t &= \overline{abc} \cdot \overline{abx}. \end{aligned}$$

или

$$\begin{cases} x = \overline{abc} \cdot d, \\ d = \overline{ax}, \\ t = \overline{ab}(\overline{cvx}) \end{cases}$$

Переменные, стоящие в правых частях выражений, отождествляем приемными элементами A, B, C, D, X .

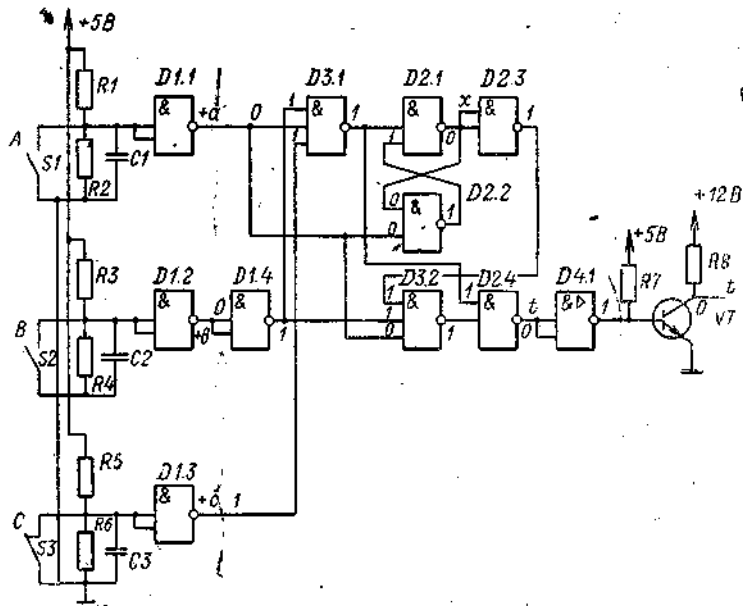


Рис. 7. Принципиальная схема дискретного автомата с памятью

В левую часть таблицы включений поместим логические выражения для переменных x и d , затем приемные элементы A, B, C, X, D , далее выражение выходной переменной t (см. табл. 4).

Заполнение таблицы.

Нулевой такт. Характеризует исходное состояние элементов дискретного автомата. Воздействия A, B, C отсутствуют, следовательно, выключатели 1 и 2 разомкнуты, выключатель 3 замкнут. На выходе элементов $D1.1$ и $D1.2$ имеется логический ноль 0, следовательно, в клетках элементов A и B в этом такте ставим знак $-$. На выходе элемента $D1.3$ имеется логическая единица 1, поэтому в клетке элемента C в этом такте ставим знак $+$.

Таблица 4

Логические выражения, элементы		ТАКТЫ										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x = \overline{abc}d$		0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
$d = \overline{ax}$		1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
Элементы	1	A	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	2	B	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
	4	C	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+
	8	X	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-
	16	D	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+
$t = \overline{ab}(\overline{cvx})$		0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Вес состояния		20	21	17	25	9	11	15	13	12	28	20

гическая единица 1, поэтому в клетке элемента C в этом такте ставим знак $+$. Элемент $D2.2$ на выходе имеет 1, т. к. переменная a имеет на его входе значение 0. В клетке элемента D ставим $+$. Поскольку на входы элемента $D2.1$ поступают сигналы от элемента $D3.1$ и от элемента $D2.2$, переменные которых имеют значения 1, то на выходе элемента $D2.1$ переменная x будет равна 0; следовательно, в клетке элемента X таблицы ставим $-$. В клетках переменных x и d таблицы в нулевом такте должны быть поставлены символы 0 и 1 (соответствуют знакам $-$ и $+$ в клетках элементов X и D этого такта). Эти же значения должны быть получены по логическим выражениям. Действительно,

$$x = \overline{abc}d = 0 \cdot 0 \cdot 1 \cdot 1 = 0 \vee 0 = 0,$$

$$d = \overline{ax} = 0 \cdot 0 = 1.$$

В уравнения вместо переменных a, b, c, d, x ставим значение 0, если соответствующий элемент выключен (в клетке элемента в этом такте поставлен знак $-$), и ставим 1, если

соответствующий элемент включен (в клетке элемента в этом такте поставлен знак +).

Просматривая последовательно значения переменных на выходах элементов схемы, убеждаемся, что переменная t на выходе элемента $D2.4$ равна нулю, следовательно, база транзистора VT находится под положительным потенциалом, транзистор открыт, т. е. выходная величина принимает логическое значение 0. (Значения переменных на входах и выходах логических элементов для исходного состояния дискретного автомата помечены знаками 0 и 1). Вычисленное значение t по уравнению дает то же значение 0:

$$t = \overline{ab}(\overline{cvx}) = 0 \cdot \overline{0}(\overline{1v0}) = 0,$$

что подтверждает соответствие этого логического выражения условию формирования прямого выходного сигнала в исходном состоянии дискретного автомата.

Вычисление веса состояния дает $4 + 16 = 20$, что записывается в нижнюю клетку такта 0.

Последующее заполнение таблицы выполняется без обращения к принципиальной схеме дискретного автомата. Состояние элементов X и D в некотором такте определяется значениями переменных x и d в предыдущем такте. В одном такте допускается изменение состояния только одного из элементов A, B, C, D, X . После установившегося такта допустимо изменение состояния одного из приемных элементов A, B или C , предусмотренное формулой включения исполнительного элемента T .

Такт 1. Клетки элементов X и D в этом такте заполняем по значениям переменных x и d в предыдущем такте. Поскольку $x=0$ и $d=1$ в нулевом такте, то в первом такте в клетке элемента X ставим знак —, в клетке D ставим знак +. Поскольку состояния элементов X и D в этом такте не изменились относительно их состояния в предыдущем такте, то предыдущий такт считаем установившимся. В этом случае возможно изменение состояния одного из приемных элементов дискретного автомата.

Согласно формуле включения $F_T = +A + T + \overline{C} + B - T - \overline{C} - B - A$ в первом такте имеется воздействие A , то есть замыкается контакт A . В клетке элемента A ставим +. Состояния элементов B и C остаются неизменными, в клетки этих элементов ставим знаки — и + соответственно (как и

в нулевом такте). Вычисляем значения x, d, t и вес состояния и вносим их в таблицу:

$$x = \overline{ab}\overline{cvd} = 1 \cdot \overline{0} \cdot \overline{1v1} = 0v0 = 0,$$

$$d = \overline{ax} = \overline{1 \cdot 0} = 1,$$

$$t = \overline{ab}(\overline{cvx}) = 1 \cdot \overline{0} \cdot (\overline{1v0}) = 1 \cdot 1(0v1) = 1,$$

$$1 + 4 + 16 = 21.$$

Включение исполнительного элемента T согласно формуле включения следует за включением приемного элемента A .

Такт 2. Состояния клеток элементов X и D заполняем по значениям переменных x и d в предыдущем такте: в клетке элемента X ставим —, в клетке элемента D ставим +. Состояния промежуточных элементов X и D в данном такте совпадают с состояниями этих элементов в предыдущем такте, следовательно, такт 1 устойчивый и в такте 2 возможно изменение состояния одного из приемных элементов, предусмотренное формулой включения дискретного автомата.

По формуле включения изменяется состояние элемента C , то есть он выключается, в клетке элемента C ставим знак —. Состояния элементов A и B в такте 2 оставляем прежними, то есть такими же, что и в такте 1. Вычисляем значения переменных x, d, t :

$$x = \overline{ab}\overline{cvd} = 1 \cdot \overline{0} \cdot \overline{0v1} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1v0 = 1,$$

$$d = \overline{ax} = \overline{1 \cdot 0} = 1,$$

$$t = \overline{ab}(\overline{cvx}) = 1 \cdot \overline{0}(\overline{0v0}) = 1 \cdot 1(1v1) = 1.$$

и заносим их в таблицу. Вес состояния 17.

Продолжая заполнение таблицы, убеждаемся в реализуемости формулы включения. Таблица не содержит тактов с одинаковыми весами и противоположными значениями выходной переменной.

Дискретный автомат в последнем установившемся такте (десятом) имеет вес состояния, одинаковый с весом состояния в нулевом такте. Таким образом, синтезированная принципиальная схема удовлетворяет заданным условиям функционирования дискретного автомата.

Техническая реализуемость схемы подтверждается тем, что:

1) наибольшее значение коэффициентов объединения входов и разветвления в данной схеме равно 3 (для элемента $D1.1$ коэффициент разветвления—нагрузки — равен 3), что значительно ниже номинального значения коэффициентов используемых элементов, равного 10;

2) применены типовые формирователи и преобразователи сигналов и выполнено согласование значений переменных на выходах формирователей с значениями переменных на входе схемы собственно дискретного автомата и согласование значения переменной на выходе собственно дискретного автомата с значением переменной на входе преобразователя РТ.

Контрольная работа № 2

Включает в себя задания по расчету параметров схемы отключения электромагнитных реле и корректирующих звеньев систем автоматического управления, по расчету времени срабатывания пневматического исполнительного устройства.

Перед выполнением задания 1 и задания 2 следует проработать материал учебного пособия [1], а перед выполнением задания 3 необходимо проработать соответствующий раздел учебника [2].

Задание I. Расчет параметров электромагнитного реле

На рис. 1,а представлена схема подключения электромагнитного реле постоянного тока с шунтирующим сопротивлением и конденсатором. Обмотка реле К при замыкании ключа S оказывается под напряжением, реле включается. Зависимость выходной величины реле, в частности сопротивления контактов $R_{кон}$, от входной величины - напряжения на обмотке U_n - определяется статистической характеристикой, показанной на рис. 1,б. В качестве выходной величины принято сопротивление контакта $R_{кон}$, разомкнутого при обесточенном реле и замкнутом после срабатывания реле (соответствующие условные обозначения: $R_{кон} = 0$ и $R_{кон} = 1$).

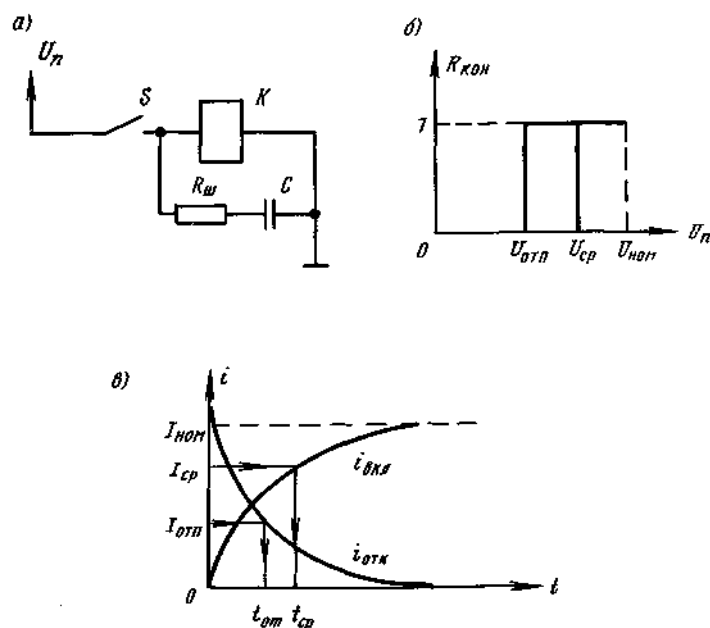


Рис. 1. Электромагнитное реле и характеристики

Изменение состояния контактов происходит при определенных значениях напряжения срабатывания $U_{ср}$ и напряжения отпускания $U_{отп}$, $U_{ном}$ - номинальное напряжение питания.

Изменение тока при срабатывании реле (без учета изменения индуктивности при движении якоря) происходит по экспоненте (рис. 1,в) - кривая тока включения $i_{вкл}$. Экспонента $i_{отк}$ определяет изменения тока в катушке реле при отключении напряжения питания. Номинальный ток в обмотке реле $I_{ном}$ (соответствующий номинальному напряжению питания $U_{ном}$) выбирается по известному значению тока срабатывания $I_{ср}$ (напряжения срабатывания $U_{ср}$) с учетом коэффициента запаса $K_3 = 1,2 + 4,0$.

Электромагнитные реле характеризуются следующими параметрами:

1. Номинальное напряжение питания $U_{ном}$.
2. Ток срабатывания $I_{ср}$ (соответственно напряжение срабатывания $U_{ср}$) - величина тока, при котором происходит срабатывание замыкающих контактов реле.
3. Ток отпускания $I_{отп}$ (соответственно напряжение отпускания $U_{отп}$) - величина тока, при котором происходит размыкание контакта реле.
4. Число и вид контактов. Основные типы контактов: замыкающий, при подаче на катушку напряжения питания контакт замыкается, при снятии напряжения - размыкается (положение контакта при обесточенном реле - разомкнутое); размыкающий, при подаче на катушку напряжения питания контакт размыкается, при снятии напряжения - замыкается (положение контакта при обесточенном реле - замкнутое).
5. Время срабатывания $t_{ср}$ - промежуток времени от момента подключения катушки реле к источнику питания до момента замыкания замыкающих контактов.
6. Время отпускания $t_{отп}$ - промежуток времени от момента снятия напряжения с катушки реле до момента размыкания замыкающих контактов.
7. Коэффициент возврата реле K_3 , представляющий отношение тока отпускания к току срабатывания:

$$K_3 = \frac{I_{отп}}{I_{ср}}$$

Для электромагнитных реле $K_b = 0,1 + 0,99$.

8. Коэффициент запаса реле: отношение номинального тока $I_{ном}$ (номинального напряжения питания $U_{ном}$) к току срабатывания $I_{ср}$ (соответственно напряжения срабатывания $U_{ср}$):

$$K_3 = \frac{I_{ном}}{I_{ср}}$$

Для электромагнитных реле коэффициент запаса $K_3 = 1,2-4,0$.

Исходные данные для расчета схемы подключения реле приведены в табл. I.

Таблица I

Номер варианта	$U_{ном}$, В	R_k , Ом	$I_{ср}$, А	$I_{отп}$, А	L , Гн	$R_{ш}$, Ом
1	24	400	0,03	0,006	40	2000
2	24	600	0,25	0,01	20	1600
3	24	800	0,02	0,025	25	2200
4	48	200	0,05	0,02	25	1800
5	48	1000	0,03	0,008	45	1000
6	60	1800	0,02	0,006	40	2200
7	60	1500	0,03	0,01	20	2500
8	220	2400	0,06	0,02	25	2600
9	220	500	0,15	0,05	30	1800
0	220	1000	0,12	0,04	40	2000

Необходимо:

1. Построить статическую характеристику реле. Величины тока определяются на основании закона Ома при постоянном значении сопротивления обмотки реле.

2. Рассчитать и построить график изменения тока в функции времени при размыкании ключа S . На кривой $i = f(t)$ по величине тока отпущения $I_{отп}$ реле определить значение времени отпущения реле $t_{отп}$.

3. Определить коэффициент запаса и возврата реле по току.

Методические указания к решению задачи

При размыкании ключа S образуется замкнутый контур, включающий обмотку реле K с индуктивностью L и активным сопротивлением R_k конденсатор C и шунтирующее сопротивление $R_{ш}$. В

этом контуре в переходном режиме действуют три эдс:

- $L \cdot \frac{di}{dt}$ - эдс самоиндукции обмотки реле;

- $R \cdot i$ - падение напряжения на активном сопротивлении

обмотки реле $R_{обм}$ и шунтирующем сопротивлении $R_{ш}$, где $R = R_k + R_{ш}$;

- $\frac{1}{C} \int i \cdot dt$ - эдс заряженного конденсатора.

Сумма эдс в замкнутом контуре равна нулю:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i + \frac{1}{C} \int i \cdot dt = 0. \quad (1)$$

Разделив это выражение на L и проинтегрировав, получим:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{T} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot i = 0, \quad (2)$$

где $T = L/R$ - электромагнитная постоянная времени контура.

Характеристическое уравнение полученного дифференциального уравнения будет:

$$d^2 + \frac{1}{T} d + \frac{1}{L \cdot C} = 0, \quad (3)$$

его корни $\alpha_{1,2} = -\frac{1}{2T} \pm \sqrt{\frac{1}{4T^2} - \frac{1}{L \cdot C}}$.

При $\frac{1}{4T^2} > \frac{1}{L \cdot C}$ процесс изменения тока в контуре является аperiodическим, обеспечивающим наибольшее время отпущения реле.

Решение уравнения в этом случае получают в виде:

$$i = A_1 \cdot e^{\alpha_1 t} + A_2 \cdot e^{\alpha_2 t}. \quad (4)$$

Полагая при $t=0$ (момент размыкания ключа)

$$i = \frac{U}{R_k} = I_k \quad \text{и} \quad \frac{d^2 i}{dt^2} = 0,$$

определим значения постоянных интегрирования A_1 и A_2 .

Из уравнения (4) при $t=0$ получим:

$$I_k = A_1 + A_2. \quad (5)$$

Из уравнения (2) при $t=0$ имеем:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot I_k = 0,$$

откуда

$$\frac{di}{dt} = -\frac{T}{L \cdot C} \cdot I_k.$$

Продифференцировав выражение (4), получим:

$$\frac{di}{dt} \Big|_{t=0} = A_1 \cdot \alpha_1 + A_2 \cdot \alpha_2.$$

Из последних двух выражений имеем:

$$-\frac{T}{L \cdot C} \cdot I_k = A_1 \cdot \alpha_1 + A_2 \cdot \alpha_2. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) образуют систему двух уравнений с двумя неизвестными A_1 и A_2 :

$$\begin{cases} A_1 + A_2 = I_K \\ \alpha_1 A_1 + \alpha_2 A_2 = -\frac{T}{L \cdot C} \cdot I_K \end{cases} \quad (7)$$

Поскольку остальные величины находятся через исходные данные I_K , T , L , C и по условию $\frac{1}{4T^2} > \frac{1}{L \cdot C}$.

Решая полученную систему методом исключения переменных, получим:

$$A_1 = \frac{\alpha_2 + \frac{T}{L \cdot C}}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot I_K, \quad A_2 = -\frac{\alpha_1 + \frac{T}{L \cdot C}}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot I_K.$$

Подставляя полученные выражения в (4), получаем аналитические выражения изменения тока при отключении реле:

$$i = \frac{\alpha_2 + \frac{T}{L \cdot C}}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot I_K \cdot e^{\alpha_1 t} - \frac{\alpha_1 + \frac{T}{L \cdot C}}{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot I_K \cdot e^{\alpha_2 t} \quad (8)$$

Построив график $i = f(t)$, по известному значению тока отпускания реле $I_{отп}$ находят время отпускания $t_{отп}$ реле.

Величину емкости конденсатора C , входящую в уравнение (8), принимают на 10+15% больше значения, найденного по условию

$$C = \frac{4T^2}{L}, \quad \text{где } [T] = c, [L] = \Gamma_H, [C] = F.$$

Значения величин $e^{-\alpha t}$ могут быть определены методом интегрирования по таблице приложения I.

Рекомендуется расчет точек зависимости $i = f(t)$ выполнять с помощью микроЭВМ или микрокалькулятора.

Методика расчета времени отпускания реле на микроЭВМ и "Электроника ДЗ-2л" с программой в кодах машины приведена в прил. 2.

Задание 2. Расчет материалов корректирующего звена

В табл. 2 приведены схемы корректирующих звеньев и передаточные функции. Под номерами 1, 2, 3 представлены пассивные корректирующие звенья, остальные - активные корректирующие звенья на операционных усилителях.

Передаточные функции пассивных звеньев записаны при сопротивлении нагрузки $R_H = \infty$ и сопротивления источника сигнала $R_H = 0$.

Таблица 2

N п/п	Схема звена	Передаточная функция звена
1	2	3
1		$W(p) = K \cdot \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1};$ $K = \frac{R_1}{R_1 + R_2};$ $T_1 = R_1 \cdot C;$ $T_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot C.$
2		$W(p) = \frac{T_2 p + 1}{T_1 p + 1};$ $T_1 = (R_1 + R_2) \cdot C;$ $T_2 = R_2 \cdot C.$
3		$W(p) = \frac{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}{T_1 \cdot T_2 p^2 + [T_1 \cdot \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} + T_2] p + 1}$ $T_1 = R_1 \cdot C_1;$ $T_2 = R_2 \cdot C_2.$

1	2	3
4		$W(p) = - \frac{T_2 p + 1}{T_1 p}$ $T_1 = R_1 \cdot C; \quad T_2 = R_2 \cdot C.$
5		$W(p) = -K \frac{T_1 p}{T_1 p + 1}$ $K = \frac{R_2}{R_1}; \quad T_1 = R_1 \cdot C.$
6		$W(p) = -K \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ $K = \frac{R_2}{R_1}; \quad T_1 = R_2 \cdot C;$ $T_2 = (R_2 + R_3) \cdot C$
7		$W(p) = -K \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ $K = \frac{R_2}{R_1};$ $T_1 = R_1 \cdot C_1; \quad T_2 = R_2 \cdot C_2$

Напряжение на входе звена обозначено через U_1 , на выходе - через U_2 .

Требуется по известной конечной величине сопротивления нагрузки R_H (для пассивных корректирующих звеньев) или одного из элементов (активного корректирующего звена) рассчитать параметры остальных элементов звена.

Номера схем по вариантам и значения известных параметров звена приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер схемы звена	K	T_1, c	T_2, c	$R_H, k\Omega$	$R_2, M\Omega$	Номера вариантов
1	0,4	0,03	0,012	10	-	1, 4, 7
2	-	0,002	0,0015	2	-	2, 5, 8
3	-	0,05	0,2	16	-	0, 3, 6, 9
4	-	0,025	0,2	-	1,0	1, 3, 5, 7, 9
5	3	0,27	-	-	0,82	0, 2, 4, 6, 8
6	1,2	0,1	0,3	-	0,68	1, 3, 5, 7, 9
7	5	0,1	0,25	-	0,20	0, 2, 4, 6, 8

Методические указания к решению задачи

Для пассивных корректирующих звеньев принимают $R_2 = 0,1 \cdot R_H$. Остальные элементы схемы рассчитывают по приведенным в таблице соотношениям при известных значениях коэффициентов передачи и постоянных времени. По найденным значениям сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов определяют номинальные сопротивления и номинальные емкости при допуске отклонения от номинала $\pm 10\%$ из ряда значений: 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2.

Пример 1. Корректирующее звено имеет передаточную функцию

$$W(p) = 0,2 \cdot \frac{0,01p + 1}{0,004p + 1}; \quad R_H = 16 k\Omega.$$

Определяем $R_2 = 0,1 \cdot R_H = 1,6 k\Omega$.

По ряду номинальных значений принимаем $R_2 = 1,5 k\Omega$.

С помощью соотношения $K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ найдем величину R_1 :

$$Q_2 = \frac{R_1}{R_1 + 1,5}$$

откуда $R_1 = 0,38 \text{ кОм}$

Принимаем $R_1 = 0,39 \text{ кОм}$

Емкость конденсатора C найдется из соотношения $T_1 = R_1 \cdot C$

или $0,01 = R_1 \cdot C$, откуда

$$C = \frac{0,01}{R_1} = \frac{0,01}{39,0 \cdot 10^3} = 25,7 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

По ряду номинальных значений принимаем $C = 27 \text{ мкФ}$

Пример 2. Активное корректирующее звено имеет передаточную функцию $W(p) = -\frac{0,03p + 1}{0,02p}$; $R_2 = 1 \text{ МОм}$.

По соотношению $T_2 = R_2 \cdot C$ находим величину емкости конденсатора $C = \frac{T_2}{R_2} = \frac{0,03}{1} = 0,03 \text{ мкФ}$.

Принимаем $C = 0,033 \text{ мкФ}$.

Резистор $R_1 = \frac{T_2}{C} = \frac{0,02}{0,033} = 0,6 \text{ МОм}$.

Принимаем $R_1 = 0,56 \text{ МОм}$.

Задание 3. Определение времени срабатывания пневматического исполнительного устройства

В задаче необходимо определить время прямого хода пневмопривода, нагруженного постоянными силами на штоке, площадь которого можно пренебречь так же, как и временем срабатывания распределителя и временем распространения волны давления. Исходные данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Давление воздуха P_m , МПа	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4
Нагрузка на штоке P , Н	3500	5300	6500	6000	4600	3000	4000	4300	5000	3000
Вес поступательно движущихся частей P_r , Н	1000	1800	2400	1500	1200	2000	1300	2200	1600	1200

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Рабочий ход поршня S , м	0,18	0,15	0,24	0,10	0,14	0,40	0,30	0,28	0,24	0,50
Длина трубопровода подводящей и выхлопной линии $l_1 = l_2$, м	0,65	0,70	0,60	0,55	0,30	0,40	0,45	0,50	0,60	0,35
Кэф. подвода расхо-мой μ_1 да ли-выхлоп-ной μ_2	0,13	0,4	0,15	0,2	0,15	0,3	0,2	0,25	0,2	0,13
Диаметр поршня D , М	0,26	0,4	0,6	0,4	0,45	0,3	0,6	0,75	0,8	0,65
Диаметр труб $d_1 = d_2$, м				0,125		0,012				

Методические указания к решению задачи

Динамический расчет пневмопривода сводится к определению времени срабатывания, под которым понимают время движения поршня исполнительного устройства в одном направлении. Сначала исходные физические параметры выражают в безразмерной форме, по которой определяют безразмерное время срабатывания и по формулам перехода определяют действительное время. Изложим последовательность расчета:

1. Определяется безразмерная нагрузка на приводы. Сначала находится результирующая всех сил, действующих на привод. Нагрузка на штоке P является основной определяющей нагрузкой на привод. Вес P_r поступательно-движущихся частей учитывается только при вертикальном расположении привода. Безразмерная нагрузка определяется выражением:

$$\lambda = \frac{P}{0,415 P_m \cdot D^2}$$

2. Находится безразмерный конструктивный параметр N по формуле

$$N = 275,14 \cdot \frac{\mu_1 \cdot d_1^2}{D^2} \cdot \sqrt{\frac{P_r}{P_m \cdot S}}$$

где P_r - вес груза и всех поступательно-движущихся частей. Конструктивный параметр является функцией многих величин и хотя

каждая из них колеблется в значительных пределах, их соотношение, характеризуемое этим параметром, редко бывает больше 5.

3. Определяется коэффициент Ω , характеризующий способности подводящей и выхлопной линий привода:

$$\Omega = \frac{\mu_2 \cdot d_2^2}{\mu_1 \cdot d_1^2}$$

Диапазон изменения значений коэффициента Ω достаточно широкий. Они могут быть очень малы, например, в случае расчета процесса торможения, при котором эффективная площадь входной линии значительно больше площади выхлопной линии. При дросселировании привода на входе они могут быть велики. Для обычных процессов диапазон изменения Ω от 0,25 до 10.

4. Рассчитывается по приближенным формулам относительное время срабатывания двустороннего привода:

$$\tau = \frac{4,16(\Omega + 3,05)}{\Omega(1 - 0,9X)} \quad \text{для } 0 \leq N \leq 1,0$$

$$\tau = \frac{0,35(\Omega + 3,05) \cdot [(4,6\Omega + \sqrt{\Omega^2 - 0,85}) \cdot N + 5]}{\Omega(1 + \sqrt{\Omega}) \cdot (1 - 0,9X)}$$

для $1 \leq N \leq 5,0$.

На время срабатывания привода могут оказывать влияние все параметры, которые входят в уравнение, описывающее динамику привода. Благодаря введению безразмерных параметров их число удается уменьшить по сравнению с числом параметров в уравнениях, выраженных в физических величинах. При этом из безразмерных параметров можно выделить основные: 1) конструктивный параметр N ; 2) нагрузку X ; 3) коэффициент пропускной способности Ω .

5. Определяем действительное время срабатывания (t) по формуле перехода:

$$t = 1,31 \cdot 10^{-3} \frac{S \cdot D^2}{\mu_1 \cdot d_1^2} \cdot \tau$$

Уточненные методы расчета пневмоцилиндра приведены в работе Герц Е.В., Крейкин Г.В. Расчет пневмоприводов: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1975.

Контрольная работа № 3

Включает в себя три задания по синтезу гидравлической, пневматической и электрической схем управления.

Задание I. Составление гидравлической схемы управления для определения цикла

В данной задаче рассматриваются вопросы проектирования гидравлической схемы управления с учетом циклов движения рабочего органа, которые характеризуют порядок чередования состояния покоя и движения замедленного и ускоренного перемещения поршня. Варианты задач приведены в табл. 5.

Таблица 5

Вариант	Циклы движения поршня	Вид распределителя	Разгрузка насоса	Положение цилиндра
1	ИП - РП - Рв - БН - Рв	Гидравл.	-	Гориз.
2	ИП - БВ - Рв - РП - "Стоп"	Электрогидр.	Р	Верт.
3	ИП - РП - "Стоп" - Рв - БН - Рв	Электр.	КП	Гориз.
4	ИП - V ₁ - Рв - V ₂ - Рв (V ₁ = V ₂)	- " -	-	Верт.
5	ИП - V ₁ - "Стоп" - Рв - V ₂ - Рв (V ₁ = V ₂)	- " -	Р	- " -
6	ИП - БВ - Рв - РП - Рв	Гидравл.	-	- " -
7	ИП - БВ - РП - Рв - БН - Рв	Электр.	-	Гориз.
8	ИП - V ₁ - Рв - V ₂ - Рв (V ₁ = V ₂)	Гидравл.	-	- " -
9	ИП - БВ - РП - "Стоп" - БН - Рв	Электр.	Р	- " -
10	ИП - V ₁ - Рв - V ₂ - "Стоп" (V ₁ = V ₂)	- " -	КП	Верт.

В таблице представлен ряд задач, в которых характерные виды движения поршня гидроцилиндра имеют следующие обозначения. ИП - исходное положение гидравлического исполнительного механизма; БВ - быстро вперед и БН - быстро назад; в этом случае не предъявляют высоких требований к стабильности скорости исполнительного механизма, а скорость поршня задается дросселем. РП - рабочая подача; скорость поршня задается дросселем с регулятором. Рв - реверс; изменение направления движения поршня. "Стоп" - остановка поршня с разгрузкой насоса. В задании указан способ разгрузки: Р - разгрузка через предохранительный клапан (1-я или 6-я схема исполнения), КП - разгрузка через предохранительный клапан. Если V₁ = V₂, то для обеспечения равенства скоростей поршня

используются распределители с дифференциальным подключением цилиндра.

Методические указания к решению задачи

Для решения задачи синтеза гидравлической схемы управления необходимо использовать сведения о гидравлических аппаратах управления и типовых схемах включения, представленных в литературе [2, 3].

При составлении гидравлической схемы для заданного цикла необходимо в первую очередь показывать: бак, насос, предохранительный клапан с манометром и фильтр (насосная станция). Далее на схеме нужно показать цилиндр, в соответствии с заданием распределитель или группу распределителей. Затем с учетом характера видов движения подключать гидравлические аппараты, реализующие отдельные типовые схемы. Проверить работу гидравлической схемы и после коррекции составить описание ее работы.

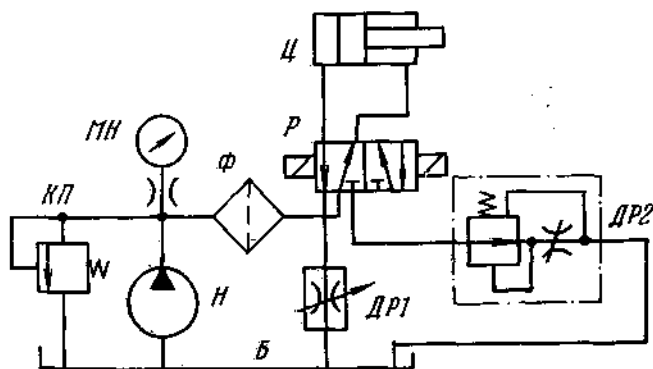


Рис. 2. Гидравлическая схема управления для цикла:
ИП - РП - Рв - БН - Рв

Например: составить гидравлическую схему для цикла: ИП - РП - Рв - БН - Рв. Положение цилиндра горизонтальное. В схеме используется распределитель с электрическим управлением. Гидрав-

лическая схема для данного цикла показана на рис. 2. Рабочая жидкость от насоса Н поступает в нагнетательную магистраль, давление в которой задается предохранительным клапаном КП и контролируется по манометру МН. В нагнетательной магистрали установлен фильтр Ф. При движении поршня вправо (РП) скорость его задается дросселем с регулятором ДР2. Скорость поршня влево (БН) задается дросселем ДР1.

Задача 2. Составление схемы управления работой двух пневмоцилиндров в требуемой последовательности

В данной задаче рассматриваются вопросы синтеза схемы управления работой двух пневмоцилиндров по жесткому циклу. Варианты задач приведены в табл. 6.

Таблица 6

Варианты	Последовательность работы цилиндров	Сигнал о выполнении перемещения поршня	
		Ц1	Ц2
1	ИП - Ц1 - Ц2 - Ц1 - Ц2 - Стоп	Р	Р
2	ИП - Ц1 - Ц2 - Ц1 - Ц2 - Стоп	КП	Р
3	ИП - (Ц1 Ц2) - Ц1 - Ц2 - Стоп	Р	Р
4	ИП - Ц1 - Ц2 - Ц1 - Ц2 - Стоп	КП	Р
5	ИП - (Ц1 Ц2) - Св - Ц2 - Ц1 - Стоп	Р	Р
6	ИП - Ц1 - Ц2 - (Ц1Ц2) - Стоп	Р	КП
7	ИП - Ц1 - Ц1 - Ц2 - Ц2 - Стоп	Р	Р
8	ИП - Ц2 - Ц1 - св (Ц1Ц2) - Стоп	Р	Р
9	ИП - Ц1 - (Ц1Ц2) - Ц2 - Стоп	КП	Р
0	ИП - Ц2 - (Ц2Ц1) - Ц1 - Стоп	Р	Р

При составлении описания требуемой последовательности работы двух пневмоцилиндров приняты следующие условные буквенные обозначения цикла: Ц1, Ц2 - прямые ходы поршней пневмоцилиндров; Ц1, Ц2 - обратные ходы поршней. Порядок расположения букв указывает последовательность хода поршней. Буквы в скобках обозначают одновременную работу цилиндров. Св - "Стоп с выдержкой" - команда на реверсирование поступает с задержкой и задается дросселем реле времени. Сигнал о выполнении операции, в результате которой рабочий орган занял определенное положение, поступает, согласно

таблицы, от распределителя Р или клапана последовательности КП.

Методические указания к решению задачи

Для решения задачи необходимо использовать сведения и пневматических средствах автоматики и типовых схемах управления изложенных в литературе [2], [3].

При составлении пневматической схемы управления следует показать узел поставки воздуха, распределители, пневмоцилиндры, а также элементы типовых пневматических схем, рекомендуемые требованиями, изложенными в задаче.

Н а п р и м е р : Составить схему автоматического управления работой двух цилиндров по циклу ИИ - (Ц1Ц2) - (Ц1Ц2) - Стоп. Сигнала о выполнении перемещения поршня поступает от распределителя Р для цилиндра Ц1 и от клапана последовательности КП для цилиндра Ц2 (рис. 3).

Из задания следует, что при подаче команды "Пуск", поршни цилиндров Ц1 и Ц2 одновременно начинают свое движение. Когда поршни обоих цилиндров займут другое крайнее положение, вырабатывается команда на реверсирование схемы. Выполняя эту команду, поршни также одновременно начинают перемещаться в исходное положение.

Схема управления работой двух пневмоцилиндров по данному цилиндру показана на рис. 3. При синтезе схемы управления необходимо в начале вычертить на схеме цилиндры Ц1 и Ц2, затем в следующей последовательности: показать главные распределители с пневматическим управлением Р1 и Р2, которые используются в схеме для реверсирования цилиндров; распределители с механическим управлением Р3 и Р5, выполняющие в схеме функцию блокировки цилиндров в исходном положении; распределитель с ручным управлением Р, который используется для запуска схемы; пневматические устройства (распределитель Р4 и клапан последовательности КП) фиксирующие моменты, когда поршни из исходного положения перемещаются в другое.

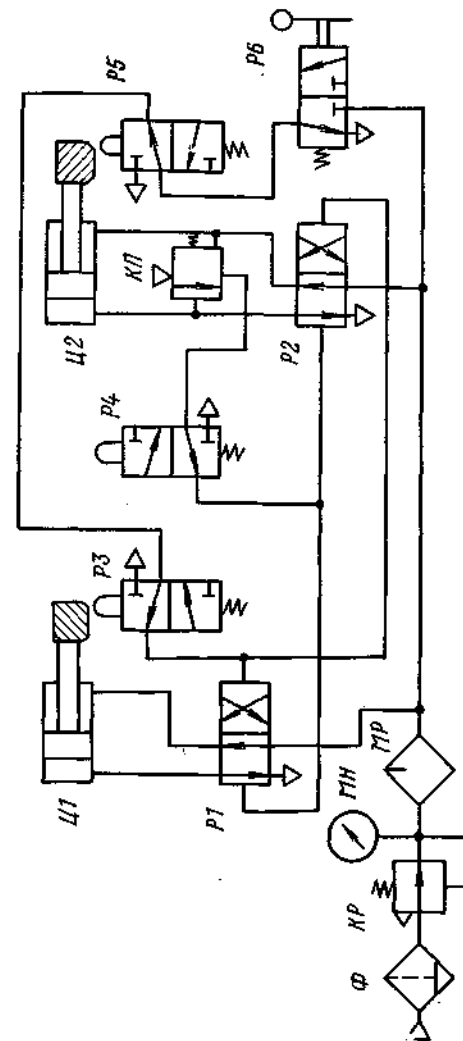


Рис. 3. Пневматическая схема управления для цикла ИИ - (Ц1Ц2) - (Ц1Ц2) - Стоп

Затем элементы схемы соединяются линиями связи. При этом необходимо учитывать алгоритм работы схемы, которой следует из задания. Запуск схемы возможен, если поршни цилиндров Ц1 и Ц2 находятся в исходном положении, что означает; воздух из магистрали под давлением поступает при воздействии на распределитель Р, а также через распределители Р5 и Р3 в правые торцевые полости распределителей Р1 и Р2, переключая их. Поршни Ц1 и Ц2 движутся вправо, где в крайнем положении поршень Ц1 переключает распределитель Р4, а повышение давления в бестоковой полости цилиндра Ц2 вызывает срабатывания клапана последовательности КИ. В результате сжатый воздух через клапан К и распределитель Р4 поступает в левые торцевые полости распределителей Р1 и Р2, реверсируя их (правые торцевые полости этих распределителей через распределитель Р3 сообщаются с атмосферой). Поршни цилиндров Ц1 и Ц2 вернутся в исходное положение. Новый запуск схемы возможен только при повторном воздействии на кнопку распределителя Р6.

После составления схемы студенты должны ее вычертить в соответствии с требованиями ГОСТа, указать назначение элементов схемы и представить краткое описание ее работы.

Задание 3. Синтез электрической схемы управления

Для выбранного варианта необходимо:

1. Вычертить схему управления электроприводом по приведенному алгоритму. При этом следует учесть, что в алгоритмах приведены следующие обозначения:

S_1, S_2, S_3 - кнопки "Пуск", $\overline{S_1}, \overline{S_2}, \overline{S_3}$ - кнопки "Стоп"
 K_1, K_2, K_3 - обмотки магнитных пускателей, реле, электромагниты,
 $K_{1.1}, K_{1.2}, K_{2.1}, K_{2.2}$ - контакты магнитных пускателей, электромагнитных реле, S_1Q, S_2Q - контакты конечных выключателей.

2. Оснастить схему элементами защиты и сигнализации.

3. Показать главные цепи привода.

4. Составить описание работы схемы управления.

Ниже представлены десять вариантов заданий по синтезу электрических схем управления.

В а р и а н т 1

Принципиальная схема управления электроприводом (например, шлифовального станка), обеспечивающая следующий цикл:

1. Пуск привода оператором вперед.
2. Автоматические реверс в конце хода вперед.
3. Автоматические реверс в конце хода назад.
4. Остановка оператором в любом положении назад.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S_1} \cdot [(S_2 + K_{1.2} + S_1Q) \cdot S_2Q \cdot K_1 + (S_2Q + K_{2.2}) \cdot \overline{S_1Q} \cdot K_2],$$

где K_1 и K_2 - магнитные пускатели; S_1Q, S_2Q - путевые выключатели.

В а р и а н т 2

Схема управления электроприводом торцевой пилы, состоящая из электродвигателя пилы и двигателя подачи доски на исходную позицию, обеспечивающая взаимную блокировку двигателей.

Схема обеспечивает выполнение следующих операций:

1. Включение пилы оператором.
2. Включение подачи пилы оператором и автоматически.
3. Включение подачи доски автоматически.
4. Остановка оператором всех электродвигателей. Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S_1} \cdot (S_2 + K_{1.2}) \cdot [K_1 + (S_3 + K_{2.2} \cdot S_2Q + S_1Q) K_2],$$

где K_1, K_2 - магнитные усилители; S_1Q, S_2Q - путевые выключатели.

В а р и а н т 3

Принципиальная схема управления электродвигателем пилы и механизма подачи, при этом предусматривается возможность подачи материала только на работающую пилу. Схема обеспечивает следующий цикл:

1. Пуск оператором привода пилы.
2. Пуск оператором привода подачи.
3. Остановка оператором пилы и подачи одновременно или только подачи.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S_1} \cdot [(S_2 + K_{1.2}) \cdot K_1 + \overline{S_3} \cdot (S_4 + K_{2.2}) \cdot K_{1.3} \cdot K_2],$$

где K_1, K_2 - магнитные пускатели.

В а р и а н т 4

Принципиальная схема управления электроприводом (приводом подачи станка), обеспечивающая следующий цикл:

1. Пуск привода оператором вперед и назад.
2. Автоматические реверс привода в конце хода вперед.
3. Автоматическая остановка в конце хода назад.
4. Остановка привода оператором в любом положении.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S1} \cdot [(S2 + K1.2) \cdot \overline{SYQ} \cdot \overline{K2.3} + (S3 + K2.2 + SYQ) \cdot \overline{SSQ} \cdot K1.3 \cdot K2],$$

где $K1$ и $K2$ - магнитные пускатели; SYQ и SSQ - путевые выключатели.

В а р и а н т 5

Принципиальная схема управления электроприводом перегрузочного устройства для передачи материала с продольного движения на поперечное (например, брусковых деталей с роликового транспортера на шипорезный станок). Схема обеспечивает выполнение следующих операций:

1. Пуск привода продольного транспортера оператором.
2. Перегрузочное устройство включается автоматически перемещаемой деталью с помощью электромагнита.
3. Остановка привода оператора в любом положении.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S1} \cdot [(S2 + K1.2) \cdot \overline{S1Q} \cdot K1 + (S1Q + K2.1) \cdot K1.3 \cdot K2 + K2.2 \cdot K3],$$

где, $K1$ - магнитный пускатель, $K2$ - промежуточное реле, $K3$ - электромагнит, $S1Q$ - конечный выключатель.

В а р и а н т 6

Принципиальная схема управления электроприводом механизма для подачи бревен из бассейна на бревнотаску. Схема должна обеспечивать выполнение следующих операций:

1. Включение привода оператором.
2. Отключение привода механизма при наличии бревна в зоне гидроускорителей и продольной бревнотаски.
3. Автоматическое включение механизма при удавлении бревна с помощью бревнотаски.
4. Остановка привода в любом положении. Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S1} \cdot (S2 + K2.1) \cdot \{ [(S1Q + S3) \cdot \overline{S2Q} \cdot K1] + K2 \},$$

где $K1$ - магнитный пускатель, $K2$ - промежуточное реле, $S1Q$ -

конечный выключатель в зоне ускорителя, $S2Q$ - выключатель отключения механизма.

В а р и а н т 7

Принципиальная схема управления электроприводом механизма, обеспечивающая выполнение следующих операций:

1. Включение привода оператором в наладочном режиме.
2. Включение и отключение привода оператором в непрерывном режиме.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = (S1 + K2.1) \cdot K1 + \overline{S2} \cdot (S3 + K2.2) \cdot K2,$$

где $K1$ - магнитный пускатель, $K2$ - промежуточное реле.

В а р и а н т 8

Принципиальная схема управления двухсекционным транспортером, исключающая возможность образования заторов при передаче бревен с первой секции на вторую и обеспечивающая выполнение следующих операций:

1. Пуск первой секции только после пуска второй секции.
2. Остановка первой секции после остановки второй секции.
3. Остановка оператором всех приводов в любом положении.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S1} \cdot [(S2 + K2.2) \cdot K2 + (SY + K1.2) \cdot K2.3 \cdot K1],$$

где $K1$ и $K2$ - магнитные пускатели для управления двумя электродвигателями.

В а р и а н т 9

Принципиальная схема управления электроприводом транспортера автопитателя для загрузки щитов, реализующая следующие операции:

1. Пуск привода оператором или от путевого выключателя загрузочной платформы в исходном положении.
2. Отключение привода при поступлении пакета щитов на загрузочную платформу.
3. Остановка привода оператором в любое время цикла загрузки.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид

$$y = \overline{S1} \cdot [(S2 + K1.2 + S1Q) \cdot \overline{S2Q} \cdot K1 + \overline{K1.3} \cdot S2Q \cdot K2],$$

где $K1$ - магнитный пускатель, $S1Q$, $S2Q$ - путевые выключатели, $K2$ - электромагнит.

В а р и а н т I O

Принципиальная схема управления электродвигателя кантователя щитов. Схема обеспечивает выполнение следующих операций:

1. Автоматический пуск двигателя кантователя от путевого первого выключателя, на который воздействует щит на входном рогадьгане.

2. Угол поворота ротора кантователя задается положением второго путевого выключателя.

3. Блокировка от третьего путевого выключателя при наличии щита на выходном рогадьгане.

4. Пуск и остановка электродвигателя оператором.

Логическая функция алгоритма управления имеет вид:

$$y = \overline{S1} \cdot (S2 + S1Q + K1.2 \cdot \overline{S2Q}) \cdot S3Q \cdot K1$$

где $K1$ - магнитный пускатель, $S1Q + S3Q$ - путевые выключатели.

Методические указания к решению задачи

Для решения задачи синтеза электрической схемы управления необходимо использовать сведения о релейно-контактных схемах систем промышленного автоматизации, представленных в литературе [1].

При вычерчивании схемы следует расположить цепи питания привода (главные цепи) слева, цепи управления - справа. В цепи питания привода необходимо показать автоматический выключатель SF , обмотки тепловых реле $F1, F2$, контакты магнитных пускателей. В цепях управления последовательному соединению элементов соответствует операция логического умножения, а параллельному соединению - логическая операция сложения. Здесь, также, необходимо показать элементы, предохраняющие цепь управления от короткого замыкания и контакты тепловых реле.

Примером синтеза принципиальной схемы управления электроприводом схема на рис. 4, реализующая алгоритм управления (электродвигатель вентилятора).

$$y = \overline{S1} \cdot (S2 + K1.2) \cdot S1Q \cdot K1$$

При включении автоматического выключателя получает питание цепь управления. Пуск двигателя происходит при воздействии на кнопку

$S2$, при этом получает питание магнитный пускатель $K1$. При срабатывании магнитного пускателя $K1$, замыкаются контакты $K1.1$ в

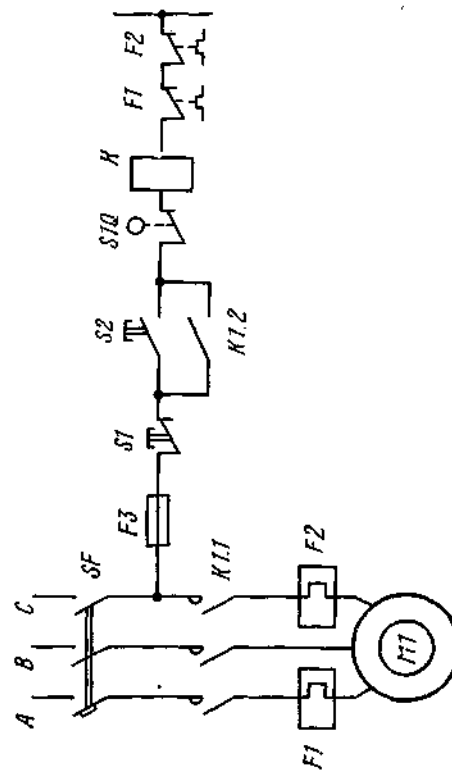


Рис. 4. Электрическая схема управления электроприводом

цепи питания двигателя, контакты KI.2, шунтирующие пусковую кнопку S2. Для защиты схемы управления от короткого замыкания служит автоматический выключатель SF, а защита двигателя от перегрева - тепловые реле F1 и F2. Остановка двигателя возможна при воздействии на кнопку "Стоп" (S1) или срабатывает блокировка (размыкается контакт S1Q).

Литература

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1980.
2. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. М.: Машиностроение, 1972.
3. Элементы и системы гидропневматики: Методические указания к практическим занятиям. Л.: ЛТА, 1984.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Таблица значений показательной функции e^{-x}

x	e^{-x}	x	e^{-x}	x	e^{-x}
0,00	1,000	1,05	0,350	2,70	0,067
0,05	0,951	1,10	0,333	2,80	0,061
0,10	0,905	1,15	0,316	2,90	0,055
0,15	0,861	1,20	0,301	3,00	0,049
0,20	0,819	1,25	0,286	3,10	0,045
0,25	0,779	1,30	0,272	3,20	0,041
0,30	0,741	1,35	0,259	3,30	0,037
0,35	0,705	1,40	0,247	3,40	0,033
0,40	0,670	1,45	0,234	3,50	0,030
0,45	0,637	1,50	0,223	3,60	0,027
0,50	0,606	1,55	0,212	3,70	0,025
0,55	0,577	1,60	0,202	3,80	0,022
0,60	0,549	1,65	0,193	3,90	0,020
0,65	0,522	1,70	0,183	4,00	0,018
0,70	0,469	1,75	0,175		
0,75	0,472	2,00	0,135		
		2,10	0,122		

Продолжение таблицы

x	e^{-x}	x	e^{-x}	x	e^{-x}
0,80	0,449	2,20	0,110		
0,85	0,427	2,30	0,100		
0,90	0,406	2,40	0,091		
0,95	0,387	2,50	0,082		
1,00	0,368	2,60	0,074		

Приложение 2

Расчет времени отпущения реле на микроЭВМ
"Электроника ДЗ-28"

Расчет времени отпущения реле ведется на микроЭВМ по разработанной программе. В качестве исходных данных расчета используются значения $\alpha_1, \alpha_2, A_1, A_2, T$. Эти значения предварительно записываются в памяти машины. Выбирается и вводится в память машины шаг h расчета точек процесса $i = f(t)$. Величина h назначается в долях T , первоначально рекомендуется принять $h = 0,3 T$.

Включение программы расчета времени отпущения реле в автоматическом режиме позволяют получить значения тока отключения реле для различных значений времени и окончательное время отпущения реле.

Процедура расчета времени изменения тока в контуре включает следующие операции:

1. В оперативное запоминающее устройство ЭВМ вводится программа расчета (табл. П.2.1).

Таблица П.2.1

Шаг	Команда	Шаг	Команда	Шаг	Команда
000	04 08 00 08	019	12 15	038	0508
002	04 15 00 06	020	04 05 00 08	039	04 03 00 03
004	04 05 00 00	022	06 02	041	14 03 00 06
006	06 02	023	06 06	043	07 01
007	12 14	024	06 14	044	04 00 00 00
008	04 05 00 01	025	06 06	046	04 07 00 00

Продолжение табл. П.2.1

Шаг	Команда	Шаг	Команда	Шаг	Команда
010	06 02	026	04 05 00 04	048	05 15
011	06 06	028	06 02	049	04 05 00 00
012	06 14	029	04 05 00 09	051	04 15 00 06
013	06 06	031	06 00	053	06 02
014	04 05 00 03	032	04 05 00 00	054	05 45
016	06 02	034	04 12 06 15	055	05 12
017	04 14 00 09	036	04 05 00 07		

2. Числовые значения α_1 , α_2 , A_1 , A_2 , T , h , $I_{отг}$ вводятся в память ЭВМ в клавиатуры согласно табл. П.2.2; СД - обозначение десятичной ячейки, j - номер расчетной точки; вначале вводится $j = 0$.

Таблица П.2.2

Номер СД	0	1	2	3	4	5	6	7	
(СД)	j	α_1	α_2	A_1	A_2	T	h	$I_{отг}$	

3. Нажатием на клавиши ξ , С запускается программа; на табло индикации кратковременно высвечивается: номер расчетной точки j - в регистре X, значение тока в контуре в этот момент i_j - в регистре Y.

4. По окончании расчета на табло индикации будет:

$$(Y) = i_{отг}, \quad (X) = j \quad - \text{число точек.}$$