

Вурье Б.А., Гордюхин А.А.

СИНТЕЗ МНОГОРЕЖИМНЫХ ГИДРОПНЕВМОАГРЕГАТОВ

1. Введение. В последнее время происходит широкое внедрение в промышленность систем гидропневмоагрегатов промышленных роботов, подъемно-транспортных машин, автоматических линий и других сложных машин-автоматов. Активному внедрению пневмоагрегатов в промышленность оказывают относительная простота конструкции и эксплуатации; большой срок службы; надежность работы в низком диапазоне температур в условиях большой влажности, запыленности и радиации окружающей среды; пожаро- и взрывобезопасность и др. Итак, дальнейшее повышение эффективности и качества проектирования пневмоагрегатов приобретает все большее значение.

2. Постановка проблемы. Автоматизированное проектирование многорежимных гидропневмоагрегатов связано с проведением таких этапов как: математическое моделирование описания работы системы управления в виде графа операций, описывающего различные контуры работы системы; выделения контуров в графе операций; составление минимального описания системы управления в виде матрицы соответствий; получения минимальной системы уравнений, описывающих схему; реализация уравнений средствами гидропневмоавтоматики с целью получения минимальной схемы.

3. Литературный обзор. При синтезе систем гидропневмоагрегатов используется стандартная позиционная структура, имеющая известные преимущества, основным недостатком которой является сложность схем. Частичная минимизация стандартной позиционной структуры была предложена в работах Юдицкого С.А., Goedecke W., Belforte G., и др. [1–3].

Метод полной минимизации стандартной позиционной структуры был впервые предложен Черкашенко М.В. [4]. Он основан на синтезе минимального графа операций и синтезе уравнений с использованием матрицы соответствий [4,5].

4. Основная часть. В настоящей работе рассмотрены этапы автоматизированного проектирования рациональных схем автоматических манипуляторов. Показана возможность синтеза многорежимных схем гидропневмоагрегатов. Метод проектирования покажем на примере синтеза пневматической системы управления автоматического манипулятора.

Работа манипулятора осуществляется следующим образом.

Исполнительными устройствами манипулятора служат пневматические цилиндры Ц1-Ц5. Взаимодействие входных и исполнительных устройств показано в табл. 1. Описание работы манипулятора представим в виде графа операций [1].

Под графом операций понимают ориентированный граф, вершины которого однозначно отвечают операциям технологического процесса, а дуги – переходам от одних операций к другим. На дугах графа операций записываются секвенции вида $X_\gamma \mapsto z_\nu$ (т.е. формулы типа "если справедливо условие X_γ , то справедливо условие z_ν "). Здесь X_γ представляет собой входной набор, который содержит выходы X_C узлов, воздействия X_B от органов ручного управления и др. Набор X_γ переводит систему от одних

операцій к другим. Выходной набор z_v содержит входы узлов, которые изменили свои значения на данном переходе.

Таблица 1 – Взаимодействие входных и исполнительных устройств

Исполнительные устройства		Входные сигналы	
Обозначение	Наименование	Исходное положение	Конечное положение
Ц1	Выдвижение руки	x_2	x_3
Ц2	Захват	x_4	x_5
Ц3	Подъем руки	x_6	x_7
Ц4	Поворот руки		
Ц5	Отвод заготовки		

x_1 – кнопка пуска; \bar{x}_{10} – непредвиденная ситуация (отсутствие детали, неправильное месторасположение и т.п.)

В основу алгоритма выделения контуров в орграфе в данном случае положено нахождения определителя матрицы и выбор из множества слагаемых подмножества, которое отвечает множеству контуров рассматриваемого орграфа.

Пусть задан граф операций G (рис. 1).

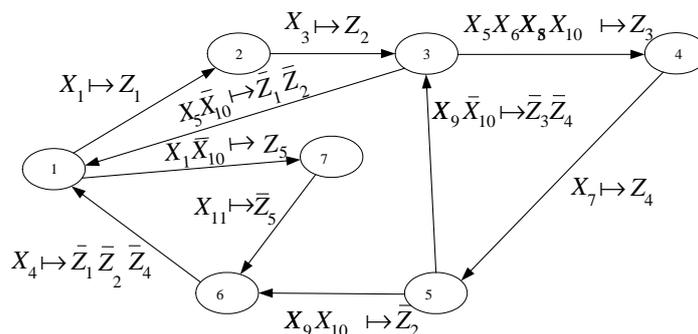


Рисунок 1 – Граф операций манипулятора

Матрица смежности его вершин

$$R = \begin{pmatrix} 0 & x_1 \mapsto z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 x_{10} \mapsto z_3 \\ 0 & 0 & x_3 \mapsto z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_5 \bar{x}_{10} \mapsto \bar{z}_1 \bar{z}_2 & 0 & 0 & x_5 x_{10} \mapsto z_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_7 \mapsto z_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_9 \bar{x}_{11} \mapsto \bar{z}_3 \bar{z}_4 & 0 & 0 & x_9 x_{11} \mapsto z_1 & 0 \\ x_3 \mapsto \bar{z}_1 \bar{z}_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_7 \mapsto \bar{z}_3 & 0 \end{pmatrix}$$

Приводим заданную матрицу R к виду $R \cup E$, где E – единичная матрица, и вычисляем ее определитель

$$R = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \mapsto z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 x_{10} \mapsto z_3 \\ 0 & 1 & x_3 \mapsto z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_5 \bar{x}_{10} \mapsto \bar{z}_1 z_2 & 0 & 1 & x_5 x_{10} \mapsto z_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_7 \mapsto z_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_9 \bar{x}_{11} \mapsto \bar{z}_3 \bar{z}_4 & 0 & 1 & x_9 x_{11} \mapsto z_1 & 0 \\ x_3 \mapsto \bar{z}_1 \bar{z}_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_7 \mapsto \bar{z}_3 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Delta = 1 + (x_1 \mapsto z_1)(x_3 \mapsto z_2)(x_5 x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto z_4)(x_9 x_{11} \mapsto z_1)(x_3 \mapsto \bar{z}_1 \bar{z}_4) + (x_5 x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto z_4)(x_9 \bar{x}_{11} \mapsto \bar{z}_3 \bar{z}_4) + (x_1 \mapsto z_1)(x_3 \mapsto z_2)(x_5 \bar{x}_{10} \mapsto \bar{z}_1 z_2) - (x_1 x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto \bar{z}_3)(x_3 \mapsto \bar{z}_1 \bar{z}_4) - (x_1 x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto \bar{z}_3)(x_3 \mapsto \bar{z}_1 \bar{z}_4)(x_5 x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto z_4)(x_9 \bar{x}_{11} \mapsto \bar{z}_3 \bar{z}_4).$$

Контуры (или группа контуров, которые не имеют пересекающихся вершин отвечают слагаемым определителя Δ матрицы $R \cup E$, так как в соответствии с определением слагаемые определителя находят как $\sum_{u_{1\alpha} u_{2\beta} \dots u_{n\omega}}$, где $u_{1\alpha}$ и т.д. – соответствующие элементы матрицы $\alpha, \beta, \dots, \omega$ пробегают все возможные значения ($A(!)$ перестановок из чисел $1 \dots n$), т.е. каждое слагаемое содержит по одному элементу из каждой строки и каждого столбца матрицы $R \cup E$.

В то же время любая подматрица R' (где $\cup R' = R$), отвечающая одному контуру или группе контуров, не имеющих вершин, которые пересекаются, содержит также не больше одного элемента в каждой строке и столбце, поскольку в каждую вершину контура входит и из нее выходит одна дуга. Итак, контуры или группы контуров, которые не имеют пересекающихся вершин, отвечают слагаемым, образованным элементами $U \in u_{ij}$ и единицами главной диагонали.

Для выделения из слагаемых определителя Δ подмножества слагаемых, которые отвечают контурам графа G , необходимо выбрать такие слагаемые, в которых

$$t_{\min} = n - 1, \tag{1}$$

где t_{\min} – минимальное число транспозиций (основных перестановок) матрицы $E = \parallel u_{ii} \parallel$, необходимое для получения рассматриваемого слагаемого.

Под транспозицией понимается операция обмена вторыми индексами двух элементов матрицы смежности вершин графа. Так, для элементов u_{ij} и $u_{\xi\zeta}$ после применения операции транспозиции получаем $u_{i\zeta}$ и $u_{\xi j}$.

Можно показать, что контур, который содержит n вершин, может быть синтезирован $n - 1$ транспозицией. Итак, слагаемые, которые отвечают группам контуров, не удовлетворяют условию (1), поскольку в этом случае $n - t_{\min} > 1$.

Минимальное число транспозиций для синтеза одного контура может быть получено последовательным сканированием строк подматрицы R' , отвечающей ему, и транспозицией элемента u_{ij} на соответствующее место.

Например, слагаемое $(x_1 \mapsto z_1)(x_3 \mapsto z_2)(x_5x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto z_4)(x_9x_{11} \mapsto z_1)(x_3 \mapsto \bar{z}_1\bar{z}_4)$ может быть получено из матрицы $E = \|u_{ii}\|$ в результате пяти транспозиций, указанных

в следующих преобразованиях: $\begin{pmatrix} u_{11}u_{22}u_{33}u_{44}u_{55}u_{66} \\ u_{12}u_{21}u_{33}u_{44}u_{55}u_{61} \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} u_{12}u_{21}u_{33}u_{44}u_{55}u_{66} \\ u_{12}u_{23}u_{31}u_{44}u_{55}u_{66} \end{pmatrix};$
 $\begin{pmatrix} u_{12}u_{23}u_{31}u_{44}u_{55}u_{66} \\ u_{12}u_{23}u_{34}u_{41}u_{55}u_{66} \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} u_{12}u_{23}u_{34}u_{41}u_{55}u_{66} \\ u_{12}u_{23}u_{34}u_{45}u_{51}u_{66} \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} u_{12}u_{23}u_{34}u_{45}u_{51}u_{66} \\ u_{12}u_{23}u_{34}u_{45}u_{56}u_{61} \end{pmatrix}.$

Итак, слагаемое, которое рассматривается, удовлетворяет условию (1), и элементы данного слагаемого отвечают элементам, нагружающим дуги одного контура графа.

Аналогично находим, что элементам, нагружающим ребра контуров графа, отвечают следующие слагаемые: $(x_5x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto z_4)(x_9\bar{x}_{11} \mapsto \bar{z}_3\bar{z}_4),$
 $(x_1 \mapsto z_1)(x_3 \mapsto z_2)(x_5\bar{x}_{10} \mapsto \bar{z}_1\bar{z}_2), (x_1x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto \bar{z}_3)(x_3 \mapsto \bar{z}_1\bar{z}_4).$

Лишь $(x_1x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto \bar{z}_3)(x_3 \mapsto \bar{z}_1\bar{z}_4)(x_5x_{10} \mapsto z_3)(x_7 \mapsto z_4)(x_9\bar{x}_{11} \mapsto \bar{z}_3\bar{z}_4)$ не удовлетворяет условию (1) и отвечает двум контурам с непересекающимися вершинами. Итак, все слагаемые определителя, которые удовлетворяют условию (1), являются контурами.

Построим матрицу [5] соответствий для контура, включающего вершины 1,2,3,4,5,6, которая имеет вид

	x_1x_2	x_3x_6	$x_5x_6x_8x_{10}$	x_7	x_6x_9	x_4x_7
$x_2x_4x_6x_8 \mapsto \emptyset$	0	0	0	0	0	1
$x_1x_2, x_4x_6x_8 \mapsto z_1$	1	0	0	0	0	1
$x_3, x_4x_6x_8 \mapsto z_2$	0	1	0	0	0	1
$x_5x_6x_8x_{10}x_3 \mapsto z_3$	0	1	1	0	0	0
$x_7, x_3x_5x_8 \mapsto z_4$	0	1	0	1	0	0
$x_9x_{10}, x_3x_5x_7 \mapsto \bar{z}_2$	0	1	0	1	1	0
$x_4, x_3x_7x_9 \mapsto \bar{z}_1\bar{z}_3\bar{z}_4$	0	1	0	1	1	1

Здесь жирные единицы соответствуют переходам, а наклонные – требующие устранения. Поэтому во втором столбце добавлен сигнал x_6 , а в последнем – сигнал x_7 . Из матрицы и по графу с условием переключения режимов получаем следующую систему уравнений:

$$z_1 = x_1x_2; \quad z_2 = x_3x_6; \quad z_3 = x_5x_6x_8x_{10}; \quad z_4 = x_7; \quad z_5 = x_1\bar{x}_{10}; \quad \bar{z}_1 = x_4x_7 + x_5\bar{x}_{10};$$

$$\bar{z}_2 = x_9x_{10} + x_5\bar{x}_{10}; \quad \bar{z}_3 = x_4x_7 + x_9\bar{x}_{10}; \quad \bar{z}_4 = x_4x_7 + x_9\bar{x}_{10}; \quad \bar{z}_5 = x_{11}.$$

Далее следует определить наиболее повторяющиеся фрагменты уравнений, т.е. выделить их общие части, а именно ввести в систему уравнений множество W наиболее часто повторяющихся общих частей. При автоматизированном проектировании следует построить матрицу R_{G_m} непосредственно по элементарным конъюнкциям системы уравнений. Строки и столбцы матрицы соответствуют переменным, а на пересечении строки и столбца ставится 1, если переменная входит 1 раз в конъюнкцию, 2 –

если входит 2 раза и т.д. Матрица R_{G_m} симметрична относительно главной диагонали и имеет вид

$$R_{G_m} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 & x_{10} & \bar{x}_{10} & x_{11} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \\ \bar{x}_{10} \\ x_{11} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 \\ & & & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & & & & & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & 0 & 1 & 2 & 0 \\ & & & & & & & & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & & & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Из матрицы видно, что наиболее часто повторяются выражения $x_4x_7 - 3$ раза, $x_5\bar{x}_{10}$ и $x_9\bar{x}_{10} - 2$ раза и т.д. Преобразованная система уравнений имеет вид

$$w_1 = x_4x_7; w_2 = x_5\bar{x}_{10}; w_3 = x_9\bar{x}_{10}; z_1 = x_1x_2; z_2 = x_3x_6; z_3 = x_5x_6x_8x_{10}; z_4 = x_7; z_5 = x_1\bar{x}_{10}; \bar{z}_1 = w_1 + w_2; \bar{z}_2 = x_9x_{10} + w_2; \bar{z}_3 = \bar{z}_4 = w_1 + w_3; \bar{z}_5 = x_{11}.$$

По полученной системе уравнений построим схему манипулятора (рис. 2) [5,6].

Таким образом, представленный метод автоматизированного проектирования систем управления пневмоагрегатов является эффективным и позволяет получить технико-экономический эффект.

Литература

1. Юдицкий С.А. К вопросу описания и синтеза дискретных систем промышленной автоматики// Техническая кибернетика.– 1976.– №1.– С. 131–141.
2. Belforte G. Progettazione di circuiti pneumatici par sistemi flessibili e con intelligenza artificiale: aspetti energetici// Fluid apparecchiature idrauliche e pneumatiche.– 1983.– N225.– P. 65–69.
3. Goedecke W.D. Bemerkungen zum gesprach taktkett contra lodic?// Olhydraulic and pneumatik.– 1978.– N12.– P. 678–680.
4. Cherkashenko M. and ets. Synthesis of discrete control systems of industrial robots// Automation and Remote Control (USA).– 1981.– V42, N5.– P. 676–680.

5. Черкашенко М.В. Метод логического проектирования дискретных систем управления машин-автоматов с пневмо- или гидроприводом. Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления.– М.: Машиностроение, 1981. Вып. 8.– С. 181–189.

6. Черкашенко М.В. Синтез минимальных схем гидропнеumoагрегатов / Под ред. Вурье Б.А.– М.: Пневмогидромашины.– 2013.– 265 с.

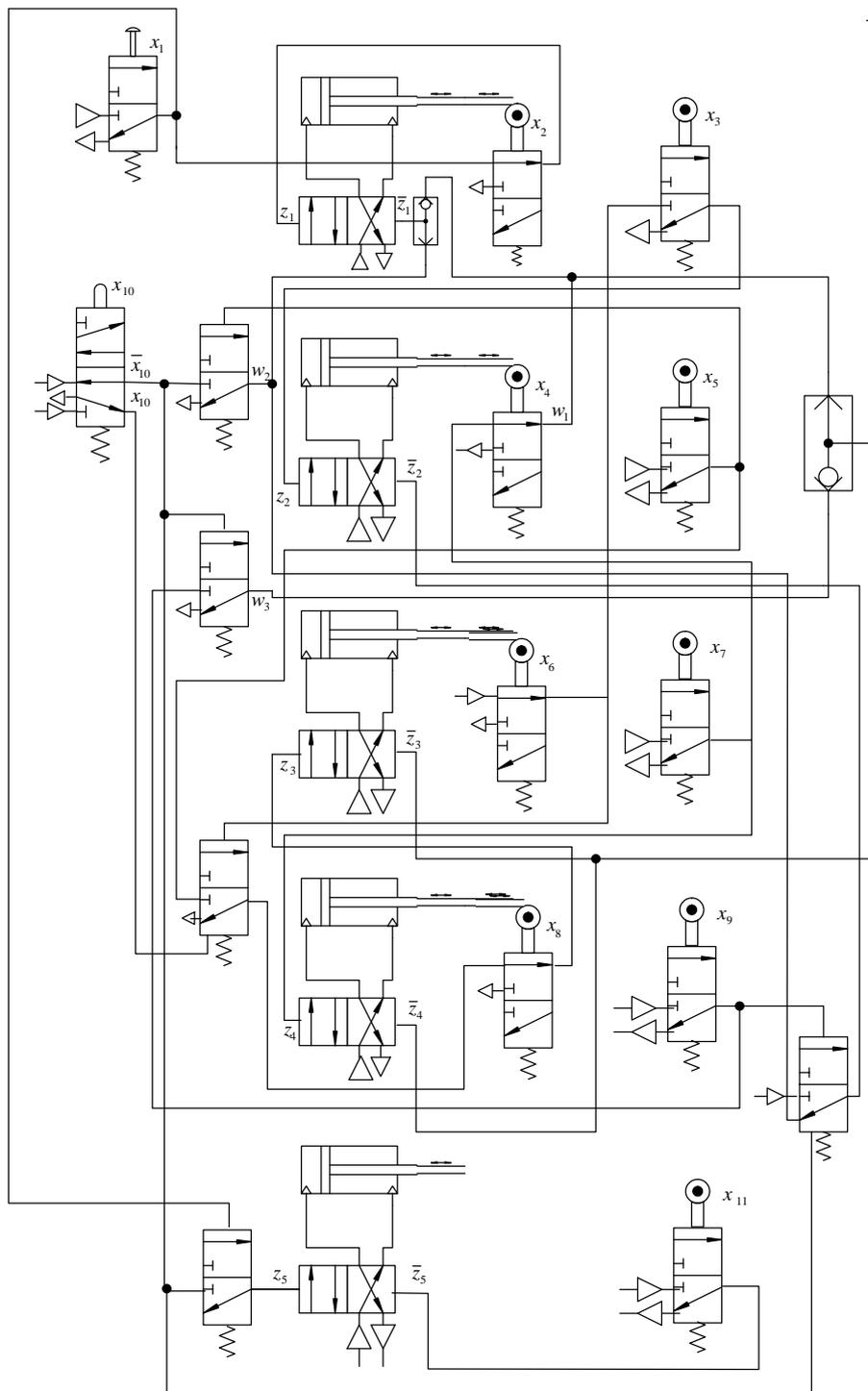


Рисунок 2 – Пневматическая схема манипулятора

Bibliography (transliterated)

1. Yuditskiy S.A. K voprosu opisaniya i sinteza diskretnyih sistem promyshlennoy avtomatiki Tehnicheskaya kibernetika.– 1976.– #1.– P. 131–141.
2. Belforte G. Progettazione di circuiti pneumatici par sistemi flessibili e con intelligenza artificiale: aspetti energetici Fluid apparecchiature idrauliche e pneumatiche.– 1983.– N225.– P. 65–69.
3. Goedecke W.D. Bemerkungen zum gesprach taktkett contra lodic? Olhydraulic and pneumatik.– 1978.– N12.– P. 678–680.
4. Cherkashenko M. and ets. Synthesis of discrete control systems of industrial robots Automation and Remote Control (USA).– 1981.– V42, N5.– P. 676–680.
5. Cherkashenko M.V. Metod logicheskogo proektirovaniya diskretnyih sistem upravleniya mashin-avtomatov s pnevmo- ili gidroprivodom. Pnevmatika i gidravlika. Privodyi i sistemy upravleniya.– M.: Mashinostroenie, 1981. Vyip. 8.– P. 181–189.
6. Cherkashenko M.V. Sintez minimalnyih shem gidropnevmoagregatov Pod red. Vure B.A.– M.: Pnevmo gidromashiny.– 2013.– 265 p.

УДК 621.225

Вур'є Б.О., Гордюхин О.О.

СИНТЕЗ БАГАТОРЕЖИМНИХ ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИВ

Розглянуто етапи автоматизованого проектування раціональних схем автоматичних маніпуляторів. Показана можливість синтезу багаторежимних схем гідропневмоагрегатів.

Vurye B.A. Gorduhin A.A.

SYNTHESIS OF MULTIMODE HYDROPNEUMOUNITS

Stages of the automated designing of rational schemes of automatic manipulators are considered examined. The opportunity of synthesis of multimode schemes of hydropneumounits is shown.