УДК 62-82.001.2

Черкашенко М.В.

# СИНТЕЗ СХЕМ ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКИ

**Введение**. Одним из основных критериев синтеза комбинационных схем систем гидропневмоавтоматики является минимальность по числу элементов и модулей. Это способствует снижению стоимости, повышению быстродействия, упрощению наладки и эксплуатации технологического объекта, оснащенного системой гидропневмоавтоматики.

Существуют два принципа построения схем – раздельной и безраздельной декомпозиции уравнений [1–8]. Принцип раздельной декомпозиции основан на выделении фрагментов, содержащих то количество переменных (обычно двух, трех) , которое реализуется известными схемами в заданном базисе. Затем проводится композиция полученных фрагментов. Принцип безраздельной декомпозиции основан на разложении уравнений по $n-1$ переменной и вычислении остаточных функций.

**Основная часть**. Целью настоящей статьи является представление разработанного автором ***метода безраздельной декомпозиции уравнений*** в современной редакции, учитывающей последние разработки, и позволяющего синтезировать минимальные по числу элементов и модулей схемы гидропневмоавтоматики.

Данный метод состоит из следующих разделов.

1. Анализ серийно выпускаемых элементов и модулей систем гидропневмоавтоматики с использованием упрощенных таблиц состояний.
2. Разработка базовых схем разложения уравнений по одной и двум переменным.
3. Непосредственное разложение уравнений путем определения переменных разложения и вычисления остаточных функций.
4. Реализация остаточных функций путем их дальнейшего разложения либо с использованием полученных (по пункту 1) схемных решений.

**Анализ элементов и модулей схем гидропневмоавтоматики**. Покажем построение упрощенной таблицы состояний за счет рассмотрения различных состояний лишь для управляющих входов распределительной аппаратуры [9]. Размерность таблицы в этом случае составит для одного управляющего входа $2m$, а для двух управляющих входов $4m$, где $m$ – число выходов. Это позволяет получить удобный аппарат анализа. Отметим, что размерность обычной таблицы состояний - $2^n(n+m)$ .

Составим таблицу состояний для управляющих входов, а в столбцах для выходов будем записывать соответствующие настроечные входы, если сигнал на рассматриваемом выходе равен 1, и 0 – в противном случае. На рис. 1 показан гидравлический либо пневматический распределитель. Каналы распределителей отмечены цифрами, соответствующими международной маркировке.

Таким образом, построенная таблица для двух управляющих входов имеет вид (см. табл. 1).

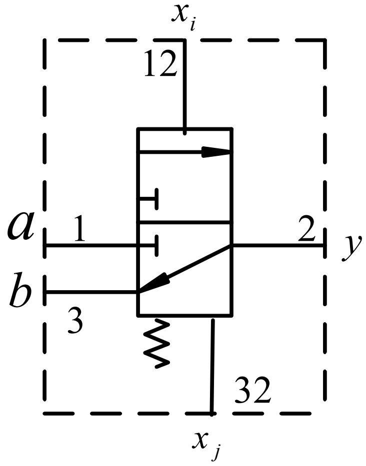



Рисунок 1 – Распределитель

Таблица 1

| Для двух управляющих входов $x_i / x_j$ | Выход $y$ |
|---|---|
| $\bar{x}_i \bar{x}_j$ | $b$ |
| $\bar{x}_i x_j$ | $b$ |
| $x_i \bar{x}_j$ | $a$ |
| $x_i x_j$ | $b$ |

Так, находим для двух управляющих входов $y = b(\bar{x}_i \bar{x}_j + \bar{x}_i x_j + x_i x_j) + a x_i \bar{x}_j = b(\bar{x}_i + x_j) + a x_i \bar{x}_j$ .

Основанием для безраздельной декомпозиции является сопоставление уравнений, реализующихся на выходах устройств с формулой Шеннона разложения логической функции по двум и одной переменным.

Формула разложения функции по двум переменным имеет вид

$$y = \bar{x}_i \bar{x}_j g + \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b + x_i x_j q \ . \tag{1}$$

Здесь $g = f_0(0,0)$ ; $c = f_1(0,1)$ ; $b = f_2(1,0)$ ; $q = f_3(1,1)$ – остаточные функции от разложения, меньшие исходной на два порядка.

Схема 3 в табл. 2 [10] реализует уравнение

$$y = (\bar{x}_i \bar{x}_j + x_i x_j) d + \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b \ . \tag{2}$$

Если принять $d = \bar{x}_i g + x_i q = \bar{x}_i f_0(0,0) + x_i f_3(1,1)$ ; $c = f_1(0,1)$ ; $b = f_2(1,0)$ и подставить в уравнение (2) выражения для $d, c$ и $b$ , то получаем $y_2 = (\bar{x}_i \bar{x}_j + x_i x_j)(\bar{x}_i g + x_i q) + \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b$ , и далее, раскрывая скобки, имеем уравнение (1).

Схема 2 в табл. 2 реализует уравнение [4]

$$y = (\bar{x}_i + x_j) a + x_i \bar{x}_j b \ . \tag{3}$$

Если принять $a = \bar{x}_j g + x_i q + \bar{x}_i x_j c = \bar{x}_j f_0(0,0) + x_i f_3(1,1) + \bar{x}_i x_j f_1(0,1)$ ; $b = f_2(1,0)$ и подставить в уравнение (3) выражения для $a$ и $b$ , то получаем $y = (\bar{x}_i + x_j)(\bar{x}_j g + x_i q + \bar{x}_i x_j c) + x_i \bar{x}_j b$ , и далее, раскрывая скобки, имеем уравнение (3). Схема 1 в табл. 2 реализует уравнение

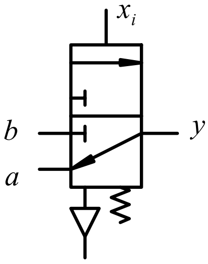
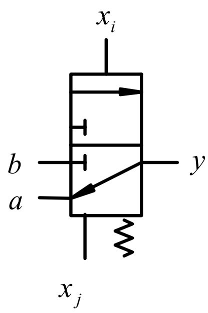
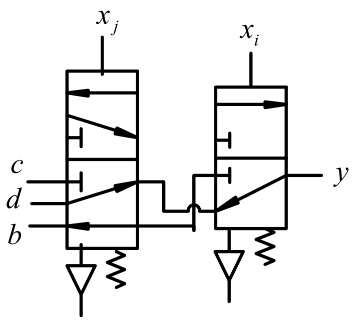
$$y = \bar{x}_i a + x_i b \ . \tag{4}$$

Если принять $a = f_0(0); b = f_1(1)$ , то получаем формулу $y = \bar{x}_i f_0(0) + x_i f_1(1)$ разложения логической функции по одной переменной, позволяющей понизить уравнение на один порядок.

Отметим, что при разложении системы функций целесообразно воспользоваться модулем [11].

*Алгоритм реализации схемы* представлен на рис. 3. Представляем логическое уравнение в минимизированном виде в дизъюнктивной нормальной форме. Проверяем функцию на минимальность. Затем, если функция бесповторная, то обращаемся к реализации по табл. 3. Если число повторений переменной или ее инверсии в слагаемых равно единице, то реализацию целесообразно провести по схеме 1 табл. 2. Если число повторений два и более, то проводим разложение функции по двум переменным (схемы 2 и 3 табл. 2). Далее, если остаточные функции бесповторные, то проводим их реализацию по табл. 3, в противном случае остаточные функции представляем как исходную, и проводим их реализацию по алгоритму (рис. 3).

Таблица 2

| Схема реализации функции | Функция входов | Остаточные функции |
|---|---|---|
| 1   | $y = \bar{x}_i a + x_i b$ | $a = f_0(0)$;<br>$b = f_1(1)$ |
| 2   | $y = (\bar{x}_i + x_j)a + x_i \bar{x}_j b$ | $b = f_2(1{,}0)$;<br>$a = \bar{x}_j f_0(0{,}0) + x_i f_3(1{,}1) +$<br>$+ \bar{x}_i x_j f_1(0{,}1)$ |
| 3   | $y = (\bar{x}_i \bar{x}_j + x_i x_j)d +$<br>$+ \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b$ | $b = f_2(1{,}0)$;<br>$c = f_1(0{,}1)$;<br>$d = \bar{x}_i f_0(0{,}0) + x_i f_3(1{,}1)$ |

Пусть задано уравнение в минимальной дизъюнктивной нормальной форме в виде:

$$z_1 z_5 + z_4 z_5 + \bar{z}_1 z_2 \bar{z}_4 + \bar{z}_1 z_3 \bar{z}_4 .$$

Проведем декомпозицию данного уравнения. Так как переменные $\tilde{z}_1$ и $\tilde{z}_4$ повторяются в слагаемых 3 раза (здесь волнистой линией показано как прямое, так и инверсное значение переменной), то в качестве переменных разложения целесообразно выбрать $x_i = z_1$ и $x_j = z_4$. Определим остаточные функции от разложения

$f_0(0,0) = z_2 + z_3$; $f_1(0,1) = z_5$; $f_2(1,0) = z_5$; $f_3(1,1) = z_5$. Здесь три одинаковые функции включают функцию $f_2(1,0)$. Следовательно заменяем переменную разложения $x_i = z_1$ на $x_i = \bar{z}_1$**.** Тогда $f_2(1,0) = z_2 + z_3$, а $f_0(0,0) = f_1(0,1) = f_3(1,1) = z_5$. Выбираем из тал. 2 схему разложения 2, функцию $f_2(1,0) = z_2 + z_3$ реализуем клапаном ИЛИ. Схема реализации функции представлена на рис. 4.

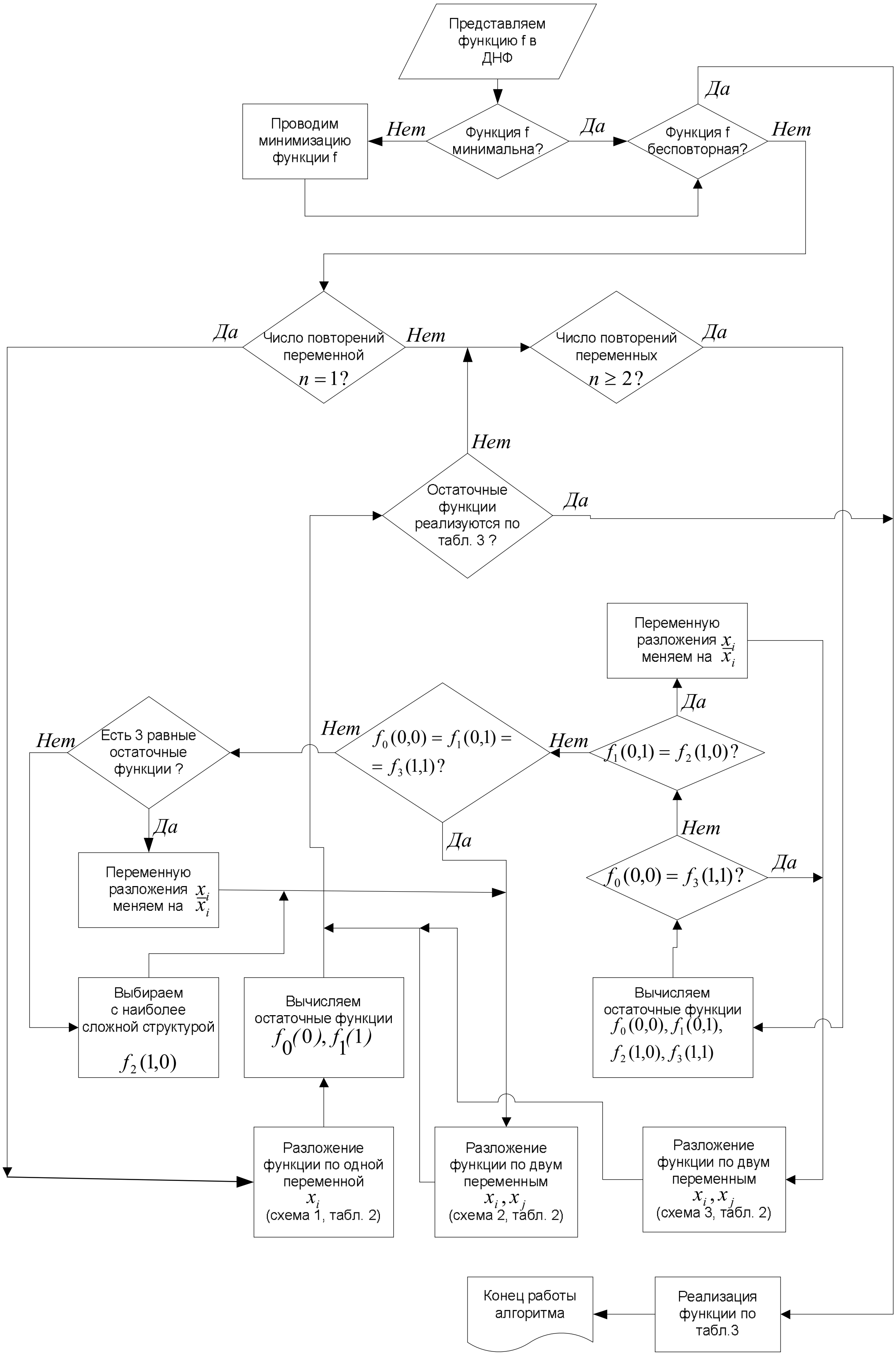



Рисунок 3 – Алгоритм синтеза схем

Таблица 3

| Функция входов | Настройка входов | | | | Функция на выходе 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 1 | 3 | 32 | |
| $y = x_3(\bar{x}_1 + x_4) + x_1 x_2 \bar{x}_4$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $y = x_3(\bar{x}_1 + x_4) + x_1 x_2 \bar{x}_4$ |
| | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | 0 | $y = \bar{x}_1 x_3 + x_1 x_2$ |
| | $x_1$ | $x_2$ | 0 | $x_4$ | $y = x_1 x_2 \bar{x}_4$ |
| | $x_1$ | 0 | $x_3$ | $x_4$ | $y = x_3(\bar{x}_1 + x_4)$ |
| | $x_1$ | $x_2$ | 1 | $x_4$ | $y = \bar{x}_1 + x_4 + x_2$ |
| | $x_1$ | 1 | $x_3$ | $x_4$ | $y = x_3 + x_1 \bar{x}_4$ |
| $y = \bar{x}_1 x_3 + x_1 x_2$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | 0 | $y = \bar{x}_1 x_3 + x_1 x_2$ |
| | $x_1$ | $x_2$ | 0 | 0 | $y = x_1 x_2$ |
| | $x_1$ | 0 | $x_3$ | 0 | $y = \bar{x}_1 x_3$ |
| | $x_1$ | $x_2$ | 1 | 0 | $y = x_2 + \bar{x}_1$ |
| | $x_1$ | 1 | $x_3$ | 0 | $y = x_1 + x_3$ |

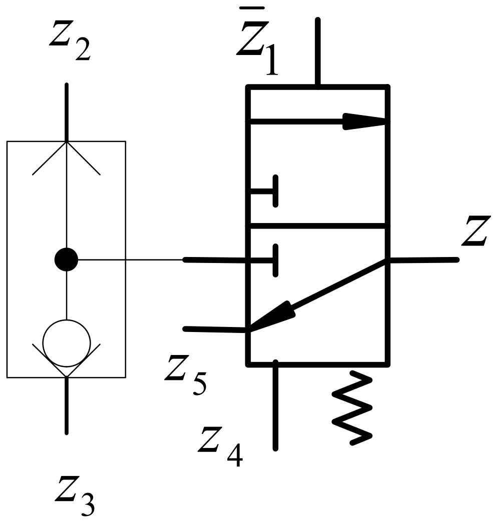



Рисунок 4 – Схема реализации функции $z$

Несмотря на то, что предложенный алгоритм предоставляет возможность синтезировать минимальные по числу аппаратов схемы, остаются нерешенными проблемы, связанные с упрощением самого алгоритма синтеза схем.

Литература


1. Cherkashenko M. and ets. Synthesis of discrete control systems of industrial robots // Automation and Remote Control (USA). – 1981.–№5.–P. 148–153.

2. Cherkashenko M. Computer-aided design of diskret control fluid pover system. 2 Internationales Fluid-technishes colloquium. Germany. 15–17 marz. – 2000. Band 1. – P. 495–500.

3. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation. International Fluid Power Symposium in Aachen, Germany. 20–22 March. 2006.– Fundamentals. The report N1.– P.147–154.

4. Черкашенко М.В. Синтез пневматических логических схем устройств управления системами пневмо– и гидроприводов. Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1984.– Вып. 10.– С. 144–149.

5. Черкашенко М.В. Синтез логических схем пневмогидроавтоматики. Часть 1. Состояние проблемы. Математические модели. Часть 2. Методы. Примеры реализации, рекомендации // Інтегровані технології та єнергозбереження, 2001.– №4.– С. 83–91.

6. Backe W., Weingarten F. Stand der technik und entwicklungstendenzen in der pneumatic // Olhydraulik und pneumatik. – 1982. – № 4. – P. 241–254.

7. Belforte G. Progettazione di circuiti pneumatici par sistemi flessibili e con intelligenza aztificiale: aspetti energetici // Fluid apparecchiature idrauliche e pneumatiche.– 1983.– N 225.– P. 65–69.

8. Черкашенко М.В. Методы автоматизированного проектирования логических схем систем гидро- и пневмоприводов. (Обзор).– М.: ВНИИТЭМР.– 1988.– 38 с.

9. Черкашенко М.В. Анализ многовыходных схем гдропневмоавтоматики// Інтегровані технології та енергозбереження.– 2005.– №4.– С. 120–125.

10. Черкашенко М.В. Многофункциональный пневматический логический модуль. А.С. СССР №1015365 Опубл. в Б.И. №16 1983.

11. Черкашенко М.В. Многофункциональный пневматический логический модуль. А.С. СССР №1026137 Опубл. в Б.И. №24 1983.

УДК 62-82.001.2

Черкашенко М.В.

## СИНТЕЗ СХЕМ ГІДРОПНЕВМОАВТОМАТИКИ

Подання розробленого автором методу безроздільної декомпозиції рівнянь у сучасній редакції, що враховує останні розробки, і що дозволяє синтезувати мінімальні по числу елементів і модулів схеми гідропневмоавтоматики

Cherkashenko M.

## SYNTHESIS OF SCHEMES OF HYDROPNEUMOAUTOMATICS

Representation of the method of undivided decomposition of equations developed by the author in the modern edition considering last development, and allowing to synthesize minimal on quantity of elements and modules of the scheme of hydraulic and of pneumatic systems controls