

Черкашенко М.В.

## СИНТЕЗ МНОГОВЫХОДНЫХ СХЕМ ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКИ

В практике синтеза схем гидропневмоавтоматики нерешенной проблемой является создание алгоритмов проектирования с максимально возможным использованием функциональных возможностей гидропневмоаппаратуры.

Настоящая статья является шагом вперед для решения проблем максимального использования функциональных возможностей распределительной аппаратуры, являющейся основой схем гидропневмоавтоматики, описываемых системами уравнений.

На рис. 1 представлены стандартные условные обозначения выпускаемых различными фирмами распределительных элементов. Укажем, что другие встречающиеся исполнения распределителей не увеличивают функциональные возможности рассматриваемой аппаратуры. Все формулы представленные в табл. 1–5 получены математически с использованием методов анализа [1].

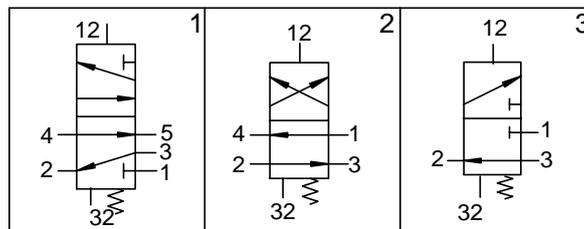


Рисунок 1 – Схемы распределителей: цифровые обозначения каналов – стандартные

Для исследования функциональных возможностей распределительной аппаратуры в таблицах 1-5 указаны настроечные сигналы, подаваемые в каналы распределителей и соответствующие функции на выходах. Так системы трех функций четырех и меньшего числа переменных приведены в табл. 1. Здесь в каналы 12, 32, 2 и 4 подаются входные сигналы, а функции реализуются в каналах 5, 3 и 1.

Таблица 1 – Реализация систем трех уравнений

Управляющие каналы		Входные, выходные каналы					Функции на выходах $y_1, y_2, y_3$
12	32	2	4	5	3	1	
$x_i$	$x_j$	$a$	$b$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1 = b(\bar{x}_i + x_j); y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j; y_3 = ax_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$a$	1	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1 = \bar{x}_i + x_j; y_2 = a + x_i\bar{x}_j; y_3 = ax_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	1	$b$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1 = b(\bar{x}_i + x_j); y_2 = b + \bar{x}_i + x_j; y_3 = x_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$x_i$	$b$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1 = b(\bar{x}_i + x_j); y_2 = x_i(b + x_j); y_3 = x_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$a$	$x_i$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1 = x_i x_j; y_2 = a + x_i\bar{x}_j; y_3 = ax_i\bar{x}_j$
$x_i$	0	$a$	$b$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1 = b\bar{x}_i; y_2 = a\bar{x}_i + bx_i; y_3 = ax_i$

Реализация систем двух уравнений четырех и трех переменных представлена в табл. 2. Здесь в каналы 12, 32, 5,3 и 1 подаются входные сигналы, а функции реализуются в каналах 2 и 4.

Аналогичная реализация систем функций представлена в табл. 3–5.

Таблица 2 – Реализация систем двух уравнений четырех и трех переменных

Управляющие каналы		Входные, выходные каналы					Функции на выходах $y_1, y_2, y_3$
12	32	2	4	5	3	1	
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$a$	$b$	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j) + ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$b$	$a$	$b$	$y_1 = b(\bar{x}_i + x_j) + ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j *$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$a$	0	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j) + ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j)$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	0	$a$	$b$	$y_1 = ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$a$	1	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j) + ax_i\bar{x}_j; y_2 = a + x_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	1	$a$	$b$	$y_1 = a + \bar{x}_i + x_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$a$	$x_i$	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j) + ax_i\bar{x}_j; y_2 = a + x_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$a$	$x_j$	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j) + ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j)$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$x_i$	$a$	$b$	$y_1 = x_i(a + x_j); y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$x_j$	$a$	$b$	$y_1 = ax_i + x_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) + bx_i\bar{x}_j$

Таблица 3 – Реализация систем двух уравнений трех переменных

Управляющие каналы		Входные, выходные каналы					Функции на выходах $y_1, y_2, y_3$
12	32	2	4	5	3	1	
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$x_i$	$b$	$y_1 = c + x_i\bar{x}_j; y_2 = x_i(b + x_j)$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	$x_j$	$b$	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j); y_2 = bx_i + x_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	0	$b$	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j); y_2 = bx_i\bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	0	$a$	0	$y_1 = ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) *$
$x_i$	$x_j$	$a$	-	-	$y_2$	$y_1$	$y_1 = ax_i\bar{x}_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j) **$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	1	$b$	$y_1 = c + x_i\bar{x}_j; y_2 = b + \bar{x}_i + x_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	1	$a$	1	$y_1 = a + \bar{x}_i + x_j; y_2 = a + x_i\bar{x}_j *$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	1	$a$	0	$y_1 = a + \bar{x}_i + x_j; y_2 = a(\bar{x}_i + x_j)$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	0	$a$	1	$y_1 = ax_i\bar{x}_j; y_2 = a + x_i\bar{x}_j$
$x_i$	0	$y_2$	$y_1$	$c$	$a$	$b$	$y_1 = c\bar{x}_i + ax_i; y_2 = a\bar{x}_i + bx_i$

Таблица 4 – Реализация систем двух уравнений трех и двух переменных

Управляющие каналы		Входные, выходные каналы					Функции на выходах $y_1, y_2, y_3$
12	32	2	4	5	3	1	
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	0	1	$y_1 = c(\bar{x}_i + x_j); y_2 = x_i \bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	$c$	1	0	$y_1 = c + x_i \bar{x}_j; y_2 = \bar{x}_i + x_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	1	0	$b$	$y_1 = \bar{x}_i + x_j; y_2 = bx_i \bar{x}_j$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	0	1	$b$	$y_1 = x_i \bar{x}_j; y_2 = b + \bar{x}_i + x_j$

Таблица 5 – Реализация систем двух уравнений двух переменных

Управляющие каналы		Входные, выходные каналы					Функции на выходах $y_1, y_2, y_3$
12	32	2	4	5	3	1	
$x_i$	0	$y_2$	$y_1$	$c$	0	$b$	$y_1 = c \bar{x}_i; y_2 = bx_i$
$x_i$	0	$y_2$	$y_1$	$b$	0	$b$	$y_1 = b \bar{x}_i; y_2 = bx_i *$
$x_i$	0	$b$	-	-	$y_2$	$y_1$	$y_1 = bx_i; y_2 = b \bar{x}_i **$
$x_i$	0	$y_2$	$a$	-	$y_1$	$b$	$y_1 = ax_i; y_2 = bx_i$
$x_i$	0	$y_2$	$y_1$	$c$	1	$b$	$y_1 = c + x_i; y_2 = b + \bar{x}_i$
$x_i$	0	$y_2$	$y_1$	$b$	1	$b$	$y_1 = b + x_i; y_2 = b + \bar{x}_i *$
$x_i$	0	$y_2$	$y_1$	$b$	$\bar{b}$	$b$	$y_1 = b \bar{x}_i + \bar{b} x_i; y_2 = \bar{b} \bar{x}_i + bx_i *$
$x_i$	$x_j$	$y_2$	$y_1$	0	1	0	$y_1 = x_i \bar{x}_j; y_2 = \bar{x}_i + x_j *$
$x_i$	$x_j$	1	-	-	$y_2$	$y_1$	$y_1 = x_i \bar{x}_j; y_2 = \bar{x}_i + x_j **$

В таблицах приняты следующие обозначения: \* - аналогичная реализация по рис. 1.2; \*\* - реализация по рис. 1.3.

В случае реализации схемы, описывающейся системой повторных уравнений, целесообразно воспользоваться схемами, представленными на рис. 2, и предназначенными для безраздельной декомпозиции системы уравнений.

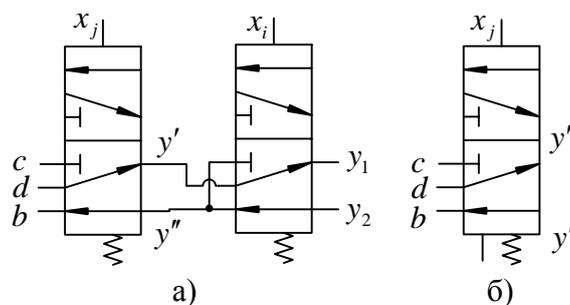


Рисунок 2 – Схемы для разложения системы двух функций:  
а) – по двум переменным; б) – по одной переменной

Получим функции на выходах  $y_1, y_2, y', y''$ .  $y_1 = \bar{x}_i y' + x_i y''$ ;  $y_2 = \bar{x}_i y'' + x_i y'$ .

$$\begin{aligned} y' &= \bar{x}_j d + x_j c \\ y'' &= \bar{x}_j b + x_j d \end{aligned} \quad (1)$$

Тогда  $y_1 = \bar{x}_i y' + x_i y'' = \bar{x}_i (\bar{x}_j d + x_j c) + x_i (\bar{x}_j b + x_j d) = \bar{x}_i \bar{x}_j d + \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b + x_i x_j d$ ;  
 $y_2 = \bar{x}_i y'' + x_i y' = \bar{x}_i (\bar{x}_j b + x_j d) + x_i (\bar{x}_j d + x_j c) = \bar{x}_i \bar{x}_j b + \bar{x}_i x_j d + x_i \bar{x}_j d + x_i x_j c$ .

После упрощения получаем систему двух функций на выходах  $y_1, y_2$ :

$$\begin{aligned} y_1 &= (\bar{x}_i \bar{x}_j + x_i x_j) d + \bar{x}_i x_j c + x_i \bar{x}_j b \\ y_2 &= (\bar{x}_i x_j + x_i \bar{x}_j) d + \bar{x}_i \bar{x}_j b + x_i x_j c \end{aligned} \quad (2)$$

Алгоритм синтеза [2,3] может быть сформулирован следующим образом:

1. Бесповторные функции реализуются непосредственно по таблицам 1-5 с выделением соответствующих фрагментов.
2. Переменные для разложения определяются из скобочных форм представления функций системы, с подсчетом наибольшего числа повторений прямых и инверсных значений аргументов.
3. Остаточные функции для уравнения (1) определяются по формулам.  
 Для  $y'$ :  $f_0(0) = d$ ,  $f_1(1) = c$ . Для  $y''$ :  $f_0(0) = b$ ,  $f_1(1) = d$ .
4. Остаточные функции для уравнения (2) определяются по формулам.  
 Для  $y_1$ :  $f_0(0,0)\bar{x}_i + f_3(1,1)x_i = d$ ,  $f_1(0,1) = c$ ,  $f_2(1,0) = b$ .  
 Для  $y_2$ :  $f_1(0,1)\bar{x}_i + f_2(1,0)x_i = d$ ,  $f_0(0,0) = b$ ,  $f_3(1,1) = c$ .

Если системы остаточных функций реализуются по таблицам 1-5, то конец работы алгоритма, в противном случае нереализованная система представляется как исходная, и алгоритм снова начинает свою работу с пункта 1.

Пример 1. Требуется реализовать систему двух уравнений, представленную в следующем виде:

$$\begin{aligned} z_1 &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 + x_1 x_2 x_3 + \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_4 + \bar{x}_1 x_2 x_6 + x_1 \bar{x}_2 x_4 x_5 \bar{x}_6; \\ z_2 &= \bar{x}_1 x_2 x_3 + x_1 \bar{x}_2 x_3 + x_1 x_2 \bar{x}_4 + x_1 x_2 x_6 + \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_4 x_5 \bar{x}_6. \end{aligned}$$

Представляем данную систему уравнений в скобочной форме:

$$\begin{aligned} z_1 &= (\bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2) x_3 + \bar{x}_1 x_2 (\bar{x}_4 + x_6) + x_1 \bar{x}_2 x_4 x_5 \bar{x}_6; \\ z_2 &= (\bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2) x_3 + x_1 x_2 (\bar{x}_4 + x_6) + \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_4 x_5 \bar{x}_6. \end{aligned}$$

Выбираем в качестве переменных разложения  $x_i = x_1, x_j = x_2$  с наибольшим числом повторений в слагаемых системы уравнений. Выбираем схему безраздельной декомпозиции уравнений по рис. 2а.

Определим остаточные функции.

Для  $z_1$ :  $f_0(0,0) = x_3$ ;  $f_1(0,1) = \bar{x}_4 + x_6$ ;  $f_2(1,0) = x_4 x_5 \bar{x}_6$ ;  $f_3(1,1) = x_3$ . Тогда  $d = f_0(0,0) = f_3(1,1) = x_3$ ;  $c = f_1(0,1) = \bar{x}_4 + x_6$ ;  $b = f_2(1,0) = x_4 x_5 \bar{x}_6$ . Для  $z_2$ :  $f_0(0,0) = x_4 x_5 \bar{x}_6$ ;  $f_1(0,1) = x_3$ ;  $f_2(1,0) = x_3$ ;  $f_3(1,1) = \bar{x}_4 + x_6$ . Тогда  $d = f_1(0,1) = f_2(1,0) = x_3$ ;  $c = f_3(1,1) = \bar{x}_4 + x_6$ ;  $b = f_0(0,0) = x_4 x_5 \bar{x}_6$ .

Замечаем, что функции  $d, c, b$  для системы уравнений  $z_1$  и  $z_2$  совпадают.

Выбираем реализацию двух уравнений, одно из которых двух, а другое – трех переменных по таблице 4, 3 строка сверху. Схема реализации показана на рис. 3.

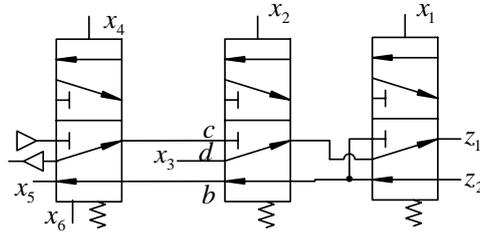


Рисунок 3 – Реализация системы двух уравнений к примеру 1

Пример 2. Требуется реализовать систему двух уравнений, представленную в следующем виде:

$$z_1 = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 + \bar{x}_1 x_4 + x_1 \bar{x}_2 + x_1 x_3;$$

$$z_2 = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 + x_1 x_2 \bar{x}_3 + x_1 x_4.$$

Представляем данную систему уравнений в скобочной форме:

$$z_1 = \bar{x}_1 (x_2 \bar{x}_3 + x_4) + x_1 (\bar{x}_2 + x_3);$$

$$z_2 = \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_4 + x_1 (x_2 \bar{x}_3 + x_4).$$

Выбираем в качестве переменной разложения  $x_i = x_1$  с наибольшим числом повторений в слагаемых системы уравнений. Выбираем схему безраздельной декомпозиции уравнений по рис. 2б.

Определим остаточные функции. Для  $z_1: f_0(0) = x_2 \bar{x}_3 + x_4; f_1(1) = \bar{x}_2 + x_3$ . Тогда  $d = f_0(0) = x_2 \bar{x}_3 + x_4; c = f_1(1) = \bar{x}_2 + x_3$ . Для  $z_2: f_0(0) = x_2 \bar{x}_3 x_4; f_1(1) = x_2 \bar{x}_3 + x_4$ . Тогда  $d = f_1(1) = x_2 \bar{x}_3 + x_4; b = f_0(0) = x_2 \bar{x}_3 x_4$ .

Замечаем, что функция  $d$  для системы уравнений  $z_1$  и  $z_2$  совпадает.

Выбираем реализацию трех уравнений, одно из которых двух, а два других – трех переменных по таблице 1, 2 строка сверху. Схема реализации показана на рис. 4.

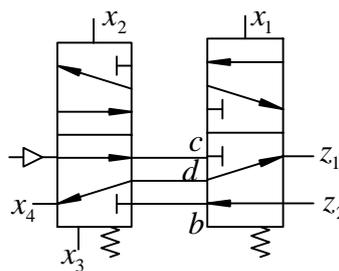


Рисунок 4 – Реализация системы двух уравнений к примеру 2

### Литература

1. Черкашенко М.В. Анализ многофункциональных логических элементов на ЦВМ// Механизация и автоматизация производства. 1979. № 12. С. 34–36.
2. Черкашенко М.В. Автоматизация проектирования пневматических систем управления приводами// Механизация и автоматизация производства. 1985. № 6. С. 14–15.
3. Черкашенко М.В. Синтез схем гидропневмоавтоматики// Механіка та машинобудування. 2003. №1. Том 1. С. 110–118.