

Д. т. н. В. М. НИКОЛАЕНКО, С. А. БЕРЕЗОВСКИЙ,  
к. т. н. О. В. НИКОЛАЕНКО

Украина, Одесский нац. политехнический университет  
E-mail: bsa@int.ospu.odessa.ua, nikolvm@rambler.ru

Дата поступления в редакцию  
07.05—20.11 2007 г.

Оппоненты д. т. н. Э. А. СУКАЧЕВ  
(ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса),  
к. т. н. А. А. ЧАПЛЫГИН (СКБ АФУ, г. Воронеж)

## МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАННЫХ КОММУТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

*Для решения задач формирования заданных коммутационных состояний сложных многоканальных систем и сетей на базе коммутирующих модулей предложены методы прямой, обратной и гибридных подстановок.*

Одной из актуальных задач проектирования во многих технических отраслях является разработка эффективного коммутационного обеспечения сложных многоканальных систем и сетей (МКС) в различных режимах их функционирования [1, 2]. Эта задача относится прежде всего к переключению сложных компьютерных систем и сетей, к управлению системами мониторинга и охранными сетями, к коммутации канального телевидения, радиовещания, телефонии и сетей Интернета, к поддержанию требуемого состояния сетей оптоэлектронной связи и др. [3].

Существующие методы проектирования соответствующих средств коммутации для перечисленных МКС имеют ряд известных недостатков [4], снижающих эффективность функционирования многоканальных сетей. Решение задач коммутации МКС для ряда наборов соединений их каналов на основе ограниченного числа переключающих устройств известных типов требует дальнейшего развития, и потому любой подход, позволяющий повысить эффективность обеспечения заданных коммутационных состояний МКС, представляет определенный теоретический и практический интерес.

Одному из таких подходов посвящена настоящая работа. Основные положения предлагаемого подхода рассматриваются ниже.

Итак, пусть для заданной МКС, содержащей  $M$  каналов  $y_k$  ( $k = \overline{1, M}$ ), необходимо обеспечить их переключение в  $N$  состояний  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) на базе некоторого коммутирующего модуля (КМ). В свою очередь КМ характеризуется  $n$  коммутирующими переменными  $x_r$  ( $r = \overline{1, n}$ ) и  $m$  коммутируемыми полюсами (переменными)  $z_l$  ( $l = \overline{1, m}$ ). При этом для КМ также существует определенное число  $Q$  коммутационных состояний (КС)  $V_j$  ( $j = \overline{1, Q}$ ) по множеству переменных  $z$ .

Тогда решение задачи по переключению рассматриваемой МКС может быть сведено к определению

некоторого числа КМ, которые на основе ряда состояний  $V$  под управлением  $n$  коммутирующих переменных  $x$  посредством переменных  $z$  обеспечивают коммутацию каналов  $y$  для заданных состояний  $S$ .

Решение поставленной задачи может быть получено на основе различных КМ. В частности, в качестве практического применения предложены технические решения на основе новых КМ [5, 6]. Вопросы же их проектирования выходят за рамки данного рассмотрения.

Одним из простых вариантов представления информации о заданном  $i$ -м КС ( $S_i$ ) может служить **табл. 1**.

Таблица 1

$y$	$y_1$	$y_2$	...	$y_M$
$y_1$	1	0	...	0
$y_2$	0	1	...	1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$y_M$	1	0	...	1

В силу наличия симметрии табл. 1 можно упростить (**табл. 2**).

Таблица 2

$y$	$y_1$	$y_2$	...	$y_M$
$y_1$	0	0	...	0
$y_2$	0	0	...	1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$y_M$	0	0	...	0

На основе табл. 1 и 2 удобно ввести следующие обозначения, которые при наличии соединения между  $p$ -м и  $q$ -м каналами представимы в виде

$$y_p y_q = 1, \quad (1)$$

а при его отсутствии записываются следующим образом:

$$y_p y_q = 0. \quad (2)$$

Тогда с учетом обозначений (1) и (2)  $i$ -е КС ( $S_i$ ) представимо в форме

$$S_i = g_1(i) + g_2(i) + \dots + g_{ai}(i) = a_i, \quad (3)$$

где  $g_k(i)$  —  $k$ -е соединение каналов  $y_p y_q$  (1) в  $i$ -м КС МКС.

Опираясь на введенные представления (табл. 1, 2, выражения (1)—(3)), в целом задание на коммута-

цию МКС можно представить в форме табл. 3, где в строке  $g$  представлены все используемые в КС сочетания соединений каналов МКС типа

$$g_1=y_1y_2, g_2=y_1y_3, \dots, g_A=y_{M-1}y_M, \quad (4)$$

исключая  $y_k y_k$  ( $k = 1, M$ ).

Таблица 3

S	g			
	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	...	g <sub>A</sub>
S <sub>1</sub>	1	0	...	0
S <sub>2</sub>	1	0	...	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S <sub>N</sub>	0	1	...	0

Эту же информацию (табл. 3) легко представить в форме выражений (3):

$$S_i = \sum_{k=1}^{a_i} g_k(i) = a_i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (5)$$

В частности, простое включение МКС, в силу соотношений (5), описывается следующим образом:

$$S_i = \sum_{k=1}^{a_i} g_k(i) = a_i, \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

где  $a_1=0, S_1=0$ .

В свою очередь, для КМ также можно сформировать табл. 4 и 5, аналогичные вышерассмотренным.

Таблица 4

z	z <sub>1</sub>	z <sub>2</sub>	...	z <sub>m</sub>
z <sub>1</sub>	0	1	...	0
z <sub>2</sub>	0	0	...	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
z <sub>m</sub>	0	0	...	0

Таблица 5

V	w			
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	...	w <sub>B</sub>
V <sub>1</sub>	1	0	...	1
V <sub>2</sub>	1	1	...	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
V <sub>Q</sub>	0	1	...	1

Описание КС КМ по аналогии с выражением (5) имеет вид

$$V_j = \sum_{r=1}^{b_j} w_r(j) = b_j, \quad j = \overline{1, Q}, \quad (7)$$

где  $w_r(j)$  —  $r$ -е соединение переменных  $z_l z_n$  (1) в  $j$ -м КС.

Для КМ дополнительно необходимо описать состояние управляющих переменных  $x_r$  ( $r = \overline{1, n}$ ) (управляющее состояние (УС)  $X_j$ ) для каждого КС  $V_j$  коммутируемых переменных  $z_l$  ( $l = \overline{1, m}$ ) (табл. 5). Для этого удобно воспользоваться табл. 6.

Таблица 6

x <sub>1</sub>	0	0	...	1	1
x <sub>2</sub>	1	1	...	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
x <sub>n</sub>	0	1	...	0	1
V	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	...	V <sub>Q-1</sub>	V <sub>Q</sub>

В табл. 6 приняты обозначения 1 (имеется управляющий сигнал) и 0 (этот сигнал отсутствует), что представимо для  $k$ -й управляющей переменной в следующей форме:

$$x_k=1 \text{ или } \overline{x_k}=0, \quad k = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Тогда описание  $j$ -го УС ( $X_j$ ) для  $j$ -го КС ( $V_j$ ) имеет вид

$$X_j = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \dots \overline{x_n}. \quad (9)$$

Учитывая соотношения (8) и (9), а также известные тождества булевой алгебры, для представления (7) получаем:

$$V_j = b_j X_j = b_j (\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \dots \overline{x_n}), \quad j = \overline{1, Q}. \quad (10)$$

Действительно, в соответствии с табл. 6 и выражениями (8), (9), для  $V_j$  имеем:

$$X_j = \overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} \dots \overline{x_n} = 1. \quad (11)$$

Здесь следует отметить, что как для КС МКС ( $S_i$ ), так и для КС КМ ( $V_j$ ), имеет место простая и/или сложная коммутация. Для первого типа коммутации характерно отсутствие повторения индексов в описании  $g_k(i)$  (5) и  $w_r(j)$  (7), т. е. каждый канал МКС и каждый полюс КМ имеют лишь одно соединение. Сложная коммутация допускает повторение указанных индексов, что свидетельствует о наличии нескольких соединений для отдельных каналов МКС и полюсов КМ. Отмеченные особенности налагают дополнительные требования на процесс формирования заданных КС сложных МКС, что обуславливает разработку отдельных методов решения поставленной задачи.

Итак, для формирования заданных КС сложных МКС предлагается ввести первую процедуру, которую назовем МПП (метод прямой подстановки). Суть этого метода заключается в следующем.

Пусть для МКС с  $M$  каналами  $y_k$  ( $k = \overline{1, M}$ ) требуется сформировать  $N$  КС  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) на основе КМ с  $n$  коммутирующими переменными  $x_r$  ( $r = \overline{1, n}$ ),  $m$  коммутируемыми полюсами  $z_l$  ( $l = \overline{1, m}$ ) и  $Q$  КС  $V_j$  ( $j = \overline{1, Q}$ ). Во введенных выше описаниях (5) и (7) представление этой задачи имеет вид ( $Q \geq N, m \geq M$ )

$$\sum_{k=1}^{a_i} g_k(i) = a_i, \quad i = \overline{1, N}; \quad \sum_{r=1}^{b_j} w_r(j) = b_j, \quad j = \overline{1, Q}, \quad (12)$$

где  $g_1(i)=y_1y_2, g_2(i)=y_1y_3, \dots, g_{m-1}(i)=y_1y_m;$   
 $g_m(i)=y_2y_3, g_{m+1}(i)=y_2y_n, \dots, g_{2m-3}(i)=y_2y_m;$   
 .....

$$g_c(i)=y_{m-1}y_m. \quad (13)$$

Для  $w_r(j)$  справедливы соотношения, аналогичные равенствам для  $g_k(i)$  (12). Очевидно, что при  $m > M$  отдельные значения  $g_k(i)$  (13) равны нулю по определению ( $g_M(i) = y_1 y_{M+1} = 0$  и т. п.).

В МПП предусматривается определение всех возможных вариантов решения сформулированной выше задачи. Для этого на каждом шаге идентификации соединений между каналами  $y_k$  ( $k = 1, M$ ) МКС и полюсами  $z_l$  ( $l = 1, m$ ) КМ производится задание этих соединений (на основе некоторого алгоритма перебора или случайным образом) в следующем виде:

$$y_1 = z_\alpha; y_2 = z_\beta; \dots; y_m = z_\omega. \quad (14)$$

Далее КС МКС  $S_i$  ( $i = 1, N$ ) (12), (13) переписываются с учетом выбранных соединений (14) в форме

$$\sum_{k=1}^{a_i} w_k(i) = a_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (15)$$

и рассматривается отдельно для каждого  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) выполнение следующих равенств:

$$\begin{aligned} V_j - S_1 &= b_j - a_1, \quad j = \overline{1, Q}; \\ V_j - S_2 &= b_j - a_2, \quad j = \overline{1, Q}; \\ &\dots \\ V_j - S_N &= b_j - a_N, \quad j = \overline{1, Q}. \end{aligned} \quad (16)$$

Наличие несовпадающих значений  $j$  для каждого КС  $S_i$  ( $i = 1, N$ ) свидетельствует о правильности выбранных соединений (14). Нарушение этого требования определяет ошибочность соотношений (14). При этом каждому значению  $j$  ( $V_j$ ), входящему в полученное решение, соответствует описание управляющих переменных  $x_r$  ( $r = \overline{1, n}$ ) (9) —  $X_j$ .

В отдельных случаях для решения поставленной задачи можно использовать таблицы индексов КС ( $S_i$  — табл. 7 и  $V_j$  — табл. 8).

Простое отыскание строк в табл. 8, перекрывающих строки из табл. 7, при отсутствии их наложения

Таблица 7

S	g			
	g1	g2	...	gA
S1	α1	α2	...	αA
S2	β1	β2	...	βA
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SN	γ1	γ2	...	γA

Таблица 8

V	w			
	w1	w2	...	wB
V1	ε1	ε2	...	εB
V2	δ1	ε2	...	εB
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
VQ	v1	v2	...	vB

для различных  $S_i$  ( $i = 1, N$ ) также доказывает правильность выбранных соединений (14).

Для иллюстрации предложенного МПП рассмотрим следующий простой пример. Для некоторой МКС, имеющей 4 канала  $y_k$  ( $k = 1, 4$ ), на основании заданных таблиц типа табл. 1—3 построены КС (5)  $S_i$  ( $i = 1, 2$ ):

$$S_1 = y_1 y_3 + y_2 y_4 = 2; \quad S_2 = y_1 y_2 + y_3 y_4 = 2. \quad (17)$$

При этом имеется КМ с 6 полюсами  $z_l$  ( $l = \overline{1, 6}$ ) и 10 управляющими переменными  $x_r$  ( $r = \overline{1, 10}$ ). Для обеспечения КС (17) у КМ можно использовать следующие КС ( $V_j$ ) (7):

$$\begin{aligned} V_1 &= z_1 z_4 + z_2 z_3 + z_2 z_5 = 3; \\ V_2 &= z_1 z_5 + z_2 z_4 + z_3 z_6 = 3; \\ V_3 &= z_1 z_3 + z_2 z_4 + z_5 z_6 = 3. \end{aligned} \quad (18)$$

С учетом представления (13) описания КС (18) приобретут вид

$$\begin{aligned} V_1 &= w_3(1) + w_6(1) + w_8(1) = 3; \\ V_2 &= w_4(2) + w_7(2) + w_{12}(2) = 3; \\ V_3 &= w_2(3) + w_7(3) + w_{15}(3) = 3. \end{aligned} \quad (19)$$

Каждому КС (18), (19) соответствует описание управляющих переменных (9):

$$X_1 = x_1 x_2 \dots x_{10}; \quad X_2 = x_1 x_2 \dots x_{10}; \quad X_3 = x_1 x_2 \dots x_{10}. \quad (20)$$

Далее задаются соединения (14) —

$$y_1 = z_1; \quad y_2 = z_2; \quad y_3 = z_3; \quad y_4 = z_4 \quad (21)$$

и записываются выражения (15), (17):

$$S_1 = w_2(1) + w_7(1) = 2; \quad S_2 = w_1(2) + w_{10}(2) = 2. \quad (22)$$

Проверка условий (16) на основе выражений (22) и (19) дает следующие соотношения:

$$\begin{aligned} V_1 - S_1 &= 3; \quad V_2 - S_1 = 2; \quad V_3 - S_1 = 1; \\ V_1 - S_2 &= 3; \quad V_2 - S_2 = 3; \quad V_3 - S_2 = 3. \end{aligned} \quad (23)$$

В наборе  $V_j - S_1$  ( $j = \overline{1, 3}$ ) имеется решение ( $V_3 - S_1 = 1$ ), однако во втором наборе  $V_j - S_2$  ( $j = \overline{1, 3}$ ) такого решения нет, что свидетельствует о неудачном выборе соединений (21).

Такое же заключение можно сделать и относительно, например, следующих соединений:

$$\begin{aligned} y_1 = z_1, y_1 = z_3, y_3 = z_4, y_4 = z_5; \\ y_1 = z_3, y_2 = z_4, y_3 = z_5, y_4 = z_6; \\ y_1 = z_6, y_2 = z_5, y_3 = z_4, y_4 = z_3 \text{ и др.} \end{aligned}$$

Удачным является соотношение

$$y_1 = z_1, y_2 = z_4, y_3 = z_5, y_4 = z_2, \quad (24)$$

которое определяет КС вида (22):

$$S_1 = w_4(1) + w_7(1) = 2; \quad S_2 = w_3(2) + w_8(2) = 2. \quad (25)$$

При этом проверка требований (16), (23) имеет вид

$$\begin{aligned} V_1 - S_1 &= 3; \quad V_2 - S_1 = 1; \quad V_3 - S_1 = 2; \\ V_1 - S_2 &= 1; \quad V_2 - S_2 = 3; \quad V_3 - S_2 = 3. \end{aligned} \quad (26)$$

Второе соотношение ( $V_2 - S_1 = 1$ ) из первого набора  $V_j - S_1$  ( $j = \overline{1, 3}$ ) и первое равенство ( $V_1 - S_2 = 1$ ) из второго набора  $V_j - S_2$  ( $j = \overline{1, 3}$ ) удовлетворяют тре-

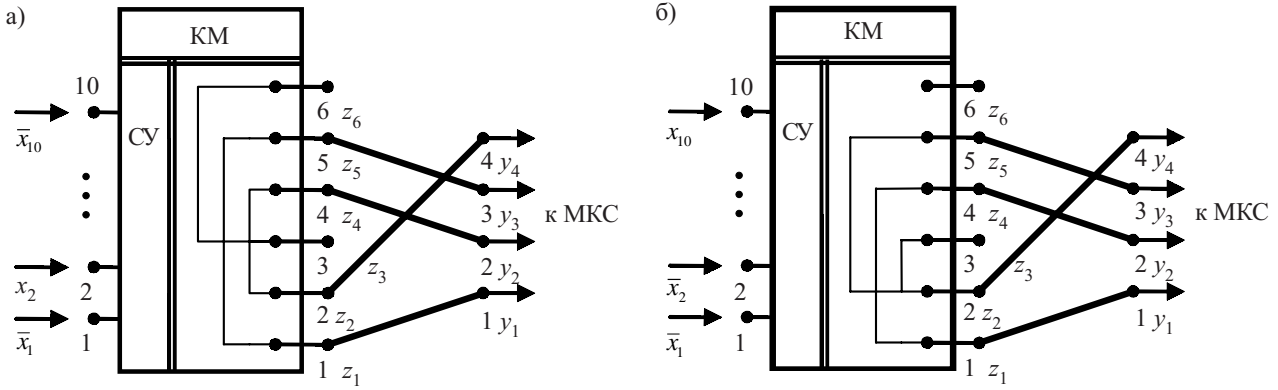


Рис. 1. Реализация КС  $S_1$  (а) и  $S_2$  (б) на основе МПП ( $V_2, V_1$ )

Таблица 9

S	g	
	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>
$S_1$	2	7
$S_2$	1	10

Таблица 11

S	g	
	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>
$S_1$	4	7
$S_2$	3	8

Таблица 10

V	w		
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>
$V_1$	3	6	8
$V_2$	4	7	12
$V_3$	2	7	15

Таблица 12

V	w		
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>
$V_1$	3	6	8
$V_2$	4	7	12
$V_3$	2	7	15

бованиям (16), и, следовательно, соединения (24) являются решением рассматриваемой задачи.

На рис. 1, а показана реализация  $S_1$  (17), на рис. 1, б — реализация  $S_2$  (17) посредством КС КМ соответственно  $V_2$  и  $V_1$ . На схему управления (СУ) КМ при этом подаются управляющие переменные  $X_2$  и  $X_1$  соответственно (20). В первом случае (рис. 1, а) имеет место простое соединение, а во втором (рис. 1, б) имеется двойное подключение для  $z_2$ .

Применение таблиц индексов (табл. 7 и 8) дает достаточно наглядное представление о наличии и отсутствии решения. Для варианта соединений (21) таблицы индексов имеют вид табл. 9 и 10. Из этих таблиц наглядно следуют ранее приведенные выводы (23) об отсутствии решения.

Для правильных соединений (24) имеют место табл. 11 и 12, которые убедительно иллюстрируют наличие решения задачи.

В качестве второй процедуры, позволяющей решать рассматриваемую задачу формирования КС для МКС на основе КМ, предлагается метод обратной подстановки (МОП), суть которого заключается в следующем.

В МОП сохраняется этап построения описаний (12) и (13), как и в МПП, а этап задания соединений (14) исключен. На следующем этапе в каждом наборе (16) ( $V_j - S_1, j = 1, Q, \dots, V_j - S_N, j = 1, Q$ ) выбирается одно выражение с несовпадающими значениями  $j$ :

$$V_\alpha - S_1 = b_\alpha - a_1; V_\beta - S_2 = b_\beta - a_2, \dots, V_\omega - S_N = b_\omega - a_N. \quad (27)$$

Из выражений (27) на основе выполнения требований (16) формируются КС МКС  $S_i^*$  ( $i = \overline{1, N}$ ) в виде (15):

$$S_i^* = \sum_{k=\alpha_i}^{a_i^*} w_k^*(i) = a_i, i = \overline{1, N}, (a_i^* = \alpha_i + a_i), \quad (28)$$

которые далее приравниваются к исходным представлениям  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) (12):

$$S_i^* = S_i = \sum_{k=i}^{a_i} w_k^*(i) = \sum_{k=1}^{a_i} g_k(i), i = \overline{1, N}. \quad (29)$$

Из равенств (29) легко получить следующие соотношения:

$$w_k^*(i) = g_k(i), k = \overline{1, a_i}, i = \overline{1, N}, \quad (30)$$

которые, в свою очередь, позволяют определить искомые соединения в виде

$$z_\alpha z_\beta = y_\gamma y_\delta, z_\epsilon z_\mu = y_\nu y_\rho, \dots, z_\tau z_\eta = y_\xi y_\psi, \quad (31)$$

или

$$y_\gamma = z_\alpha, y_\delta = z_\beta, y_\nu = z_\epsilon, y_\rho = z_\mu, \dots, y_\xi = z_\tau, y_\psi = y_\eta. \quad (32)$$

Полученные соединения должны быть согласованы для всех  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ), что в большинстве случаев требует применения сложной коммутации. Как и в предыдущем методе, здесь достаточно эффектив-

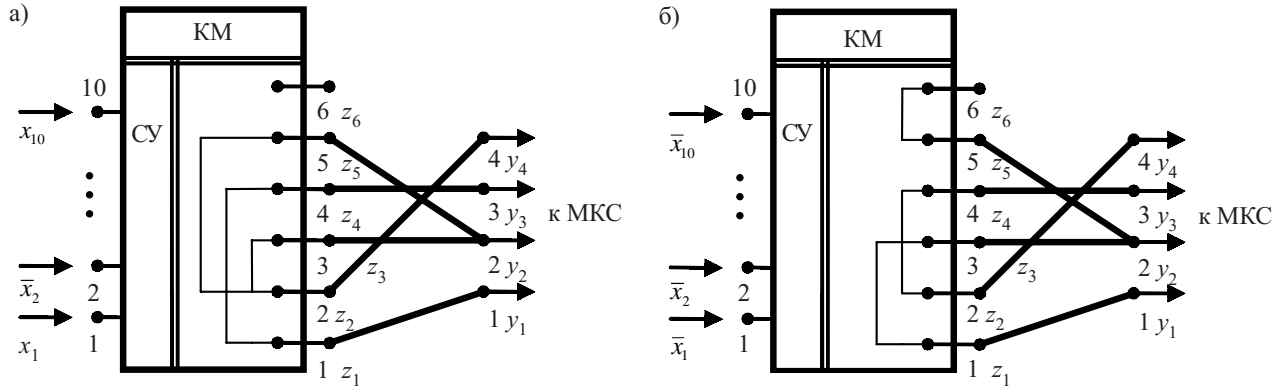


Рис. 2. Реализация КС  $S_1$  (а) и  $S_2$  (б) на основе МОП ( $V_1, V_3$ )

ным может быть использование таблиц индексов (табл. 7 и 8) в обратном порядке.

Выберем в качестве иллюстрации применения предложенного МОП предыдущий пример. Тогда, используя условия задачи и данные представления (17)—(20), остановимся на следующих условиях типа (27):

$$V_1 - S_1 = w_3(1) + w_6(1) + w_8(1) - w_3^*(1) - w_8^*(1) = 1; \quad (33)$$

$$V_3 - S_2 = w_2(3) + w_7(3) + w_{15}(3) - w_2^*(2) - w_7^*(2) = 1,$$

откуда получаем равенства вида (29):

$$g_2(1) + g_7(1) = w_3^*(1) + w_8^*(1); \quad (34)$$

$$g_1(2) + g_{10}(2) = w_2^*(2) + w_7^*(2).$$

Выражение (34) можно представить в форме (30):

$$w_3^*(1) = g_2(1); \quad w_8^*(1) = g_7(1); \quad (35)$$

$$w_2^*(2) = g_1(2); \quad w_7^*(2) = g_{10}(2).$$

Соотношения (35) в силу обозначений (13) принимают вид (31):

$$z_1 z_4 = y_1 y_3; \quad z_2 z_5 = y_2 y_4; \quad z_1 z_3 = y_1 y_2; \quad z_2 z_4 = y_3 y_4. \quad (36)$$

Окончательно искомые соединения (32) определяются на основе равенства (36):

$$y_1 = z_1; \quad y_2 = z_3 \quad (y_2 = z_5); \quad y_3 = z_4; \quad y_4 = z_2. \quad (37)$$

На рис. 2, а приведена реализация КС  $S_1$  посредством КС КМ  $V_1$ , а на рис. 2, б — реализация  $S_2$  на основе  $V_3$ . При этом на СУ КМ подаются соответственно  $X_1$  и  $X_3$  (20). И в первом, и во втором случае имеет место сложная коммутация ( $y_2 z_3, y_2 z_5, z_2 z_3, z_2 z_5$ ) и ( $y_2 z_3, y_2 z_5$ ). Для наглядности решения можно было использовать таблицы индексов (табл. 7 и 8).

Третья процедура, которая предлагается для решения задачи формирования заданных КС для сложных МКС, включает как прямую, так и обратную подстановку, является комбинированной процедурой и называется методом гибридных подстановок (МГП). В этом методе на первом этапе формируются описания (12), (13) в соответствии с условиями задачи. Далее задаются отдельными соединениями (14), а часть переменных  $y$  остаются неизвестными:

$$y_1 = z_\alpha, \quad y_2 = z_\beta, \dots, \quad y_d = z_\lambda, \quad y_{d+1} = \chi_1, \quad (38)$$

$$y_{d+2} = \chi_2, \quad \dots, \quad y_M = \chi_{M-d-1}.$$

Тогда для КС МКС  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) можно записать:

$$S_i = S_{i1} + S_{i2}, \quad S_{i1} = \sum_{k=\alpha_i}^{a_i \alpha} w_k(i);$$

$$S_{i2} = \sum_{k=\beta_i}^{a_i \beta} w_k^*(i), \quad i = \overline{1, N}, \quad (39)$$

где  $w_k^*(i)$  содержит неизвестные соединения на основе  $\chi_v$  ( $v = \overline{1, M-d-1}$ ).

На следующем этапе для каждого  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) из набора (16) выбираются неповторяющиеся требования вида (27), (16)

$$V_\alpha - S_{i1} - S_{i2} = b_\alpha - a_1;$$

$$V_\beta - S_{i2} - S_{i2} = b_\beta - a_{21}; \dots; \quad V_\omega - S_{i1} - S_{i2} = b_\omega - a_N, \quad (40)$$

на основе которых определяются

$$S_{i2} = \sum_{k=\beta_i}^{a_i \beta} w_k^*(i), \quad (a_{i\beta} = \alpha_i + a_i), \quad i = \overline{1, N}. \quad (41)$$

Далее применяются выражения (30), приводящие к соотношениям вида

$$z_\phi z_\omega = \chi_\gamma \chi_\delta, \quad z_\epsilon z_\mu = \chi_\nu \chi_\rho, \dots, \quad z_\tau z_\eta = \chi_\xi \chi_\psi, \quad (42)$$

посредством которых можно определить согласованные между  $S_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) соединения (32):

$$\chi_\gamma = z_\phi, \quad \chi_\delta = z_\omega, \quad \chi_\nu = z_\epsilon, \quad \chi_\rho = z_\mu, \dots, \quad \chi_\xi = z_\tau, \quad \chi_\psi = z_\eta. \quad (43)$$

Окончательное решение (искомые соединения) формируются на базе выражений (38) и (43) в форме следующих равенств:

$$y_1 = z_\alpha, \quad y_2 = z_\beta, \dots, \quad y_d = z_\lambda, \quad y_{d+1} = z_\omega, \dots, \quad y_M = z_\eta. \quad (44)$$

Здесь, как и для предыдущих методов, в ряде случаев полезным следует считать применение таблиц индексов (табл. 7 и 8).

Примером, иллюстрирующим суть предлагаемого МГП, также может служить МКС и задача формирования ее КС с условиями (17)—(20).

Итак, примем следующие обозначения (38):

$$y_1 = z_3, \quad y_3 = \chi_1, \quad y_3 = z_6, \quad y_4 = \chi_2. \quad (45)$$

Далее, в силу формул (39), имеем:

$$S_1 = S_{11} + S_{12}, \quad S_{11} = w_{12}(1), \quad S_{12} = w_1^*(1);$$

$$S_2 = S_{21} + S_{22}, \quad S_{21} = w_1^*(2), \quad S_{22} = w_2^*(2), \quad (46)$$

где  $w_k(1)=z_3z_6$ ,  $w_1^*(1)=\chi_1\chi_2$ ,  $w_1^*(2)=z_3\chi_1$ ,  
 $w_2^*(2)=z_6\chi_6$ .

Формулируем запись требований типа (40) —

$$V_2 - S_1 = w_4(2) + w_7(2) + w_{12}(2) - w_{12}(1) - w_1^*(1) = 1; \quad (47)$$

$$V_3 - S_2 = w_2(3) + w_7(3) + w_{15}(3) - w_1^*(2) - w_2^*(2) = 1,$$

из которых получаем соотношение вида (41):

$$w_4(2) = w_1^*(1); w_2(3) = w_1^*(2); w_{15}(3) = w_2^*(2). \quad (48)$$

Соотношения (46), (48) являются основанием для получения описаний типа (42) —

$$z_1z_5 = \chi_1\chi_2, z_1z_3 = z_3\chi_1, z_5z_6 = z_6\chi_6, \quad (49)$$

которые позволяют определить выражения вида (43):

$$\chi_1 = z_1, \chi_2 = z_5. \quad (50)$$

Окончательно искомые соединения определяют на базе формул (44), (45), (50):

$$y_1 = z_3, y_2 = z_1, y_3 = z_6, y_4 = z_5. \quad (51)$$

Соединения (51) обеспечивают реализацию КС  $S_1$  и  $S_2$  МКС, что проиллюстрировано на рис. 3. При этом СУ КМ управляются для  $S_1$  сигналом  $X_2$  (20), а КС  $S_2$  — сигналом  $X_3$  (20).

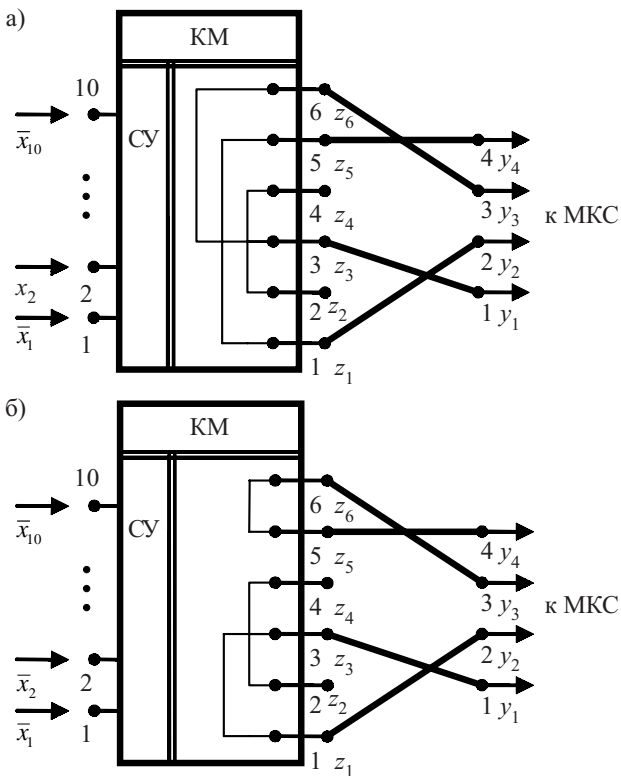


Рис. 3. Реализация КС  $S_1$  (а) и  $S_2$  (б) на основе МГП ( $V_2, V_3$ )

В примере рис. 3 отсутствует сложная коммутация. Здесь, как и в предыдущих случаях (рис. 1, 2) для большей наглядности полученного решения можно использовать таблицы индексов (табл. 7—12).

\*\*\*

В заключение отметим, что каждый из предложенных методов обладает своими достоинствами и недостатками. Метод прямой подстановки (МПП)

(12)—(26) позволяет получить все возможные решения, просто алгоритмизируется и легко допускает учет дополнительных требований при выборе соединений. К этим требованиям можно отнести ограничения на токи, напряжения, мощности, быстродействие и т. д. каналов многоканальных систем и их согласование с возможностями коммутирующих модулей. В качестве недостатка этого метода следует отметить его громоздкость.

Второй метод — обратной подстановки (МОП) позволяет быстро отыскать решение, но требует интеллектуального сопровождения, с трудом описывает все многообразие решений и обладает рядом сложностей в учете дополнительных условий, налагаемых на коммутационные состояния и свойства коммутируемых каналов.

Третий метод — гибридных подстановок (МГП), будучи комбинированной процедурой, при квалифицированном его применении может объединить достоинства первых двух методов и минимизировать недостатки МПП и МОП.

В процессе решения поставленной задачи могут быть использованы несколько КМ одного или различных типов. В этом случае описание методов несколько усложнится. При этом важно стремиться к соблюдению требований  $Q_\Sigma \geq N$  и  $m_\Sigma \geq M$ , где  $Q_\Sigma, m_\Sigma$  — суммарное количество КС КМ и их коммутируемых полюсов. Равенство  $Q_\Sigma = N$  и  $m_\Sigma = M$  свидетельствует о наличии риска потерпеть фиаско в решении поставленной задачи.

Дополнительно отметим, что управляющие переменные  $x_l$  ( $l = 1, n$ ) можно рассматривать как объект коммутации, подключая КМ первого уровня к КМ следующих уровней. При этом успешное применение найдут предложенные методы формирования КС для решения задач коммутации всех уровней.

В качестве базовых коммутирующих модулей, обеспечивающих достаточно универсальное практическое применение предложенного подхода для решения задач формирования заданных коммутационных состояний сложных многоканальных систем и сетей, можно предложить поликомбинационные ячейки [5—7].

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Грушвицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. Г. Проектирование систем и микросхем с программируемой структурой.— СПб: БХВ-Петербург, 2006.
2. Советов Б. Я., Яковлев С. Л. Построение систем интегрального обслуживания.— Л.: Машиностроение, 1990.
3. Алгоритмы, математическое обеспечение и архитектура многопроцессорных систем / Под ред. А. П. Ершова.— М.: Наука, 1982.
4. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями.— М.: Мир, 1979.
5. А. с. 1464214 СССР. Динамическое ассоциативное запоминающее устройство / С. А. Березовский, Ю. К. Филипский, Л. Б. Березовская.— 1989.— Бюл. № 9.
6. А. с. 1665367 СССР. Коммутационный элемент Березовского / С. А. Березовский.— 1989.— Бюл. № 27.
7. Пат. 2020739. N-мерный коммутационный элемент С. А. Березовского / С. А. Березовский.— 1994.— Бюл. № 18.