Дата поступления в редакцию
19.12 2008 г.

Оппоненты: *д. т. н. Э. А. СУКАЧЕВ*
(ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса);
д. т. н. В. М. ШОКАЛО
(ХНУРЭ, г. Харьков)

К. т. н. А. Д. МЕДВЕДИК

Украина, Одесский национальный политехнический университет

СВОЙСТВА КОММУТАЦИОННЫХ ЯЧЕЕК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ

Рассмотрены основные свойства коммутационных ячеек с произвольным числом выводов, на основе которых строятся регулярные коммутационные структуры. Проведен сравнительный анализ известных коммутационных структур.

Одним из основных узлов систем автоматизированного контроля и диагностики РЭА является коммутатор сигналов, осуществляющий связь между источниками тестовых сигналов, объектом контроля и стандартными измерительными приборами.

Универсальность системы автоматизированного контроля (**САК**), возможность ее гибкой перестройки под различные объекты контроля в значительной степени определяется структурой коммутатора. Для обеспечения этих качеств коммутаторы в САК строятся по регулярному принципу на основе однородной структуры, состоящей из определенного количества взаимосвязанных коммутационных ячеек (**КЯ**) [1, 2]. Производительность такого коммутатора, т. е. количество всевозможных соединений при заданном числе независимых связей между источниками и приемниками сигналов, зависит от внутренней структуры отдельной коммутационной ячейки.

Способы построения коммутационных ячеек различной конфигурации освещены в ряде работ, например [2—4]. Однако предельные возможности КЯ с заданным числом выводов, т. е. число независимых связей и максимально возможное количество соединений при заданных связях, в литературе не рассматривались. Оценка предельных характеристик КЯ дает возможность провести сравнительный анализ известных структур, а также осуществить оптимальный выбор типа КЯ, исходя из конкретных задач построения САК.

В данной работе исследуются некоторые свойства двунаправленной гипотетической ячейки (**ГКЯ**) с произвольным числом внешних выводов Q, каждый из которых может выполнять функции либо входа, либо выхода. Внутренняя структура такой ячейки не определена, за исключением того, что число коммутируемых элементов (**КЭ**) в ячейке и способ их соединения обеспечивает все возможные соединения между выводами.

Прежде всего рассмотрим вопрос о максимально возможном количестве независимых связей M, которые могут быть организованы на КЯ с Q выводами. Под независимыми будем понимать такие две связи, у которых ни один элемент подмножества выводов одной связи не входит в подмножество выводов другой.

Число независимых связей максимально в том случае, когда каждая из связей включает в себя два вывода (см. **рис. 1**), т. е.

$$M_{\max} = \begin{cases} \dfrac{Q}{2}, & \text{если } Q \text{ четное } (Q > 2), \\ \dfrac{Q-1}{2}, & \text{если } Q \text{ нечетное } (Q > 2). \end{cases} \qquad (1)$$

Если обозначить через L_i (i=1, 2, …, M) число выводов, входящих в i-ю связь, то максимально возможное число выводов в одной связи

$$L_{\max} = \begin{cases} Q-2(M-1), & \text{если } Q \text{ четное}, \\ Q-2(M-1)-1, & \text{если } Q \text{ нечетное}. \end{cases} \qquad (2)$$

Определим число возможных соединений в ГКЯ с Q выводами при заданном количестве независимых связей M.

Предположим, что в i-ю связь входит L_i выводов, причем $2 \le L_i \le Q-2(M-1)$.

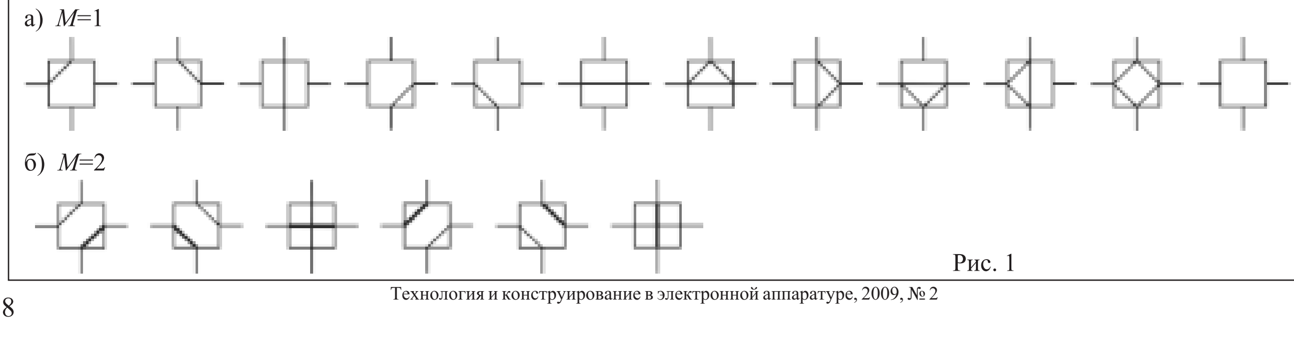

Рис. 1

Очевидно, что при организации одной независимой связи, включающей в себя L_1 выводов, число возможных соединений определяется числом сочетаний $C_Q^{L_1}$ из Q элементов по L_1. Общее количество способов построения одной независимой связи с L_1 выводами ($2 \le L_1 \le Q$)

$$S_1(Q) = \sum_{L_1}^{Q} C_Q^{L_1} + 1, \tag{3}$$

причем $S_1(Q)=1$ соответствует полностью разомкнутому состоянию КЯ.

При организации двух независимых связей ($M=2$) одна из них содержит L_1 выводов, причем L_1 может изменяться от 2 до $Q/2$, а вторая может быть образована из оставшихся $Q-L_1$ выводов и изменяться в пределах $L_1 \le L_2 \le Q-L_1$.

В этом случае число различных способов построения двух независимых связей будет определяться выражением

$$S_2(Q) = \sum_{L_1=2}^{[Q/2]} \sum_{L_2=L_1}^{Q-L_1} C_Q^{L_1} C_{Q-L_1}^{L_2}, \tag{4}$$

где [] — целая часть соотношения.

Проводя аналогичные рассуждения для других значений M, можем записать, что

$$S_{\text{об}}(Q) = \sum_{L_1=2}^{[Q/M]} \sum_{L_2=L_1}^{Q-L_1} \sum_{L_3=L_2}^{Q-L_1-L_2} \cdots \sum_{L_M=L_{M-1}}^{Q-L_1-\ldots-L_{M-1}} C_Q^{L_1} C_{Q-L_1}^{L_2} \cdots$$
$$\cdots C_{Q-L_1-\ldots-L_{M-1}}^{L_M}. \tag{5}$$

И, наконец, общее число возможных соединений (включая повторяющиеся), которое может быть организовано на ГКЯ с Q выводами

$$S_{\text{об}}(Q) = \sum_{M=1}^{[Q/2]} \sum_{L_1=2}^{[Q/M]} \sum_{L_2=L_1}^{Q-L_1} \sum_{L_3=L_2}^{Q-L_1-L_2} \cdots \sum_{L_M=L_{M-1}}^{Q-L_1-\ldots-L_{M-1}} C_Q^{L_1} C_{Q-L_1}^{L_2} \cdots$$
$$\cdots C_{Q-L_1-\ldots-L_{M-1}}^{L_M} + 1. \tag{6}$$

Так, например, для $Q=4$ общее число возможных соединений при $1 \le M \le 2$ равно 18 (рис. 1).

Из рис. 1, *б* следует, что для $M=2$ имеет место шесть комбинаций соединений, из которых только три соединения различны.

Для других значений Q повторяющиеся соединения будут иметь место в том случае, если две и более связи содержат одинаковое число выводов, т. е. $L_i=L_j$ ($i, j=1, 2, \ldots, M$ и $i \ne j$), причем число повторяющихся соединений равно числу перестановок из количества связей с одинаковым числом выводов.

Таким образом, если число связей с одинаковым количеством выводов обозначить через $R(L_1, L_2, \ldots, L_M)$, то общее число различных неповторяющихся соединений в ГКЯ с заданным Q может быть выражено следующей зависимостью:

$$S(Q) = \sum_{M=1}^{[Q/2]} \sum_{L_1=2}^{[Q/M]} \sum_{L_2=L_1}^{Q-L_1} \sum_{L_3=L_2}^{Q-L_1-L_2} \cdots \sum_{L_M=L_{M-1}}^{Q-L_1-\ldots-L_{M-1}} \frac{1}{P_{R(L_1,\ldots,L_M)}} \times$$
$$\times C_Q^{L_1} C_{Q-L_1}^{L_2} \cdots C_{Q-L_1-\ldots-L_{M-1}}^{L_M} + 1, \tag{7}$$

где $P_{R(L_1, \ldots, L_M)}$ — число перестановок из R элементов, причем если $L_1 \ne L_2 \ne \ldots \ne L_M$, то $R=1$ и, соответственно, $P_R=1$.

Так, например, для $Q=4$ имеет место только 15 различных (неповторяющихся) соединений, включая полностью разомкнутое состояние.

Определим минимально необходимое число коммутируемых элементов в коммутационной ячейке с Q выводами, при котором обеспечиваются все возможные неповторяющиеся соединения, определяемые выражением (7).

Предположим, что в КЯ с Q выводами требуется соединить 1-й вывод с каждым из остальных $Q-1$ выводов (**рис. 2**). Очевидно, что для этого требуется $Q-1$ коммутируемых элементов. Для соединения второго вывода с каждым из оставшихся $Q-2$ выводов потребуется еще $Q-2$ КЭ, для соединения третьего вывода с каждым из оставшихся — $Q-3$ КЭ и т. д.

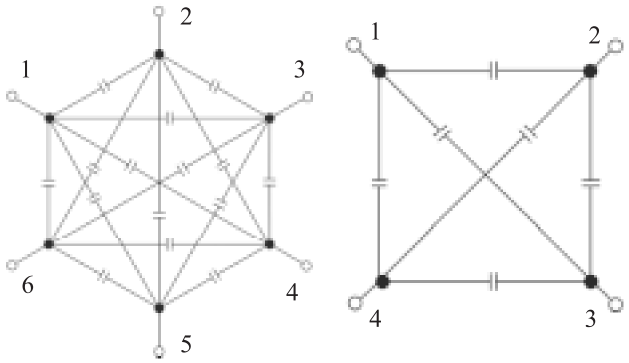

Рис. 2

В общем случае для организации всевозможных соединений по два элемента требуется

$$N = \sum_{i=1}^{Q-1} (Q-i) = C_Q^2 \tag{8}$$

коммутируемых элементов.

Число КЭ, определяемое формулой (8), является достаточным для получения всех возможных соединений, состоящих из более чем двух выводов. Из (8) также следует, что коммутируемые элементы в КЯ должны быть включены таким образом, чтобы связь между любой парой внешних выводов могла быть осуществлена только через один КЭ.

Перейдем к анализу известных структур коммутационных ячеек.

На **рис. 3** приведены схемы четырех видов коммутационных ячеек с одинаковым числом внешних выводов ($Q=4$): *а* — КЯ, реализованная на шести коммутируемых элементах на «замыкание» в соответствии с (8); *б* — КЯ Березовского [3], в которой использованы четыре элемента на переброс и два на замыкание; *в* — «звездочная» структура КЯ, которая была применена автором в системе автоматизированного контроля РЭА; *г* — матричная структура КЯ.

Параметры приведенных схем приведены в **табл. 1** и **2**.

Анализ приведенных в таблицах параметров показал следующее.

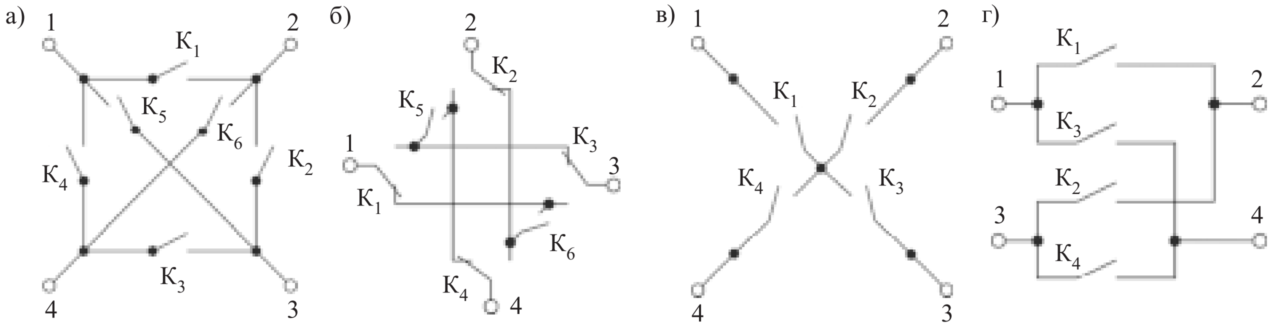

Рис. 3

Таблица 1

Номера соединяемых выводов	Число однотипных соединений			
	КЯ с коммутируемым элементом на замыкание	КЯ Березовского	КЯ с матричной структурой	КЯ со звездочной структурой
1, 2	1	2	1	1
1, 3	1	8	—	1
1, 4	1	2	1	1
2, 3	1	2	1	1
2, 4	1	8	—	1
3, 4	1	2	1	1
1, 2, 3	4	4	1	1
1, 2, 4	4	4	1	1
1, 3, 4	4	4	1	1
2, 3, 4	4	4	1	1
1, 2, 3, 4	38	4	5	1
1, 2—3, 4	1	2	1	—
1, 3—2, 4	1	12	—	—
1, 4—2, 3	1	2	1	—
0	1	4	1	5

Таблица 2

Параметр	КЯ с коммутируемым элементом на замыкание	КЯ Березовского	КЯ с матричной структурой	КЯ со звездочной структурой
Общее число соединений	64	64	16	16
Число неповторяющихся соединений	15	15	12	12
Максимальное число независимых связей	2	2	2	1
Число КЭ в КЯ	6	6	4	4

Общее число соединений (включая повторяющиеся) определяется различными состояниями N коммутируемых элементов, т. е. $S_{об}(Q)=2^N$.

Первые два вида рассмотренных КЯ удовлетворяют условиям полноты соединений, причем в КЯ Березовского имеет место более равномерное распределение повторяющихся соединений, что повышает «живучесть» КЯ. Это обусловлено тем, что в КЯ Березовского использованы коммутируемые элементы на переброс.

Коммутационные ячейки с матричной и звездочной структурами не удовлетворяют условиям полноты соединений, т. к. в одном и другом случаях некоторые соединения вообще отсутствуют, а в КЯ со звездочной структурой можно образовать только одну независимую связь. Очевидно, что невыполнение условий полноты соединений здесь обусловлено тем, что число коммутируемых элементов не удовлетворяет условию достаточности их количества (8).

Таким образом, в коммутаторах, построенных на основе регулярных структур, целесообразно использовать коммутационные ячейки с КЭ на замыкание или с КЭ Березовского, обеспечивающие бóльшую гибкость и универсальность связей с системой автоматизированного контроля.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Проектирование внешних средств автоматизированного контроля радиоэлектронного оборудования / Под ред. Н. Н. Пономарева.— М.: Радио и связь, 1984.

2. Каляев А. В. Однородные коммутационные регистровые структуры.— М.: Сов. радио, 1978.

3. А. с. 1665367 СССР. Коммутационный элемент Березовского / С. А. Березовский.— 1989.— Бюл. № 9.

4. Никитюк Л. А. Архитектура инфокоммуникационной сети // Зв'язок.— 2007.— № 5.— С. 7—13.