

```

MAXL — МАКСИМАЛЬНЫЙ НОМЕР СВЯЗИ,
F[MINT : MAXT, MINL : MAXL] — МАТРИЦА СЕЧЕНИЯ;
'VALUE' NODE, TREE, MINT, MAXT, LINK, MINL, MAXL;
'INTEGER' NODE, TREE, MINT, MAXT, LINK, MINL, MAXL;
'INTEGER' 'ARRAY' T, L, F;
'BEGIN'
'INTEGER' I, J, K, II, JJ; 'INTEGER' 'ARRAY' U[1 : NODE];
'FOR' I:=MINT 'STEP' 1 'UNTIL' MAXT 'DO'
'BEGIN'
'IF' I≠MINT 'THEN' 'BEGIN' 'IF' U[T[I, 1]]≠U[T[I, 2]] 'THEN' 'GOTO' L1 'END';
'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' NODE 'DO' U[K]:=K;
L1: II:=U[T[I, 1]];
L2: 'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' TREE 'DO' 'IF' I≠J 'THEN'
'BEGIN'
JJ:=0;
'IF' U[T[J, 1]] = II 'THEN' JJ:=U[T[J, 2]] 'ELSE'
'IF' U[T[J, 2]] = II 'THEN' JJ:=U[T[J, 1]];
'IF' JJ=0 'THEN'
'BEGIN'
'IF' II≠JJ 'THEN'
'BEGIN'
'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' NODE 'DO' 'IF' U[K]=JJ 'THEN' U[K]:=II;
'GOTO' L2
'END' 'END' 'END' CYCLE — J;
'FOR' J:=MINL 'STEP' 1 'UNTIL' MAXL 'DO' F[I, J]:=
'IF' U[L[J, 1]] = U[L[J, 2]] 'THEN' 0 'ELSE'
'IF' U[L[J, 1]] = II 'THEN' 1 'ELSE'
'IF' U[L[J, 2]] = II 'THEN' -1 'ELSE' 0
'END' CYCLE — I
'END' PROCEDURE — CUT;

```

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зыков А. А. Теория конечных графов. Новосибирск, «Наука», 1969.
2. Nichols K. G. Program for selecting a tree of a connected network and for finding the corresponding F matrix.— "Electron. Let.", 1969, vol. 5, N 17, p. 403—404.
3. Безносков Г. П., Ефименко В. В., Загоруйко А. С., Стукалин Ю. А. GRAFH TREE — АЛГОЛ-процедура построения дерева графа.— «Алгоритмы и программы». 1975, № 2, с. 7.
4. Сешу С., Рид М. Б. Линейные графы и электрические цепи. М., «Высшая школа», 1971.

*Поступило в редакцию 30 октября 1978 г.*

УДК 681.33

В. Л. АРТЮХОВ, Г. А. КОПЕЙКИН, А. А. ШАЛЫТО  
(Ленинград)

#### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ РЕЗИСТИВНЫХ НАБОРОВ

Благодаря успехам тонкопленочной микронэлектронной технологии наборы прецизионных резисторов в виде интегральных микросхем (ИМС) широко внедряются в различные измерительные и преобразовательные устройства. Общеизвестны, например, резистивные разрядные сетки серий 301, 304 и др., предназначенные для цифроаналоговых преобразователей, а также наборы резисторов серий 303, 305 и т. п.

По технологическим причинам подобные ИМС содержат обычно резисторы одного либо кратных номиналов. В этой связи представляет интерес оценка предельных функциональных возможностей наборов одинаковых резисторов при ограниченном числе внешних выводов корпуса ИМС.

Для решения этого вопроса можно воспользоваться полученными К. Шенном и Дж. Риорданом [1] результатами решения поставленной еще в 1892 г. Мак-Магоном задачи о числе двухполюсных параллельно-последовательных сетей. Ими определено число различных параллельно-последовательных сетей (структур) из  $k$  единичных элементов ( $k \leq 35$ ).

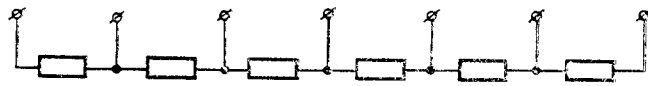


Рис. 1. Настраиваемый резистивный модуль.

Приведем количество  $N$  таких структур при  $k \leq 10$ :

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N$	1	2	4	10	24	66	180	522	1532	4624

Нами установлено, что все параллельно-последовательные структуры при  $k \leq 6$  могут быть реализованы последовательной цепочкой из  $k$  элементов (рис. 1), если точки их объединения и выводы крайних элементов соединены с внешними выводами конструкции [2]. Это достигается перемычками между соответствующими выводами. Подобная цепочка из 7 элементов реализует 179 структур из 180, а цепочка из 8 элементов — 518 структур из 522. Любая из этих структур строится описанным в [3] способом, использующим аппарат теории эйлеровых графов.

Из теории [4] известно:

- а) в произвольной структуре число узлов, образованных нечетным количеством элементов («нечетных» узлов), четно;
- б) в структуре есть «эйлеров путь» однократного последовательного прохождения всех элементов, если число нечетных узлов в ней равно 0 или 2;
- в) если в структуре 2 нечетных узла, то эйлеров путь должен начинаться в одном из них и заканчиваться в другом;
- г) при отсутствии в структуре нечетных узлов существуют эйлеровы пути, начинающиеся из любого узла.

В работе [4] описан алгоритм Хоанг Туи нахождения эйлерова пути. Ниже предлагается способ построения схемы перемычек в последовательной цепочке резисторов, использующий этот алгоритм.

При этом необходимо, двигаясь по эйлерову пути, занумеровать элементы в порядке их прохождения (рис. 2, а). Затем, вновь двигаясь по тому же пути, занумеровать клеммы элементов, начиная с номера 1 у «входа» первого элемента и добавляя к этому номеру единицу при прохождении каждого элемента. С помощью перемычек (рис. 2, б) в цепочке с последовательно пронумерованными элементами и клеммами объединяются выводы, связанные в реализуемой структуре.

Из приведенных результатов следует, что функциональные возможности последовательной цепочки резисторов при  $k \leq 6$  совпадают с возможностями  $k$  резисторов «россыпью», а при  $k=7$  и 8 они различаются незначительно. В то же время число внешних выводов цепочки равно  $k+1$ , тогда как у набора резисторов «россыпью» оно равно  $2k$ .

Анализ каждой из реализуемых цепочкой структур позволяет определить число номиналов сопротивлений, получаемых между парами внешних выводов. Ниже для примера приводятся перечни номиналов сопротивлений, реализуемых цепочками из  $k \leq 5$  резисторов:

- $k=1$ :  $R$  — один номинал;
- $k=2$ :  $\frac{1}{2}R, R, 2R$  — три номинала.

а

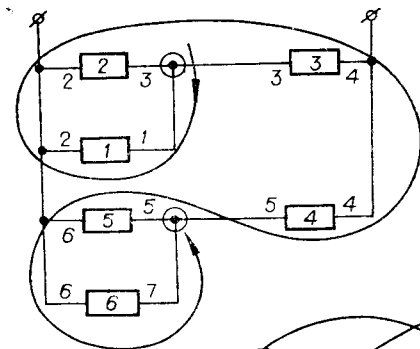
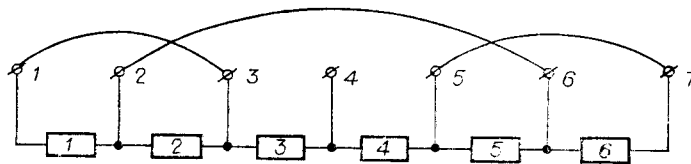


Рис. 2. Покрытие последовательно-параллельной структуры цепочкой резисторов.

б



Ряд является обобщением двух рядов:  $\frac{1}{2}R; R; 2R;$

$k = 3: \frac{1}{3}R, \frac{1}{2}R, \frac{2}{3}R, R, \frac{3}{2}R, 2R, 3R$  — семь номиналов.

Ряд является обобщением трех рядов:  $\frac{1}{3}R, \frac{2}{3}R; \frac{1}{2}R, \frac{2}{2}R, \frac{3}{2}R; R, 2R, 3R;$

$k = 4: \frac{1}{4}R, \frac{1}{3}R, \frac{2}{5}R, \frac{1}{2}R, \frac{3}{5}R, \frac{2}{3}R, \frac{3}{4}R, R, \frac{4}{3}R, \frac{3}{2}R, \frac{5}{3}R, 2R, \frac{5}{2}R, 3R, 4R$  — 15 номиналов.

Ряд является обобщением пяти рядов:  $\frac{2}{5}R, \frac{3}{5}R; \frac{1}{4}R, \frac{2}{4}R, \frac{3}{4}R; \frac{1}{3}R, \frac{2}{3}R,$

$\frac{3}{3}R, \frac{4}{3}R, \frac{5}{3}R; \frac{1}{2}R, \frac{2}{2}R, \frac{3}{2}R, \frac{4}{2}R, \frac{5}{2}R; R, 2R, 3R, 4R;$

$k = 5: \frac{1}{5}R, \frac{1}{4}R, \frac{2}{7}R, \frac{1}{3}R, \frac{3}{8}R, \frac{2}{5}R, \frac{3}{7}R, \frac{1}{2}R, \frac{4}{7}R, \frac{3}{5}R, \frac{5}{8}R, \frac{2}{3}R, \frac{5}{7}R,$

$\frac{3}{4}R, \frac{4}{5}R, \frac{5}{6}R, \frac{6}{7}R, R, \frac{7}{6}R, \frac{6}{5}R, \frac{5}{4}R, \frac{4}{3}R, \frac{7}{5}R, \frac{3}{2}R, \frac{8}{5}R, \frac{5}{3}R, \frac{7}{4}R,$

$2R, \frac{7}{3}R, \frac{5}{2}R, \frac{8}{3}R, 3R, \frac{7}{2}R, 4R, 5R$  — 35 номиналов.

Ряд является обобщением восьми рядов:  $\frac{3}{8}R, \frac{5}{8}R; \frac{2}{7}R, \frac{3}{7}R, \frac{4}{7}R, \frac{5}{7}R,$

$\frac{6}{7}R; \frac{5}{6}R, \frac{7}{6}R; \frac{1}{5}R, \frac{2}{5}R, \frac{3}{5}R, \frac{4}{5}R, \frac{5}{5}R, \frac{6}{5}R, \frac{7}{5}R, \frac{8}{5}R; \frac{1}{4}R, \frac{2}{4}R, \frac{3}{4}R,$

$\frac{4}{4}R, \frac{5}{4}R, \frac{6}{4}R, \frac{7}{4}R; \frac{1}{3}R, \frac{2}{3}R, \frac{3}{3}R, \frac{4}{3}R, \frac{5}{3}R, \frac{6}{3}R, \frac{7}{3}R, \frac{8}{3}R; \frac{1}{2}R,$

$\frac{2}{2}R, \frac{3}{2}R, \frac{4}{2}R, \frac{5}{2}R, \frac{6}{2}R, \frac{7}{2}R; R, 2R, 3R, 4R, 5R.$

Таким образом, последовательная цепочка из  $k$  одинаковых резисторов позволяет реализовать большое число различных номиналов сопротивлений при меньшем, чем у набора резисторов «россыпью», количестве внешних выводов. Микроэлектронные «настраиваемые модули» в виде таких цепочек технологичны и могут найти широкое применение в преобразователях, компенсационных измерителях и т. п. Для каждого такого модуля легко построить ряд реализуемых сопротивлений и таблицу соответствующих настроек.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М., ИЛ, 1963.
2. Прангишвили И. В. и др. Многофункциональный логический модуль.— Авт. свид-во СССР № 427336, БИ, 1974, № 17.
3. Дунин В. М. и др. Централизованное управление судовыми системами. Л., «Судо-строение», 1976.
4. Зыков А. А. Теория конечных графов. Новосибирск, «Наука», 1969.

Поступило в редакцию 10 мая 1977 г.