

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

---

Методические указания  
к практическим занятиям по курсу  
**«АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ПРОИЗВОДСТВА ЭВА И РЭА»**

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана



Методические указания  
к практическим занятиям  
по курсу

"Автоматизация проектирования конструкций  
и технологических процессов производства ЭВМ и ГЭА"

Под редакцией Б.М. Белоза

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом.

Рассмотрены и одобрены кафедрой П-8 05.04.82 г., методической комиссией факультета П 21.04.82 г. и учебно-методическим управлением 04.03.84 г.

Рецензент к.т.н. доц. Овчинников В.А.

С

Московское высшее техническое училище  
имени Н.Э. Баумана

### Содержание

Занятие № 1. Компоновка ЭВА с использованием последовательного алгоритма компоновки по связности.....	8
Занятие № 2. Проектирование размещения элементов гибридно-пленочной микросхемы в интерактивном режиме .....	18
Занятие № 3. Расчет амплитудно-частотных характеристик интегральных СВЧ устройств с помощью ЭВМ .....	24

### Авторы:

В.Г. Алексеев, Ю.И. Нестеров, В.Г. Подгурский, В.П. Усачев

Редактор В.М. Царев

Корректор Л.И. Малетина

---

Заказ 77/4 Объем 2 п.л. (2 уч.-изд.л.) Тираж 400 экз.  
Бесплатно. Подписано к печати 26.04.85 г. План 1984 г., № 41.

---

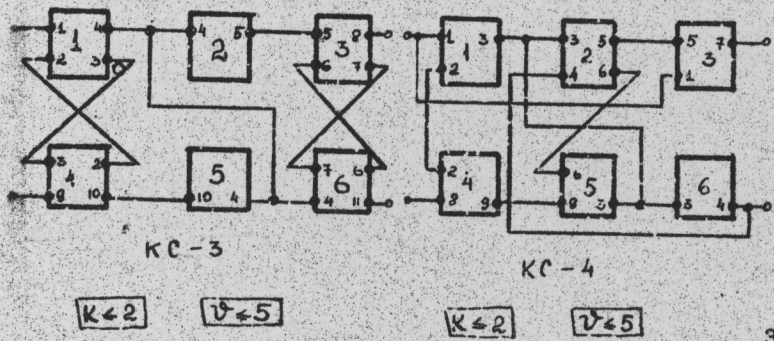
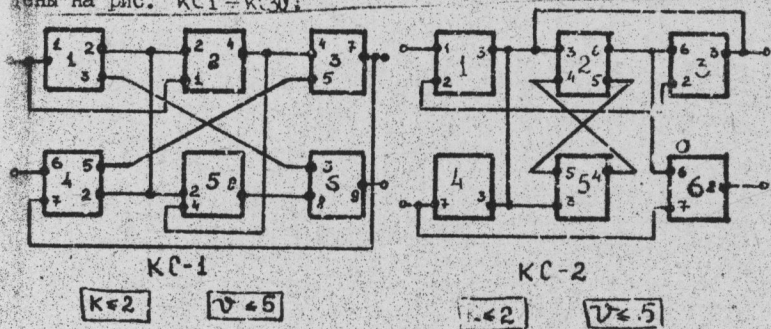
Типография МВТУ. 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5

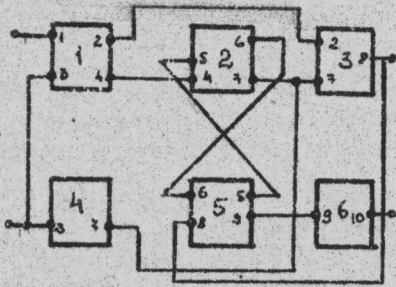
# Занятие № 1. КОМПОНОВКА ЭВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА КОМПОНОВКИ ПО СВЯЗНОСТИ

Цель практического занятия - приобретение практических навыков использования последовательного алгоритма компоновки по связности при решении конкретной задачи конструкторского проектирования ЭВА.

## Краткие методические указания

Для заданного варианта коммутационной схемы предлагается провести компоновку узлов с использованием последовательного алгоритма компоновки по связности и с учетом заданных ограничений  $k \leq \alpha$  - по количеству элементов в узле и  $v \leq \beta$  - по количеству внешних выводов узла. После завершения компоновки узлов вычертим схему межузловых соединений. (Варианты коммутационных схем приведены на рис. КС1 - КС3):

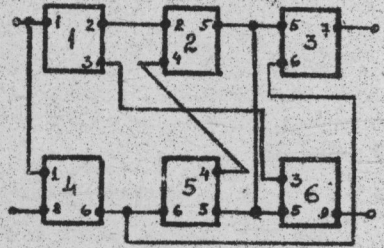




$K=2$

KC-5

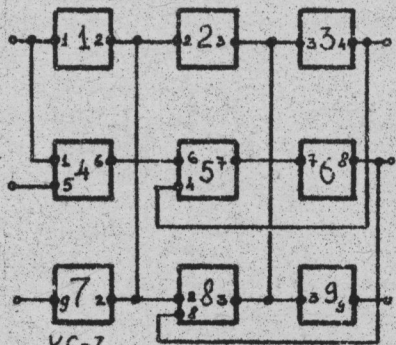
$V=5$



$K=2$

KC-6

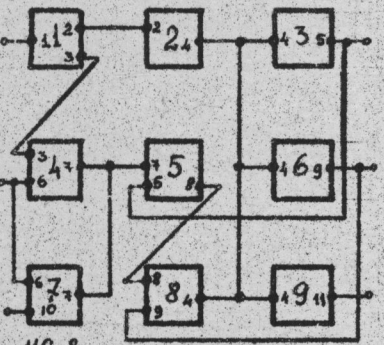
$V=5$



KC-7

$K=3$

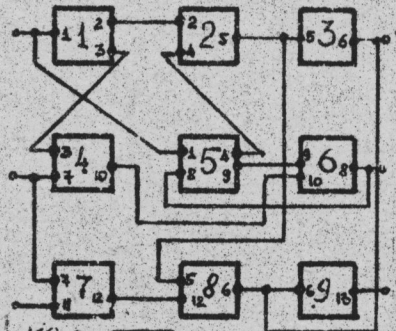
$V=5$



KC-8

$K=3$

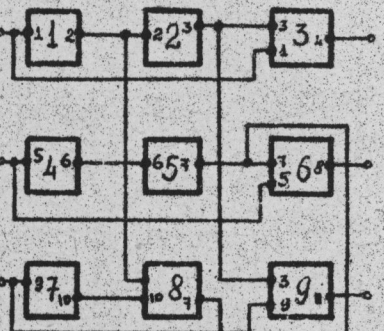
$V=5$



KC-9

$K=3$

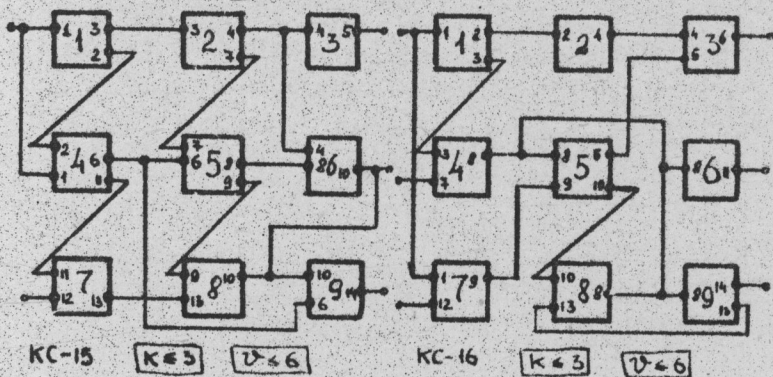
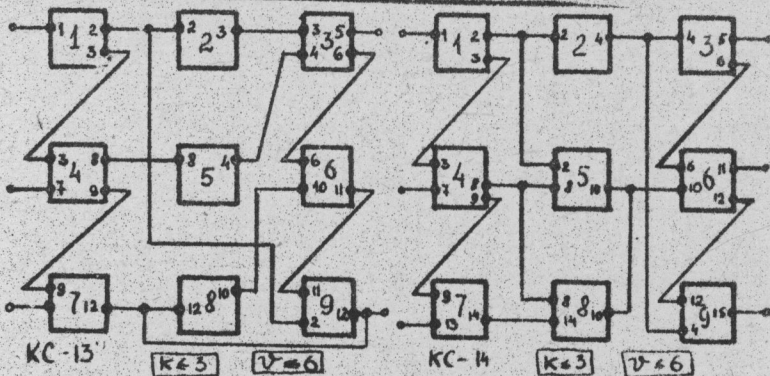
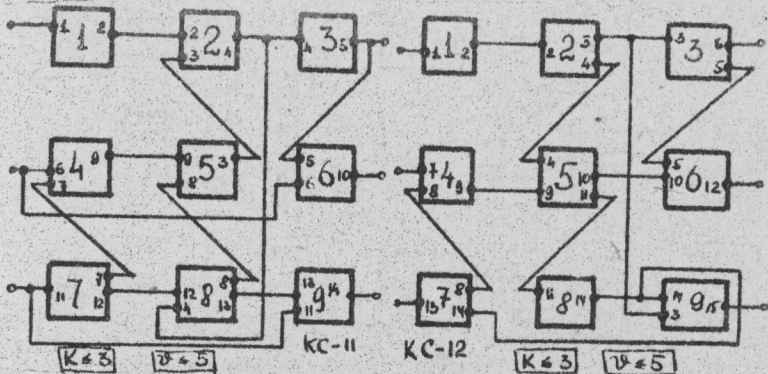
$V=5$

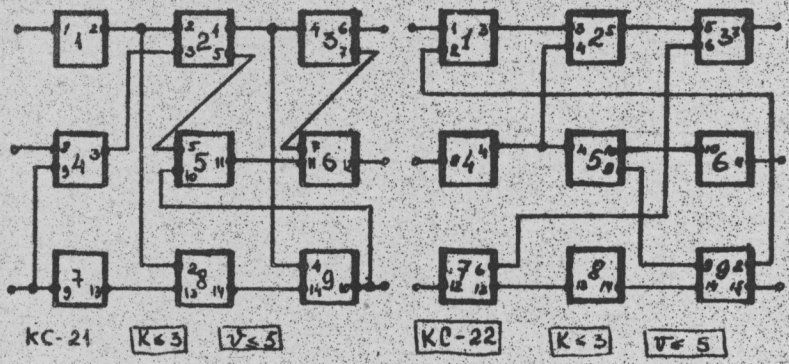
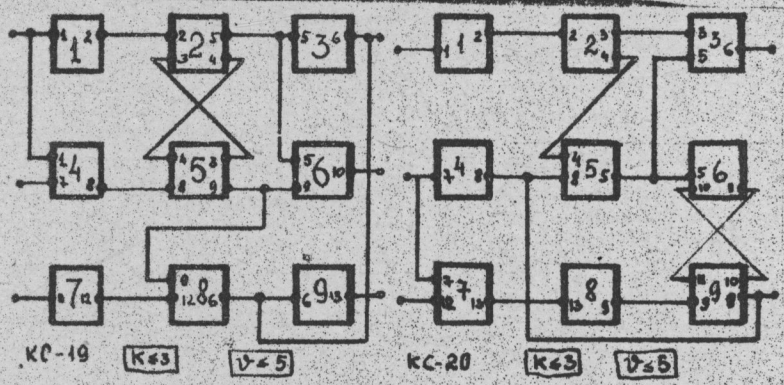
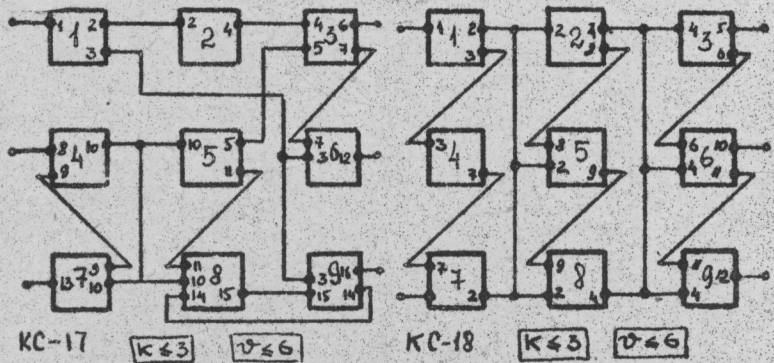


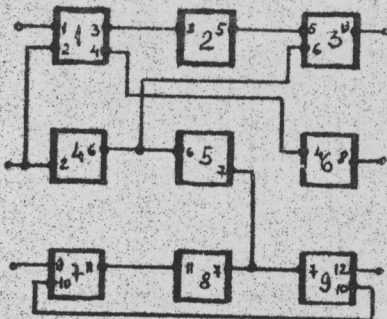
KC-10

$K=3$

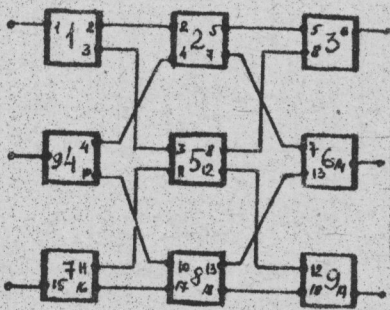
$V=5$



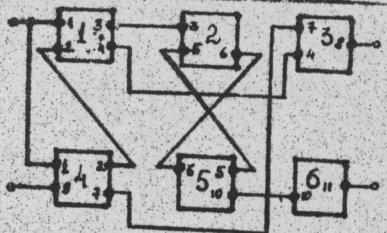




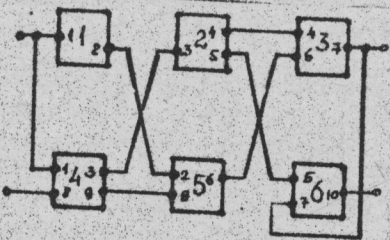
KC-23  $K \leq 3$   $V \leq 4$



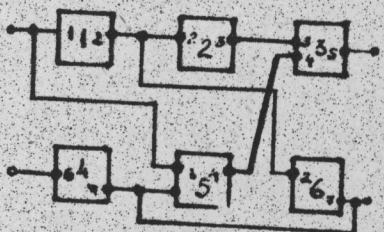
KC-24  $K \leq 3$   $V \leq 6$



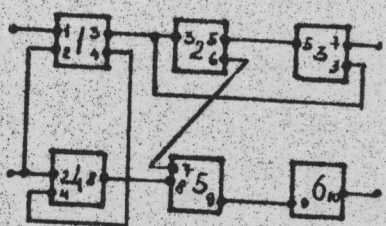
KC-25  $K \leq 2$   $V \leq 4$



KC-26  $K \leq 2$   $V \leq 4$

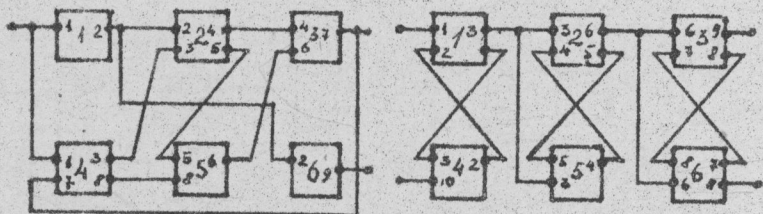


KC-27  $K \leq 2$   $V \leq 4$



KC-28  $K \leq 2$   $V \leq 4$





KC-29

$K \leq 2$

$\nu \leq 4$

KC-30

$K \leq 2$

$\nu \leq 4$

Рассмотрим методику решения поставленной задачи на конкретном примере (рис. 1.1). Пусть необходимо провести компоновку девяти элементов при условии, что в каждом узле помещается не более трех ( $K \leq 3$ ) и каждый узел должен иметь не более пяти выводов ( $\nu \leq 5$ ). Для заданной коммутационной схемы запишем матрицу элементных комплексов

$$Q = \begin{array}{c} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \\ \nu_4 \\ \nu_5 \\ \nu_6 \\ \nu_7 \\ \nu_8 \\ \nu_9 \\ \nu_{10} \\ \nu_{11} \\ \nu_{12} \end{array} \begin{array}{c} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \\ e_6 \\ e_7 \\ e_8 \\ e_9 \end{array} \begin{array}{|cccccccccc|} \hline 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Нам необходимо определить последовательный процесс назначения элементов  $e \in E = \{e_1, \dots, e_9\}$  в узлы  $T_\tau$  ( $\tau = \overline{1, \chi}$ ), на каждом шаге которого выбирается один из нераспределенных элементов и приписывается одному узлу.

Узел считается завершенным, если число элементов в нем равно заданному числу  $K$  либо назначение любого из нераспределенных элементов приводит к образованию такого числа внешних связей узла, которое превышает допустимое значение  $\nu$ .

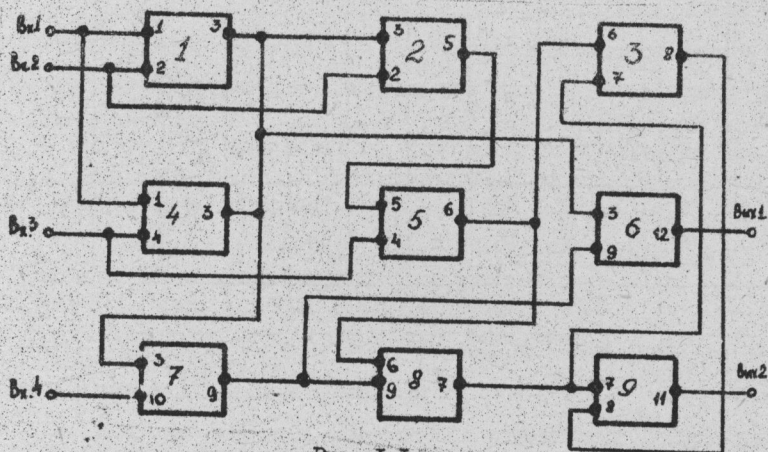


Рис. 1.1

После завершения очередного узла аналогичная процедура повторяется для следующего, причем кандидатами для назначения являются элементы, не включенные в предыдущие узлы. Процесс заканчивается, когда все элементы из множества  $E$  будут распределены.

Заметим, что элемент  $e_6$ , соответствующий набору внешних выводов схемы, считается распределенным в узел  $T_6$ .

Процесс компоновки будем иллюстрировать с помощью табл. 1.1.

Таблица 1.1

$\tau$	$J'_n$	$L'_1$	$L'_2$	$J''_n$	$L''_2$	$L''_3$	$T'_n$	$J'''_n$	$L'''_2$	$L'''_3$	$T''_n$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	$e_1$	3	$e_1$	$e_2$	4	2	$e_1$	$e_3$	7		$e_1$
	$e_2$	3		$e_3$	6	0	$e_2$	$e_4$	5	2	$e_2$
	$e_3$	3		$e_4$	4	2		$e_5$	5	1	$e_4$
	$e_4$	3		$e_5$	6	0		$e_6$	6		
	$e_5$	3		$e_6$	5	1		$e_7$	6		
	$e_6$	2		$e_7$	5	1		$e_8$	7		
	$e_7$	2		$e_8$	6	0					
	$e_8$	2		$e_9$	6	0		$e_9$	7		
	$e_9$	2									
	$e_3$	3	$e_3$	$e_5$	5	1	$e_3, e_5$	$e_5$	5	1	$e_3$

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	$e_5$	1		$e_6$	6	0	$e_9$	$e_6$	6		$e_9$
	$e_6$	2		$e_7$	6	0		$e_7$	6	2	$e_8$
	$e_7$	2		$e_8$	4	2		$e_8$	3		
	$e_8$	3		$e_9$	3	2					
	$e_9$	2									
3	$e_5$	0	$e_6$	$e_5$	6	0	$e_6$	$e_5$	7	0	$e_6$
	$e_6$	2		$e_7$	4	2	$e_7$				$e_7$
	$e_7$	2									
4	$e_5$										$e_5$

Итак, осуществляем компоновку первого узла  $\tau = 1$ . Для этого заполним графу  $\mathcal{J}'_*$ , в которую запишем в порядке возрастания номеров элементы, участвующие в компоновке на данном шаге.

Далее для каждого элемента  $e_i$  из графы  $\mathcal{J}'_*$  определим по матрице  $Q$  значение функционала  $L'_i$ , полученные значения запишем в графу  $L'_i$  таблицы. Напомним, что функционал  $L'_i$  определяет число цепей, связывающих элемент  $e_i$  ( $e_i \in \mathcal{J}'_*$ ) и элементы из множества  $\mathcal{J}_* = \mathcal{J}'_* / e_i$ .

Так, например, при определении значения функционала  $L'_1$  для элемента  $e_1$  нужно взять соответствующий столбец матрицы  $Q$  и сосчитать в нем количество единиц, определив тем самым количество цепей, соединяющих элемент  $e_1$  с остальными элементами (т.е. элементами  $e_2, e_4, e_6, e_7$ ). Аналогично определим значение функционала  $L'_i$  для всех других элементов множества  $\mathcal{J}'_*$ . Нужно

иметь в виду, что при определении функционала  $L'_i$  для элемента  $e_i$  не учитываются цепи, которые связывают этот элемент с элементом  $e_0$ .

Первым элементом, который назначается в компоновку узел, является имеющий максимальное значение функционала  $L'_i$ . Если несколько элементов имеют одинаковые максимальные значения функционала  $L'_i$ , то первым в узел назначается имеющий наименьший порядковый номер. В нашем случае таким будет элемент  $e_1$ , который запишем в графу  $i_*$  таблицы.

Оставшиеся элементы перепишем в графу  $\mathcal{J}_k'$  таблицы, т.е. образуем множество элементов  $\mathcal{J}_k''$ , не распределенных в узлы к данному моменту компоновки, для них определим значение функционала  $L_2$ .

Напомним, что функционал  $L_2$  определяет число внешних выводов компонуемого узла, которые появятся при добавлении в узел к уже назначенным элементам из множества  $\mathcal{J}_k''$ .

Так, например, при определении значения функционала  $L_2$  для элемента  $e_2$  необходимо проанализировать два столбца  $e_1$  и  $e_2$  матрицы  $Q$ . Если в каждую строку матрицы входят только единицы из столбцов  $e_1$  и  $e_2$ , то соответствующая строка матрицы цепей определяет связь элементов  $e_1$  и  $e_2$  внутри узла. Таким образом, возможны случаи:

	$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	
$v_i$	1	1	1	0	0	внешняя цепь для узла $T_1$
$v_{i+1}$	1	0	1	0	0	внешняя цепь для узла $T_1$
$v_{i+2}$	1	1	0	0	0	внешняя цепь для узла $T_1$
$v_{i+3}$	0	1	1	1	0	внешняя цепь для узла $T_1$
$v_{i+4}$	0	1	0	1	0	внешняя цепь для узла $T_1$
$v_{i+5}$	0	1	1	0	0	внешняя цепь для узла $T_1$

В нашем случае значение функционала  $L_2$  для элемента  $e_2$  по матрице  $Q$  равно четырем. Аналогично определяют значение функционала  $L_2$  для всех остальных элементов из множества  $\mathcal{J}_k''$  и заполняют графу  $L_2''$  таблицы.

Элементы множества  $\mathcal{J}_k''$ , для которых  $L_2 > v$ , из дальнейшего рассмотрения при компоновке узла  $T_1$  на данном шаге исключаются, поскольку их наличие в компонуемом узле может привести к тому, что заверченный узел будет иметь недопустимое число внешних соединений. В нашем случае из рассмотрения исключаются элементы  $e_3, e_5, e_8, e_9$ .

Для оставшихся элементов  $e_2, e_4, e_6, e_7$  определим значение функционала  $L_2$ .

Напомним, что функционал  $L_2$  определяет число цепей, связы-

вающих назначаемый в узел  $e_1$  с уже распределенными в него элементами.

Так, например, для элемента  $e_2$ , проанализировав столбцы  $e_2, e_1$  матрицы  $Q$ , определим, что функционал  $L_3$  равен двум. Аналогично определим значение функционала  $L_3$  для остальных элементов  $e_4, e_6, e_7$ . Полученные значения запишем в графу  $L_3$  таблицы.

Из оставшихся элементы  $e_2$  и  $e_4$  имеют одинаковое максимальное значение функционала  $L_3$ , из них мы должны выбрать элемент, для которого  $L_2$  принимает минимальное значение. В нашем случае элементы  $e_2$  и  $e_4$  имеют одинаковые значения функционала  $L_2 = 2$  и функционала  $L_2 = 4$ . В узел включается элемент с меньшим номером, т.е.  $e_2$ .

Далее в графу запишем элементы  $e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9$ , для которых нам предстоит определить значения функционалов  $L_2$  и  $L_3$ . На этом шаге после определения значения функционала  $L_3$  и, в соответствии с изложенной выше методикой, кандидатами на включение элементов в узел  $T_1$  будут элементы  $e_4$  и  $e_5$  (см. табл. I.1). Поскольку  $e_4$  имеет наибольшее значение функционала  $L_3$ , он попадет в узел и таким образом завершится образование узла  $T_1$ .

Аналогично формируется узел  $T_2$ . Следует отметить, что в узел сначала попадет элемент  $e_9$ , поскольку для него значение функционала  $L_2$  меньше, чем для  $e_8$ .

При образовании узла  $T_3$  оказывается, что для трех элементов необходимо семь выводов, что недопустимо. Поэтому узел  $T_3$  остается недоукомплектованным:  $T_3 = \{e_6, e_7\}$  - оставшийся элемент образует дополнительный узел  $T_4$ .

Итак результат компоновки:  $T_1 = \{e_1, e_2, e_4\}$ ;  $T_2 = \{e_3, e_9, e_8\}$ ;  $T_3 = \{e_6, e_7\}$ ;  $T_4 = \{e_5\}$ .

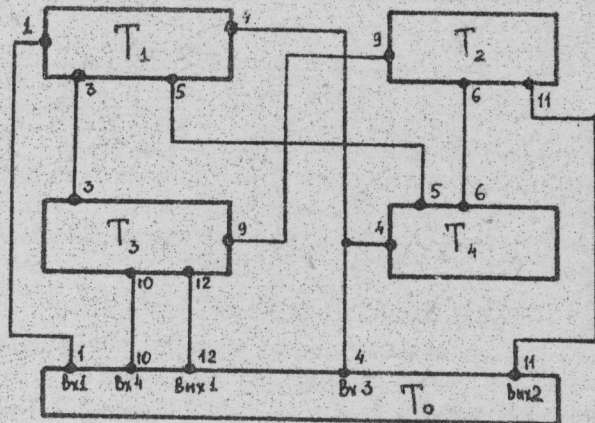
Схема межузловых соединений для данного варианта компоновки имеет вид, представленный на рис. I.2.

#### Содержание и порядок выполнения работ

Время выполнения работы - 2 ч.

На первом часе занятий студенту необходимо получить у руководителя задание, содержащее электрическую принципиальную схему (рис. I.1), и приступить к его выполнению.

рис. 1.2



### Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) принципиальную электрическую или коммутационную схему устройства, матрицу соединений  $Q$  ;
- 2) таблицу пошаговой компоновки (типа табл. 1.1);
- 3) схему межузловых соединений принятого варианта компоновки (см. рис. 1.2).

## Занятие № 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИБРИДНО-ПЛЕНОЧНОЙ МИКРОСХЕМЫ В ИНТЕРАКТИВНОМ РЕЖИМЕ

Цель практического занятия – изучение методики использования дисплея для оптимального размещения элементов гибридно-плёночной микросхемы на подложке.

### Краткие методические указания

Вопросы оптимального размещения элементов излагаются в [ 1, с. 124; 2, с. 173], их необходимо изучить к данной работе.

Исходными данными для размещения элементов гибридно-плёночной микросхемы являются:

- электрическая принципиальная схема с типами элементов;
- пределы геометрических размеров элементов.

В данной работе размеры выбираются из табл. 2.1.

Таблица 2.1

Элемент	R	C	Контактная площадка	T	D
Длина $\ell$	I...10	I...5	I...5	8	3
Ширина $\delta$	I...2	I...5	I...5	8	3

Студент должен помнить, что для применения алгоритма размещения необходимо сначала выполнить подготовительную работу, которая включает ряд операций по подготовке данных для ввода в ЭВМ через дисплей.

### Содержание подготовительной части работы

Этапы подготовительной работы рассмотрим на примере.

Вначале, на основе заданной преподавателем электрической принципиальной схемы (рис. 2.1), студент составляет коммутационную схему (рис. 2.2). На последней изображают все пассивные элементы так же, как и по схеме, электрической принципиальной, и, кроме того, показывают все выводы активных элементов, входные и выходные контакты в виде контактных площадок.

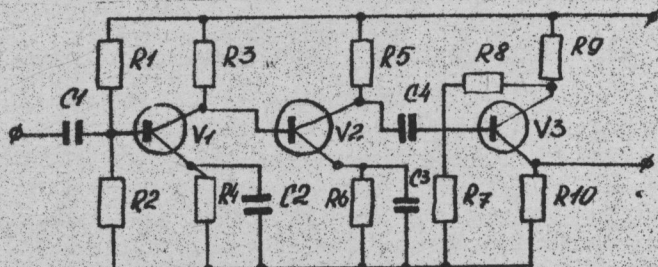


Рис. 2.1

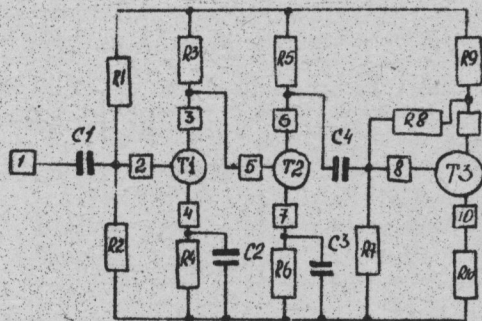
По указанию преподавателя определяют геометрические размеры пассивных элементов, контактных площадок с учетом значений, указанных в табл. 2.1.

Для данного примера размеры указаны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Элемент	КП №1	КП №2...10	R1...R10	C1...C4	T
Размер, мм					
$\ell$	3	2	5	2	8
$\delta$	I	2	I	2	8

Рис. 2.2



Выбирают шаг координатной сетки таким образом, чтобы размеры всех элементов и контактных площадок выражались в целых частях координатной сетки.

В примере выбирают шаг координатной сетки  $m = 1$  мм (так как  $V_{max} = 1$  мм).

Выборные размеры резисторов и конденсаторов должны быть увеличены по контуру, так как в применяемом алгоритме размещения элементов на подложке принят принцип "плотной упаковки", в соответствии с которым два соседних элемента совмещаются по одной из общих сторон. Для того чтобы можно было выполнить электрическое соединение с помощью пленочных проводников, размеры элементов увеличивают по контуру на ширину канала, где должен пройти пленочный проводник. Ширина канала равна шагу сетки, если элемент имеет два вывода; двум шагам, если элемент имеет четыре вывода и т.д.

Скорректированные размеры резисторов и конденсаторов представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Элемент Размер, мм	КП N°1	КП N°2...10	R1...R10	C1...C4	T1...T3
l	3	2	7	4	12
B	1	2	3	4	12

Элементы можно устанавливать на подложке либо в ориентации, условно названной № 1 (длинная сторона ориентирована вдоль локальной оси Y), либо в ориентации № 2 (длинная сторона направлена вдоль локальной оси X). Все координаты выражены в шагах (или



дискретах) координатной сетки целыми числами. Для ввода данных через дисплей о размерах элемента указывают лишь координаты правого верхнего угла элемента (табл. 2.4 и рис. 2.3 - точка А).

Таблица 2.4

Наименование элемента	Обозначение элемента по схеме	Ориентация	Координаты элемента	
			x	y
Резистор	I	I	3	7
Конденсатор	I	I	4	4
Контактная площадка	I	2	3	I

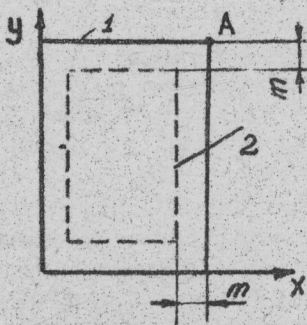


Рис. 2.3. Координаты пленочного элемента ТА в локальной системе координат в ориентации № I: I - увеличенный контур пленочного элемента; 2 - действительный контур пленочного элемента

Определяем площадь подложки, требуемую для размещения всех элементов, по формуле

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n_R} S_{R_i} + \sum_{j=1}^{n_C} S_{C_j} + \sum_{k=1}^{n_K} S_{K_k} + \sum_{l=1}^{n_A} S_{A_l}}{K_S}$$

где  $S_{R_i}$ ,  $S_{C_j}$ ,  $S_{K_k}$ ,  $S_{A_l}$  - соответственно площади резисторов, конденсаторов, контактных площадок, активных элементов;

$n_R$ ,  $n_C$ ,  $n_K$ ,  $n_A$  - количество элементов соответствующих типов;

$K_S$  - коэффициент заполнения площади подложек, принимаемый равным  $K_S = 0,2 \dots 0,9$ .

Полученное значение несколько увеличивает, чтобы оставить зазор от границы подложки до ближайшего пленочного элемента до I мм.

После вычисления площади подложки выбирают ее типоразмер из ряда рекомендуемых. Они приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Ширина подложки, мм	30	24	16				12		10	
Длина подложки, мм	48	30	20	24	30	60	30	48	12	16

Для определения площади рабочего поля выбранные размеры подложки уменьшают по контуру на величину шага координатной сетки (так как элементы не могут быть расположены на границе подложки), кроме того, еще и с одной стороны на величину контактной площадки, соответствующей входу схемы. Например,

$$S = \frac{1 \times 3 \times 1 + 9 \times 2 \times 2 + 10 \times 7 \times 3 + 4 \times 4 \times 4 + 3 \times 12 \times 12}{0,6} = 1136 \text{ мм}^2.$$

Из табл. 2.5 выбирают подложку с размерами 30x48 мм.

На основе коммутационной схемы составляют матрицу смежности  $Q$ . В нее включают пленочные пассивные элементы, внутренние контактные площадки активных элементов, а также один из внешних выводов, соответствующий входному сигналу схемы. Этот вывод должен иметь в матрице первый номер. Элемент  $q_{ij}$  матрицы смежности показывает, соединены элементы  $i$  и  $j$  между собой или нет, и имеет соответственно значение 1 или 0.

Так, матрица смежности  $Q$  имеет вид, показанный на рис. 2.4.

#### Порядок выполнения работы

Выбранные на подготовительном этапе размеры подложки (рабочего поля), размеры элементов, а также количество элементов и критический коэффициент заполнения вводятся в программу, которая выполняется под управлением операционной системы ОС-6.1. Общая схема программы приведена на рис. 2.5.

Ввод исходных данных осуществляется при помощи клавиатуры дисплея; используется диалоговая система JEC. Для работы в системе JEC следует ознакомиться с инструкцией.

В начале работы необходимо ввести директиву

00-056, УЧЕБН. ПРОЦ., SYSL STUD

По этой директиве становятся доступными для системы JEC библиотека SYSL STUD и конкретный экран пользователя.

Основные команды, с которыми приходится работать в системе JEC, следующие:

\* C - очистить буфер экрана; \* W\_ [раздел] - записать содержимое буфера экрана в раздел библиотеки SYSL STUD; \* R\_ [раз-

дел] - прочитать из библиотеки SYSL STUD с экрана раздел;  
 # P± [число] - передвинуть текущую сторону на указанное число;  
 # Γ<sub>±</sub> [число] - освободить указанное число строк для ввода исходной информации; # E - закончить сеанс работы с экраном; # D.S - просмотреть результат работы на экране; # Q #RDR<sub>±</sub> 1 - поставить в очередь для решения задание из буфера экрана.

R =

	1	2	3	5	6	7	8	9	10	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R0	C1	C2	C3	C4		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
R1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
R2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0
R3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
R5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
R6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
R7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
R8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
R9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
R0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
C1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
C3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
C4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2.4

В библиотеке SYSL STUD хранятся разделы со стандартными картами программы. Соотношения между номером экрана и разделом приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

№ экрана	Раздел	№ экрана	Раздел
21	LAB 21	70	LAB 70
22	LAB 22	71	LAB 71
23	LAB 23	72	LAB 72
		73	LAB 73

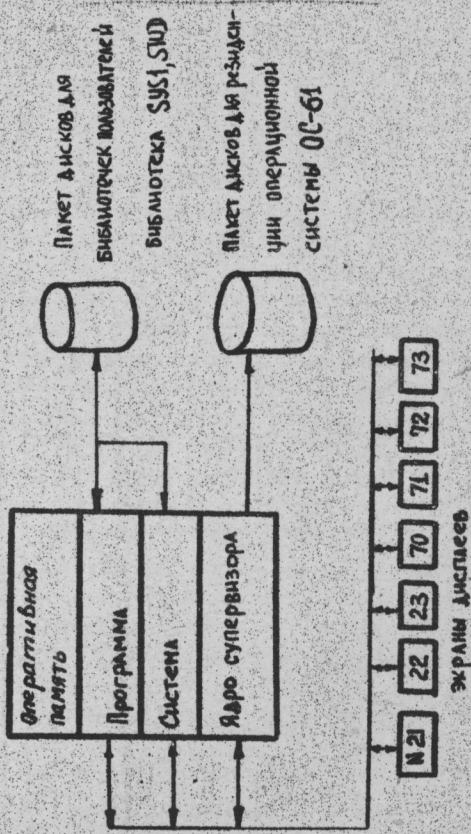


Рис. 2.5

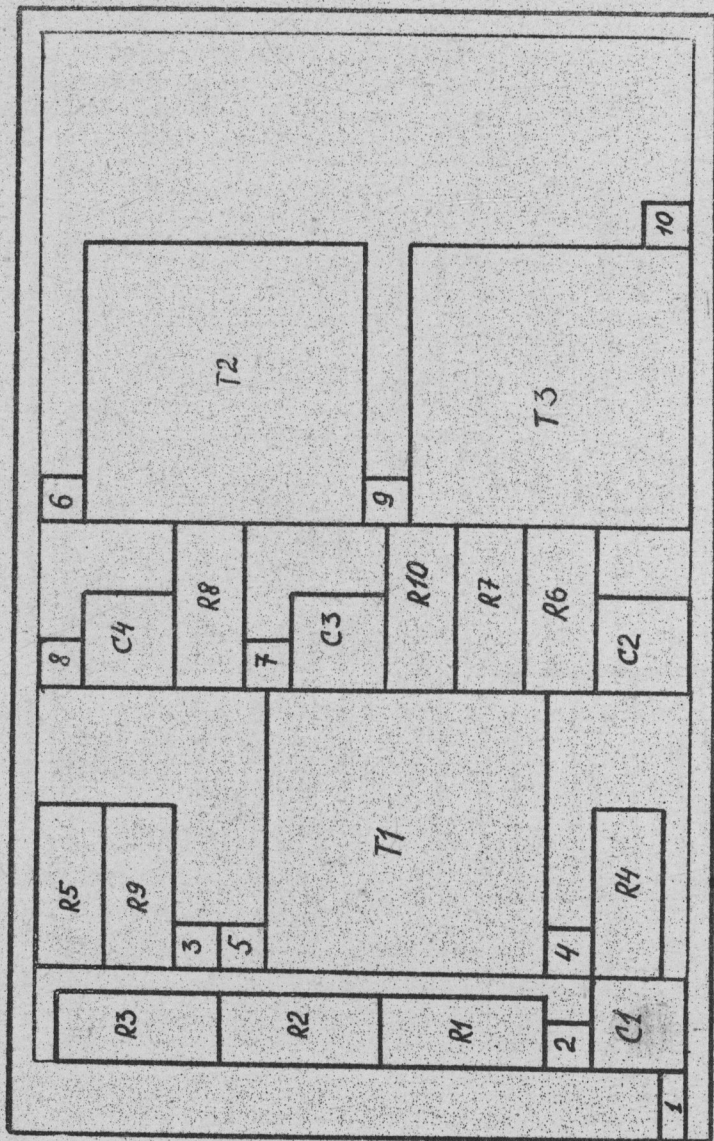


FIG. 2.6

После начальной директивы при необходимости можно очистить буфер экрана командой # С и прочитать раздел со стандартными картами. Например, для экрана # 71 команда чтения будет

# R L AB71.

После строки // FT05F001 DD ввести исходную информацию, т.е. размеры рабочего поля по осям  $x$  и  $y$ , выраженные в шагах координатной сетки, количество элементов коммутационной схемы и критический коэффициент-заполнения. Эти значения набираются с первой позиции, например:

4050250.75,

где 40 - размер по оси  $x$  (Mx0),

50 - размер по оси  $y$  (My0),

25 - количество элементов (L),

0,75 - критический коэффициент заполнения (ZK0).

На следующих строках вводится матрица смежности. Количество строк, необходимых для ввода матрицы смежности, равно количеству элементов. На каждую строку вводится одна строка матрицы. Элементы матрицы набираются без пробелов, начиная со второй позиции. На каждый элемент отводится одна позиция.

После матрицы смежности вводятся размеры всех элементов MxM<sub>i</sub> и MyM<sub>i</sub>. Вначале вводятся последовательно размеры всех элементов по оси  $x$  - MxM<sub>i</sub>. Размеры выражают в шагах координатной сетки, поэтому они - целые числа. Эти размеры набираются с первой позиции, под каждый из них отводится по две позиции, при этом пробелы не допускаются. В каждой строчке экрана дисплея можно набрать размеры для 20 элементов. Если количество элементов больше 20, вводится вторая строка. После ввода размеров по оси  $x$  аналогично вводят размеры элементов по оси  $y$  - MyM<sub>i</sub>.

После ввода всех исходных данных вводится сторона II.

Набранное задание из буфера экрана записывают в рабочий раздел библиотеки. Соответствие между экранами и рабочими разделами показано в табл. 2.7.

Таблица 2.7

№ экрана	Раздел	№ экрана	Раздел
21	21	70	70
22	22	71	71
23	23	72	72
		73	73

Например, для экрана № 7I команда записи буфера экрана в рабочий раздел будет выглядеть так: # W L 7 I . Далее следует прочитать содержимое соответствующего рабочего раздела с экрана (# R L 7 I для экрана № 7I) и поставить в очередь для решения задание из буфера экрана (# Q # RDR L I).

Программа LABI, оптимизирующая размещение элементов гибридно-пленочной микросхемы, выбирает очередной элемент для установки на рабочем поле по максимальному значению коэффициента связности. С этой целью для каждого претендента рассчитывается предвзительно коэффициент связности по формуле

$$\Delta c_i = \sum_{\tau} c_i \tau,$$

где  $i$  - номер неразмещенного элемента;  $\tau$  - множество установленных к данному шагу элементов.

Выбранный элемент устанавливается в ориентации № I вплотную к ранее установленному. А результаты расчета заносятся в координаты правого верхнего угла размещенного элемента MX и MY, а также заносится номер ряда, в котором он расположен.

После заполнения очередного ряда вычисляется коэффициент заполнения подложки по формуле

$$K_2 = \frac{\sum S_{i_s}}{S_s},$$

где  $\sum S_{i_s}$  - сумма площадей, занимаемых всеми элементами, находящимися в данном ряду подложки;  $S_s$  - площадь  $S_i$  ряда подложки.

Если полученный  $K_2$  меньше некоторого критического  $ZK\emptyset$ , то заполнение данного ряда начинается сначала, но уже в ориентации № 2 всех элементов. Если же и в этой ориентации коэффициент заполнения получится меньше критического, то выбирается ориентация, в которой этот коэффициент больше. После чего происходит заполнение следующего ряда.

Примечание. Критический коэффициент заполнения  $ZK\emptyset = 0,6... 0,9$ .

Каждый нечетный ряд заполняется элементами снизу-вверх, а каждый четный сверху-вниз. Если все элементы невозможно разместить на данной подложке, то печатается сообщение, что размер  $M \times \emptyset$  определен неверно.

Для просмотра результатов ввести команду # DS. При этом на экране высветится таблица, в которую необходимо внести имя задания изменить SYSPRINT на FT\66 F\66. Например, для

экрана № 71 имя задания LAB71. Имя задания совпадает с именем раздела со стандартными картами для конкретного экрана. При необходимости исходные данные можно скорректировать. При этом сначала необходимо очистить буфер экрана (# C), прочитать содержимое соответствующего рабочего раздела (# R LAB71 - для экрана № 71), произвести коррекцию содержимого буфера экрана и т.д.

### Содержание работы

Время выполнения работы - 2 ч.

На первом часе занятия получить у руководителя задание, содержащее схему, электрическую принципиальную. На основании заданной схемы составить коммутационную. Выбрать размеры пленочных элементов. Составить таблицу координат пленочных элементов и их выводов, выбрать шаг координатной сетки. На основании данных о геометрических размерах пленочных элементов площади подложки произвести выбор типоразмера подложки. Составить матрицу смежности. Заполнить соответствующие графы бланка для разработки оптимального размещения элементов микросхемы.

На втором часе ознакомиться с инструкцией для работы в системе ЭБС и выполнить все пункты предыдущего раздела. После окончания работы составить отчет.

### Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать следующие пункты.

1. Схему основных подготовительных этапов.
2. Принципиальную электрическую и коммутационную схемы (см. рис. 2.1 и 2.2).
3. Выбор размера элементов схемы с указанием конфигураций резисторов, конденсаторов и контактных переходов.
4. Таблицу со значениями размеров элементов в шагах координатной сетки (см. табл. 2.3).
5. Матрицу смежности схемы (см. рис. 2.4).
6. Распечатку расчета программы LAB.
7. Эскиз разработанного варианта размещения микросхемы по данным расчета (см. рис. 2.6).

### Литература

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. - М.: Сов. радио, 1977.
2. Петренко А.И., Тетельбаум А.Л. Формальное конструирование электронно-вычислительной аппаратуры. - М.: Сов. радио, 1979.



Занятие № 3. РАСЧЕТ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Цель практического занятия – получение студентами навыков составления алгоритмов и программ расчета амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) интегральных СВЧ устройств.

Краткие методические указания

Большинство схем радиоэлектронных устройств СВЧ можно представить в виде совокупности четырехполюсников, описываемых матрицами второго порядка. В общем виде для описания четырехполюсника используются понятия токов и напряжений на его зажимах (рис. 3.1) либо падающих и отраженных волн на его входе и выходе (рис. 3.2). Можно составить системы уравнений, коэффициенты которых характеризуют свойства четырехполюсника. В матричной записи эти уравнения имеют следующий вид [1]:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\alpha}_{11} & \dot{\alpha}_{12} \\ \dot{\alpha}_{21} & \dot{\alpha}_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = [\dot{\alpha}] \times \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{z}_{11} & \dot{z}_{12} \\ \dot{z}_{21} & \dot{z}_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = [\dot{z}] \times \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{y}_{11} & \dot{y}_{12} \\ \dot{y}_{21} & \dot{y}_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} = [\dot{y}] \times \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{1n} \\ \dot{U}_{1o} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{t}_{11} & \dot{t}_{12} \\ \dot{t}_{21} & \dot{t}_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{2n} \\ \dot{U}_{2o} \end{bmatrix} = [\dot{t}] \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{2n} \\ \dot{U}_{2o} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{1o} \\ \dot{U}_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{s}_{11} & \dot{s}_{12} \\ \dot{s}_{21} & \dot{s}_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{1n} \\ \dot{U}_{2o} \end{bmatrix} = [\dot{s}] \times \begin{bmatrix} \dot{U}_{1n} \\ \dot{U}_{2o} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

- где [α] – классическая матрица передачи,  
[z] – матрица сопротивлений,  
[y] – матрица проводимостей,  
[t] – волновая матрица передачи,  
[s] – матрица рассеяния.

Матрицы [t] и [s] описывают четырехполюсник, включенный

между передающими микрополосковыми линиями (МПЛ) с волновыми сопротивлениями  $\rho_1$  и  $\rho_2$  (см. рис. 3.2).

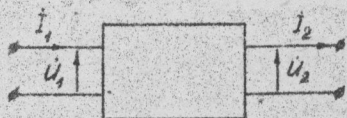


Рис. 3.1

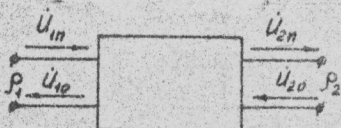


Рис. 3.2

Наибольшее распространение в технике СВЧ получили три вида соединения четырехполосников - каскадное, параллельное и последовательное.

При каскадном соединении четырехполосников (рис. 3.3) перемножаются их передаточные матрицы  $[\hat{\alpha}]$  или  $[\hat{t}]$ :

$$[\hat{\alpha}] = \prod_{i=1}^K [\hat{\alpha}]_i, \quad (3.6)$$

$$[\hat{t}] = \prod_{i=1}^K [\hat{t}]_i, \quad (3.7)$$

причем матрицы-сомножители должны располагаться в том же порядке, в каком соответствующие четырехполосники включены в цепь по направлению передачи энергии.

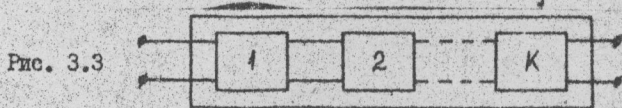


Рис. 3.3

При параллельном соединении четырехполосников (рис. 3.4) складываются их матрицы проводимости  $[\hat{y}]$ :

$$[\hat{y}] = \sum_{i=1}^K [\hat{y}]_i. \quad (3.8)$$

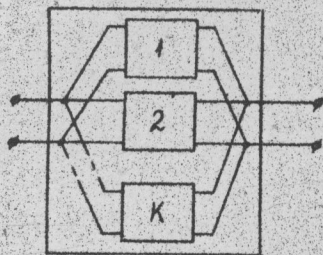


Рис. 3.4

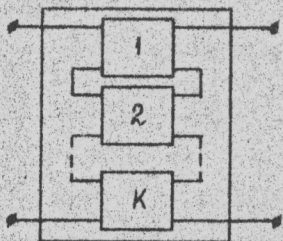


Рис. 3.5

При последовательном соединении четырехполосников (рис. 3.5) складываются их матрицы сопротивлений  $[\tilde{z}]$ :

$$[\tilde{z}] = \sum_{i=1}^n [\tilde{z}_i] \quad (3.9)$$

Если четырехполосник нагружен на выходе на комплексное сопротивление  $\tilde{z}_n$ , то его входное сопротивление  $\tilde{z}_{вх}$  определяется по следующей формуле:

$$\tilde{z}_{вх} = \frac{\tilde{\alpha}_{11} \tilde{z}_n + \tilde{\alpha}_{12}}{\tilde{\alpha}_{21} \tilde{z}_n + \tilde{\alpha}_{22}} \quad (3.10)$$

Все пять типов матриц, приведенных выше, могут выражаться через коэффициенты любой из них по соответствующим формулам перехода. Так как наиболее ясное представление в СВЧ диапазоне дает волновая матрица рассеяния  $[\tilde{S}]$  то ниже приведены соотношения, связывающие ее с матрицами сопротивлений, проводимости и передачи:

$$[\tilde{z}] = \frac{1}{(1-\tilde{S}_{11})(\tilde{S}_{22}-1) + \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}} \begin{bmatrix} [(1+\tilde{S}_{11})(\tilde{S}_{22}-1) - \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}]/\rho_1 & 2\tilde{S}_{12}\rho_2 \\ -2\tilde{S}_{21}\rho_1 & [(1-\tilde{S}_{22})(1-\tilde{S}_{11}) + \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}]/\rho_2 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$[\tilde{y}] = \frac{1}{(1+\tilde{S}_{11})(1+\tilde{S}_{22}) - \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}} \begin{bmatrix} [(1-\tilde{S}_{11})(1+\tilde{S}_{22}) + \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}]/\rho_1 & -2\tilde{S}_{12}/\rho_2 \\ 2\tilde{S}_{21}/\rho_1 & [(1-\tilde{S}_{11})(\tilde{S}_{22}-1) - \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}]/\rho_2 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$[t] = \begin{bmatrix} \rho_1 / (\rho_2 \tilde{S}_{21}) & -\rho_1 \tilde{S}_{22} / (\rho_2 \tilde{S}_{21}) \\ \rho_1 \tilde{S}_{11} / (\rho_2 \tilde{S}_{21}) & -\rho_1 (\tilde{S}_{11} \tilde{S}_{22} - \tilde{S}_{12} \tilde{S}_{21}) / (\rho_2 \tilde{S}_{21}) \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$[\tilde{\alpha}] = \frac{1}{2\tilde{S}_{21}} \begin{bmatrix} \tilde{S}_{12} \tilde{S}_{21} - (1+\tilde{S}_{11})(\tilde{S}_{22}-1) & [(1+\tilde{S}_{11})(1+\tilde{S}_{22}) - \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}]/\rho_2 \\ [(1-\tilde{S}_{22})(1-\tilde{S}_{11}) - \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}]/\rho_1 & \rho_2 [(1-\tilde{S}_{11})(1+\tilde{S}_{22}) + \tilde{S}_{12}\tilde{S}_{21}] \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$[\tilde{z}] = \frac{1}{\left(\frac{\tilde{z}_{11}+1}{\rho_1}\right)\left(\frac{\tilde{z}_{22}-1}{\rho_2}\right) - \frac{\tilde{z}_{12}\tilde{z}_{21}}{\rho_1\rho_2}} \begin{bmatrix} \left(\frac{\tilde{z}_{11}}{\rho_1}-1\right)\left(\frac{\tilde{z}_{22}-1}{\rho_2}\right) - \frac{\tilde{z}_{12}\tilde{z}_{21}}{\rho_1\rho_2} & \frac{2\tilde{z}_{12}}{\rho_2} \\ -\frac{2\tilde{z}_{21}}{\rho_1} & \left(\frac{\tilde{z}_{22}+1}{\rho_2}\right)\left(\frac{\tilde{z}_{11}+1}{\rho_1}\right) - \frac{\tilde{z}_{12}\tilde{z}_{21}}{\rho_1\rho_2} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$[\tilde{S}] = \frac{1}{\left(\rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{21} R_1 R_2\right) \left(1 - \rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{11} R_1 R_2\right)} \begin{bmatrix} (1 - \rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{21} R_1 R_2) (\rho_1 R_1 - \rho_2 R_2) - \rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{12} R_1 R_2 & -\rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{12} R_1 R_2 \\ \rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{21} R_1 R_2 & (\rho_1 R_1 + \rho_2 R_2) (\rho_1 \rho_2 \tilde{S}_{21} R_1 R_2) \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$[\hat{S}] = \begin{bmatrix} \frac{t_{21}}{t_{11}} & \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \frac{t_{11}t_{22} - t_{21}t_{12}}{t_{11}} \\ \frac{1}{t_{11}} & -\frac{t_{12}}{t_{11}} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Таким образом, расчет СВЧ схем сводится к разбиению схемы на участки каскадного, параллельного или последовательного соединения четырехполосников, к преобразованию соответствующих им матриц и получению некоторого эквивалентного четырехполосника.

Матрица рассеяния, эквивалентная всему устройству в целом, должна быть нормированна по отношению к сопротивлениям нагрузки  $Z_n$  и генератора  $Z_r$ . Связь между нормированной  $[\hat{S}]$  и ненормированной  $[S]$  матрицами рассеяния выражается в виде

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & \sqrt{\frac{Z_n}{Z_r}} S_{12} \\ \sqrt{\frac{Z_r}{Z_n}} S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

После этого можно определить рабочие параметры СВЧ устройства - рабочее затухание  $L$  и фазу коэффициента передачи  $\varphi$ :

$$L = -20 \lg |S_{21}|, \quad (3.19)$$

$$\varphi = -\arctg \frac{\operatorname{Im} S_{21}}{\operatorname{Re} S_{21}}. \quad (3.20)$$

Более подробные сведения изложены в [1].

Основным элементом интегральной схемы СВЧ является микрополосковая линия, которой называют несимметричную полосковую линию (рис. 3.6) на подложке, имеющей малую высоту ( $h < 1$  мм) и большую диэлектрическую проницаемость ( $\epsilon > 10$ ).

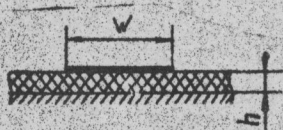


Рис. 3.6

Длина волны  $\Lambda$  в МПЛ определяется следующим образом [2]:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{эфф}}}, \quad (3.21)$$

где  $\lambda$  - длина волны в свободном пространстве ( $\lambda = \frac{c}{f}$ );  $c$  - скорость света ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с);  $f$  - частота;  $\epsilon_{эфф}$  - эффективная диэлектрическая проницаемость, которая определяется как квадрат отношения скорости света в свободном пространстве к фа-

вой скорости волны в линии. Расчетное соотношение для  $\epsilon_{эфф}$  имеет вид [2]

$$\epsilon_{эфф} = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.22)$$

Волновое сопротивление МПЛ рассчитывается по формулам:

- для узких полосок  $W/h < 1$

$$\rho = \frac{376,687}{\sqrt{2} \sqrt{\epsilon + 1}} \left\{ \ln \frac{8h}{W} + \frac{1}{32} \left(\frac{W}{h}\right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1}\right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon} \ln \frac{4}{3} \right) \right\}, \quad (3.23)$$

- для широких полосок  $W/h \geq 1$

$$\rho = \frac{376,687}{2\sqrt{\epsilon}} \left[ \frac{W}{2h} + 0,441 + 0,082 \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon^2}\right) + \left(\frac{\epsilon + 1}{2\pi\epsilon}\right) \left(1,451 + \ln\left(\frac{W}{2h} + 0,97\right)\right) \right] \quad (3.24)$$

Перед составлением алгоритма расчета АЧХ интегральную схему необходимо разбить на участки, которые могут быть представлены элементарными четырехполосниками, приведенными ниже.

№ по пор.	Схема	Название элемента	Матрица рассеяния [S]
1	2	3	4
1		отрезок МПЛ без потерь длиной l	$\begin{bmatrix} 0 & e^{-i \frac{2\pi l}{\lambda}} \\ e^{-i \frac{2\pi l}{\lambda}} & 0 \end{bmatrix}$
2		скачок волнового сопротивления МПЛ	$\begin{bmatrix} \frac{\rho_2/\rho_1 - 1}{2} & \frac{2}{\rho_2/\rho_1 + 1} \\ \frac{2}{\rho_2/\rho_1 + 1} & \frac{\rho_2/\rho_1 - 1}{2} \end{bmatrix}$
3		последовательно включенное сопротивление	$\begin{bmatrix} \frac{z/\rho_1 + \rho_2/\rho_1 - 1}{2} & \frac{2}{z/\rho_1 + \rho_2/\rho_1 + 1} \\ \frac{2}{z/\rho_1 + \rho_2/\rho_1 + 1} & \frac{z/\rho_1 + \rho_2/\rho_1 - 1}{2} \end{bmatrix}$
4		параллельно включенное сопротивление	$\begin{bmatrix} \frac{\rho_2/\rho_1(1 - \rho_1/Z) - 1}{2} & \frac{2}{\rho_2/\rho_1(1 + \rho_1/Z) + 1} \\ \frac{2}{\rho_2/\rho_1(1 + \rho_1/Z) + 1} & \frac{\rho_2/\rho_1(1 - \rho_1/Z) + 1}{2} \end{bmatrix}$

I	2	3	4
5		ОДИНОЧНЫЙ ДВУХ-ПОЛОСНИК (у левых клемм)	$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1/z & 0 \\ 1 + \rho_1/z & 1 \end{bmatrix}$
6		ОДИНОЧНЫЙ ДВУХ-ПОЛОСНИК (у правых клемм)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 - \rho_2/z \\ & 1 + \rho_2/z \end{bmatrix}$

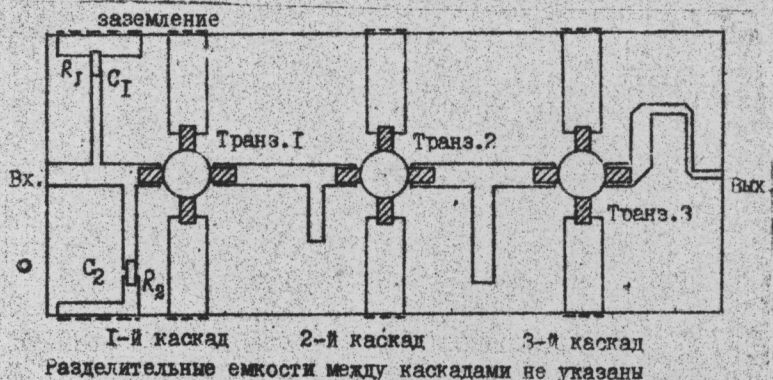


Рис. 3.7

В качестве примера рассмотрим расчет АЧХ трехкаскадного СВЧ транзисторного усилителя при линейном режиме, топология которого изображена на рис. 3.7. Разбивая схему усилителя на элементарные четырехполюсники, получаем структурную схему, представленную на рис. 3.8. Четырехполюсники 2, 4, 8, 12 представляют собой входное сопротивление МПЛ, нагруженной на некоторое сопротивление  $Z_n$ , и может быть вычислено по формуле (3.10). После определения этих сопротивлений оказывается, что весь усилитель состоит из каскадного соединения 19 четырехполюсников (см. рис. 3.8). На рис. 3.9 представлен алгоритм расчета АЧХ. Массив исходных данных программы включает значения нижней и верхней частоты рабочего диапазона  $f_n$  и  $f_B$ ; шаг дискретизации  $\Delta f$ ; значения  $\delta$  - параметров (модуль и фазу) применяемых транзисторов на частотах ( $f_1, f_2, \dots, f_n$ ), на которых вычисляется функция передачи;

роствлений  $R_1$  и  $R_2$ , а также емкостей  $C_1$ ,  $C_2$ ; значения диэлектрической проницаемости подложки  $\epsilon$  и ее толщины  $h$ ; длину и ширину всех отрезков полосковых линий; значения сопротивлений нагрузки  $Z_n$  и генератора  $Z_r$ .

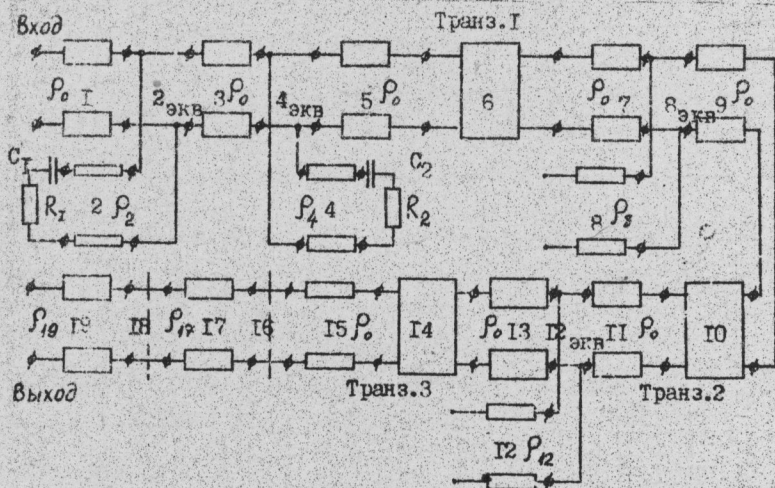


Рис. 3.8

Помимо основной программы есть три подпрограммы-функции. С помощью первой подпрограммы-функции рассчитывается эффективное значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon_{эфф}$  по формуле (3.22) и электрическую длину отрезков МПЛ  $\Theta = 2\pi l/\lambda$ . С помощью второй подпрограммы-функции определяют волновое сопротивление отрезков МПЛ по формулам (3.23), (3.24). Третья подпрограмма-функция служит для расчета входного сопротивления по формуле (3.10).

#### Содержание и порядок выполнения задания

Задание содержит чертеж топологии интегральной схемы СВЧ и крайние значения рабочей полосы частот  $f_n$  и  $f_g$ . Задание выдается преподавателем.

Следует внимательно проанализировать выданное ему задание и представить исследуемую интегральную схему СВЧ в виде эквивалентной схемы, содержащей элементарные четырехполюсники. Затем определяют матрицы рассеяния полученных многополюсников и, принимая их в качестве исходных параметров, составляют алгоритм расчета

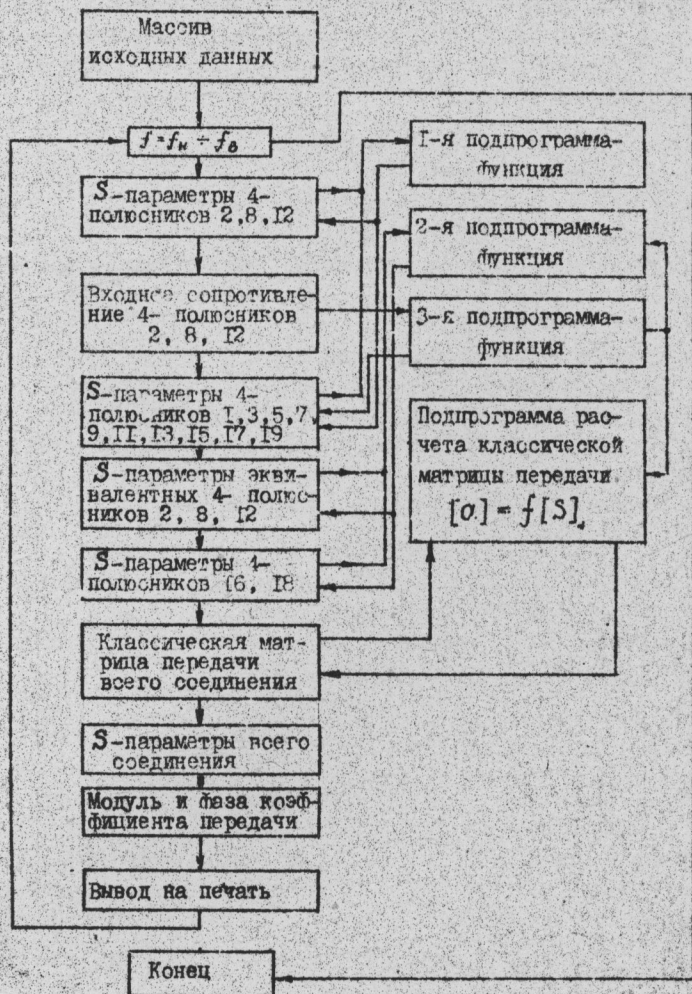


Рис. 3.9



Бесплатно