

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

КУЙБЫШЕВ 1988

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Кубышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королёва

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

(Вероятностный метод)

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе 4I
для студентов

Кубышев 1988

УДК 621.382

В методических указаниях рассмотрены конструкции тонкопленочных резисторов, приведены блок-схема и программа их расчета на ЭВМ, методика работы с программой. Студентам предлагается рассчитать и сконструировать шесть типов тонкопленочных резисторов, определить зависимость их конструктивных форм от технологических параметров, найти оптимальные размеры.

Рекомендуются для студентов специальности 0705.

Составитель А.И.Меркулов

Рецензенты: А.В.Земский, М.А.Куляков

Ц е л ь р а б о т ы: изучение конструкции тонкопленочных резисторов (ТПР) и методов их расчета с применением ЭВМ.

ЗАДАНИЯ:

1. Изучить методику расчета ТПР вероятностным методом /1,2/ (домашняя подготовка).
2. Изучить блок-схему расчета комплекса ТПР с применением ЭВМ.
3. Изучить методику работы с программой расчета ТПР.
4. Рассчитать конструктивные параметры комплекса ТПР.
5. Исследовать зависимость конструктивных форм и размеров ТПР от технологических параметров процесса их изготовления.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Резисторы являются наиболее распространенными элементами тонкопленочных интегральных микросхем. Резистивные элементы получают нанесением на диэлектрическую подложку тонких резистивных пленок различной конфигурации и проводящих пленок, имеющих с концами резистивных пленок некоторую зону перекрытия, обеспечивающую контакт.

Конструкции тонкопленочных резисторов должны учитывать особенности топологической структуры микросхемы, электрические, технологические, эксплуатационные требования и ограничения, характеристики используемых материалов и т.д.

С точки зрения простоты расчета, изготовления и удовлетворения указанным требованиям наибольшее распространение получили следующие конструктивные формы тонкопленочных резисторов (см. рис.1).

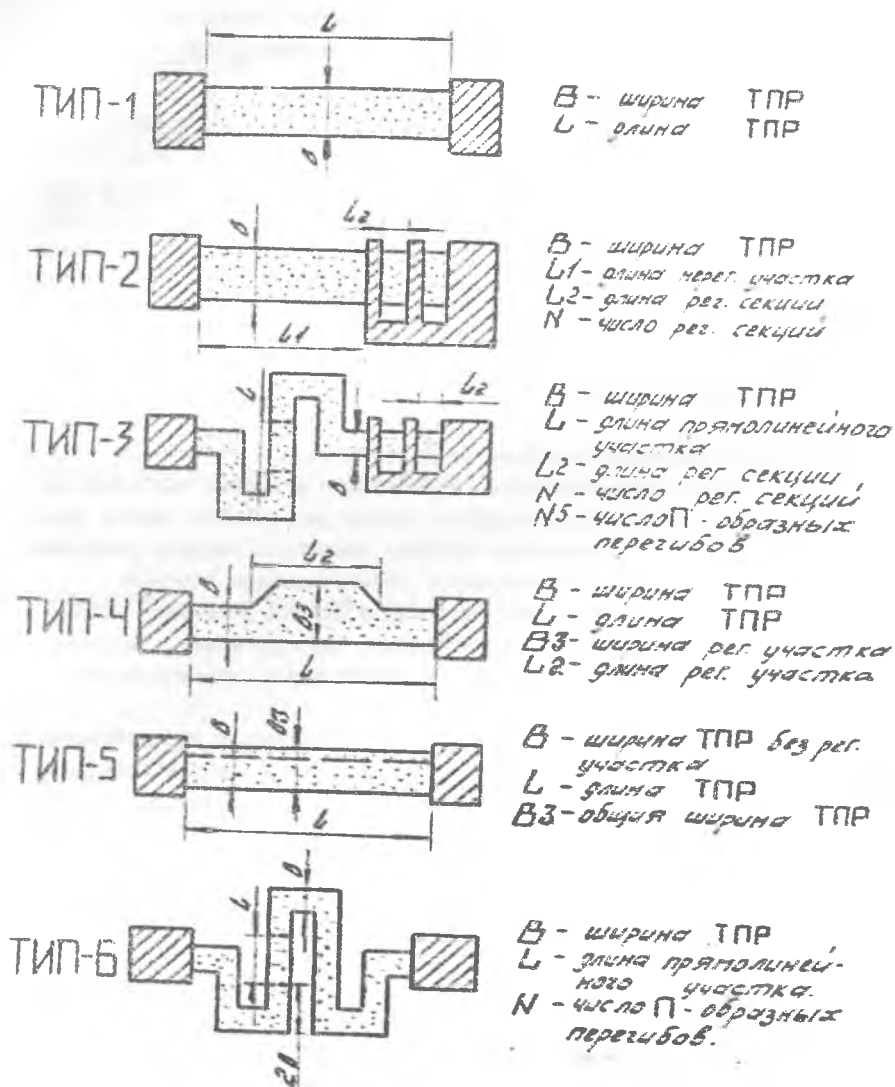
Исходными данными для расчета ТПР являются:

а) электрические:

- R - сопротивление ТПР;
- P - мощность, рассеиваемая на ТПР;
- $\delta R_{\text{доп}}$ - допуск на сопротивление ТПР;

б) технологические:

- $P_{\text{вер}}$ - вероятность изготовления годного ТПР;
- σ_B - среднееквадратическое отклонение ширины ТПР;
- σ_L - среднееквадратическое отклонение длины ТПР;
- $R_{\text{п}}$ - удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки;
- $\bar{\sigma}_{R_{\text{п}}}$ - относительное среднееквадратическое отклонение величины $R_{\text{п}}$ в процессе изготовления;



Р и с. I. Конструкции тахоколечных резисторов

в) эксплуатационные:

- P_c - допустимая удельная мощность рассеяния резистивной пленки;
 $\bar{\delta}_{R_n}$ - относительная погрешность сопротивления ТПР, обусловленная образованием переходных сопротивлений контактов;
 t - температура окружающей ТПР среды;
 T - время эксплуатации ТПР;
 λ_{R_t} - температурный коэффициент сопротивления ТПР;
 $\xi_{R_{ct}}$ - относительное изменение сопротивления ТПР в процессе старения.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ БЛОК-СХЕМЫ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ТПР И САМОЙ ПРОГРАММЫ

Блок-схема программы расчета ТПР приведена на рис.2. Программа позволяет рассчитывать за один цикл ее работы до 40 ТПР. В зависимости от номинала резистора, допуска на сопротивление, размеров ТПР ЭВМ выбирает один из шести возможных типов ТПР (рис.1).

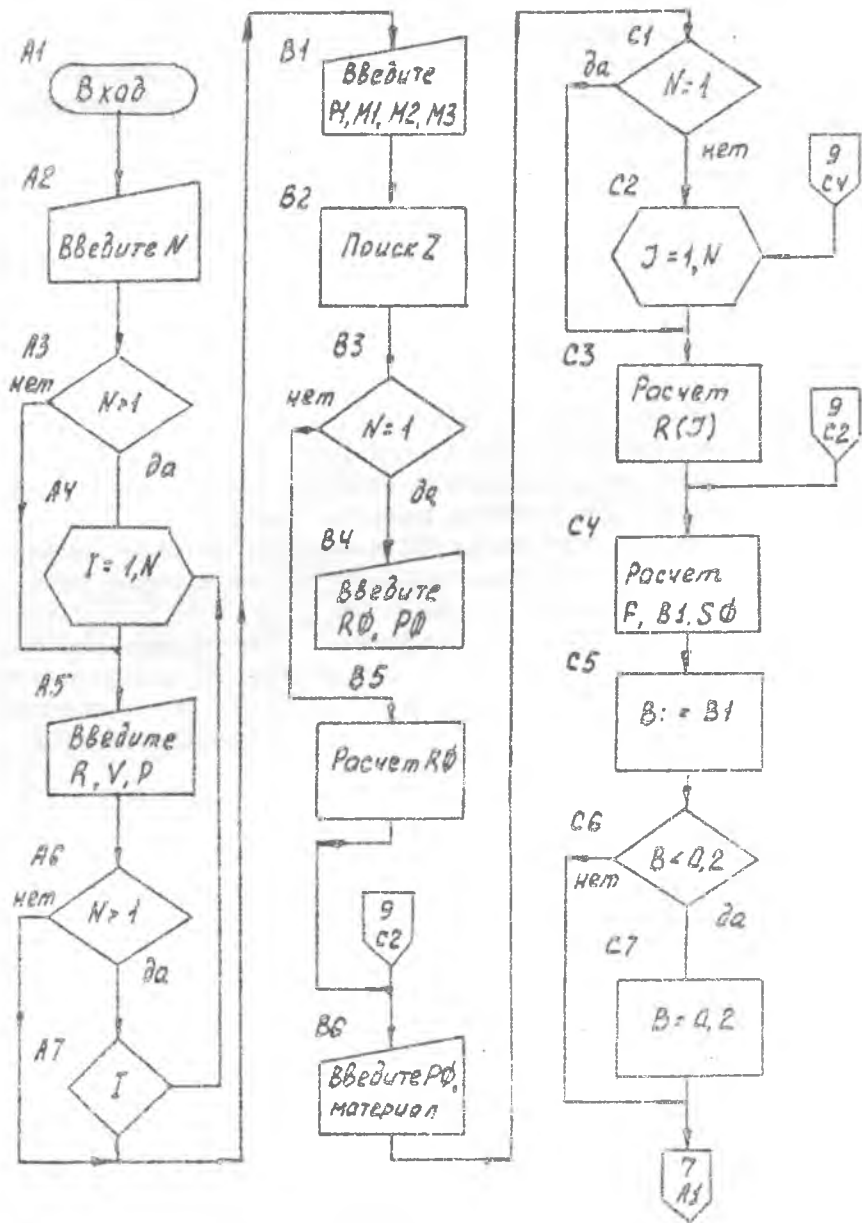
В программе проектирования ТПР реализованы следующие условия:

1. Минимальная допустимая ширина ТПР δ'' из технологических соображений принята равной 0,2 мм.
2. Максимальная допустимая ширина δ'' (из условия обеспечения рассеиваемой мощности) принята равной 3 мм; при $\delta'' > 3$ мм печатается номер резистора и сообщение "СМЕНИТЕ МАТЕРИАЛ". Это же сообщение печатается в тех случаях, когда наибольший габаритный размер ТПР превышает 10 мм.
3. Если допуск на ТПР $\bar{\delta}_{R_{доп}} \leq 5\%$, резистор выполняется с плавной подгонкой. Если $5\% \leq \bar{\delta}_{R_{доп}} < 10\%$, резистор выполняется со ступенчатой подгонкой.
4. Если $K_{\phi} > 10$, резистор выполняется в виде меандра.
5. Максимальная допустимая ширина ТПР δ''' (из условия обеспечения точности) принята равной 3 мм, при $\delta''' > 3$ мм ТПР выполняется со ступенчатой подгонкой, а его ширина определяется рассеиваемой мощностью.

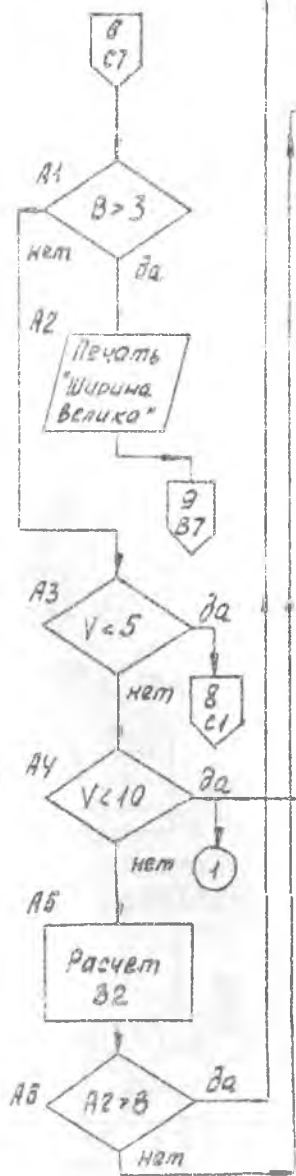
6. Если у ТПР с плавной подгонкой $K_{\phi} < 10$, он выполняется в виде конструкции типа 5.

7. Если длина ТПР с плавной подгонкой равна или больше 10 мм, печатается сообщение "СМЕНИТЕ МАТЕРИАЛ".

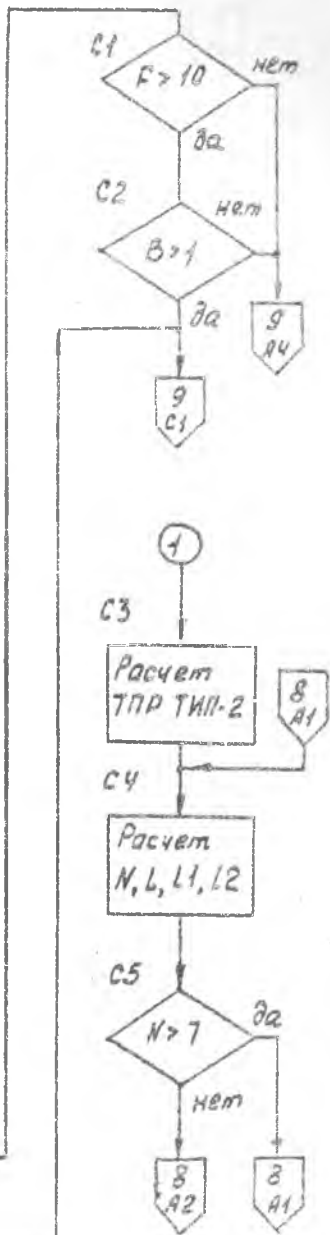
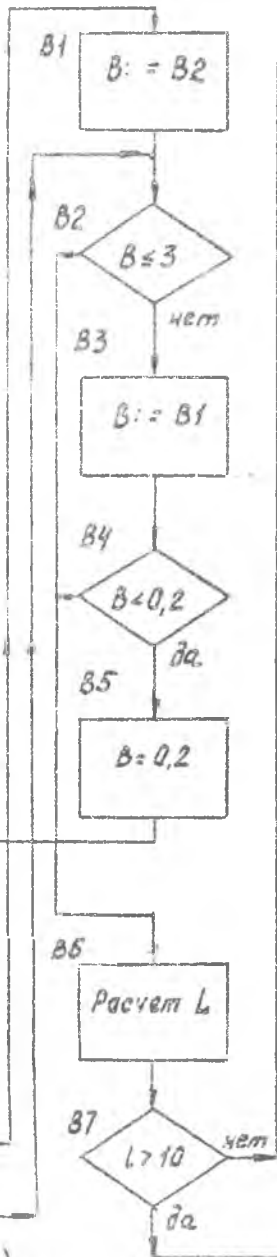
Программа расчета ТПР написана на алгоритмическом языке БЭЙ-СИК и записана на магнитную ленту. При написании программы исполь-

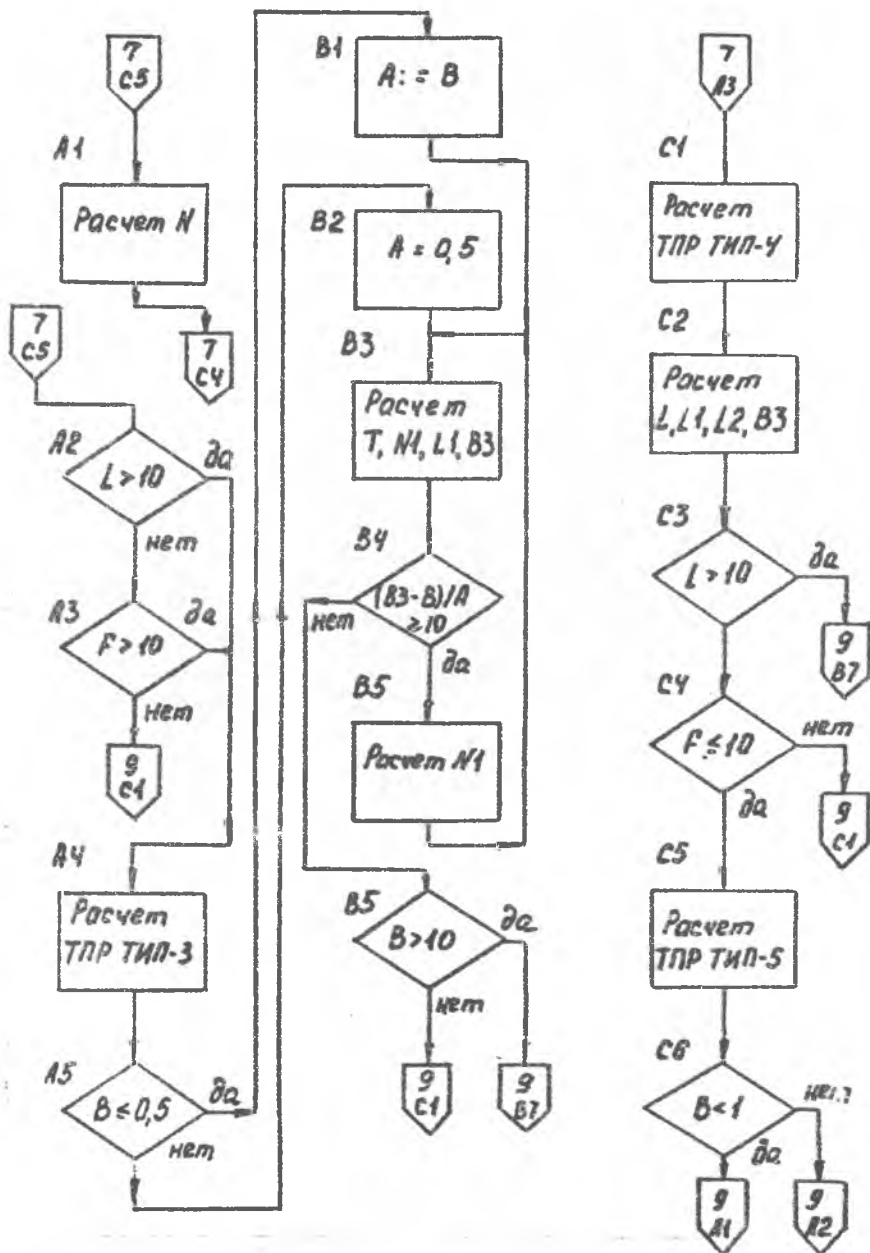


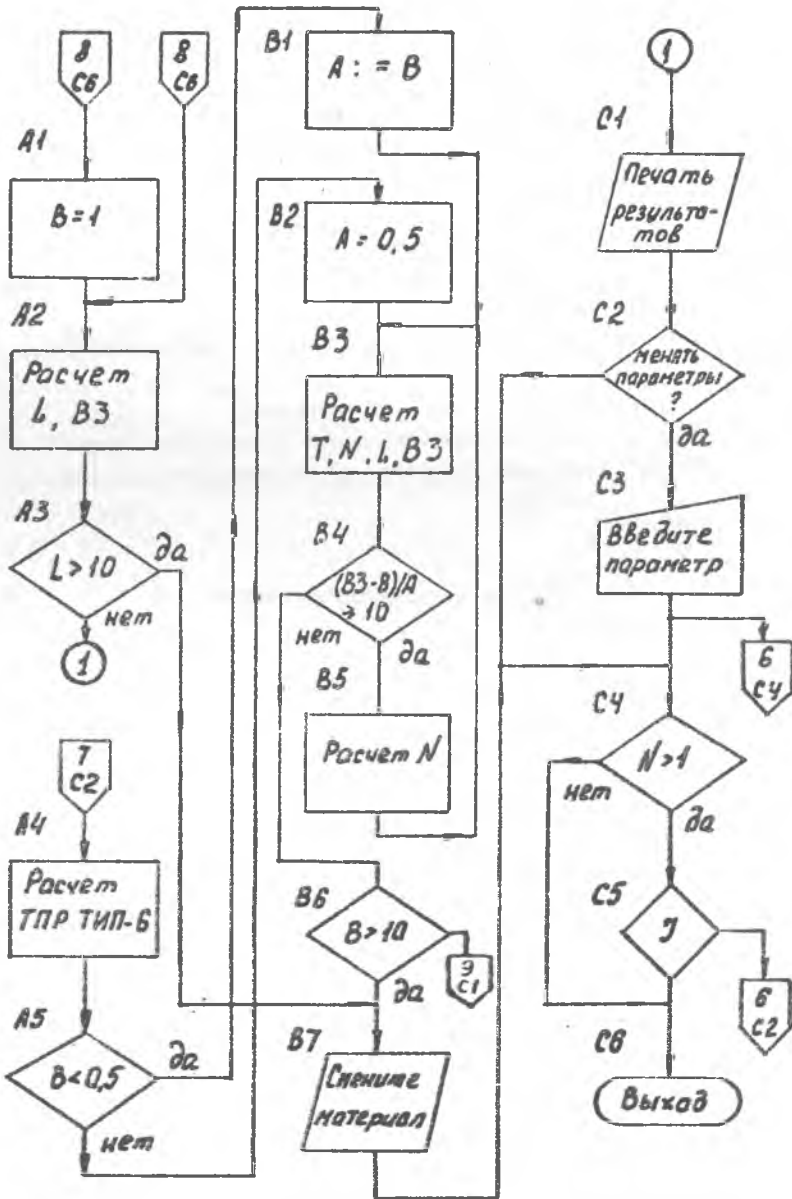
Р и с . 2. Блок-схема программы



расчета ТПР (начало)







зованы следующие идентификаторы (расшифровка дана в соответствии с обозначениями, приведенными в /2/):

Для всех типов ТПР

- $N_i - N_i$, количество рассчитываемых ТПР;
- $R(i) - R_i$, Ом - номинал i -го ТПР;
- $V(i) - \delta R_i$, % - допуск на сопротивление i -го ТПР;
- $P(i) - P_i$, Вт - мощность, рассеиваемая ТПР;
- $P_i - P_{\text{вер}}$, вероятность изготовления годного ТПР;
- $M_1 - C_{\delta}$, мм - абсолютное среднеквадратическое отклонение ширины ТПР;
- $M_2 - C_L$, мм - абсолютное среднеквадратическое отклонение длины ТПР;
- $Z - Z$ - аргумент интеграла вероятностей;
- $R_0 - R_0$, Ом/п - сопротивление квадрата резистивной пленки;
- $P_0 - P_0$, Вт/см² - удельная мощность рассеивания резистивной пленки;
- $S_0 - \bar{C}_{R_i} = \frac{\bar{\delta} R_i \cdot P_0}{\sqrt{2} \cdot Z}$;
- $M_0(i) - \bar{C}_{K_{\Phi i}}^2 = \bar{C}_{R_i}^2 - \bar{C}_{R_0}^2$;
- $RS(i) - \sum_{l=1}^{N_i} 1/R_l \cdot \bar{C}_{K_{\Phi i}}^2$;
- $R_3 - R_{0 \text{ опт}}$, Ом/п - оптимальное значение R_0 ;
- $R_1 - R_{0 \text{ мин}}$, Ом/п ;
- $R_2 - R_{0 \text{ макс}}$, Ом/п ;
- $F - K_{\Phi}$, коэффициент формы;
- $B_1 - b^I$, мм - ширина ТПР (из мощности);
- $B_2 - b^{II}$, мм - ширина ТПР (из точности);
- $S_1 - \bar{C}_{K_{\Phi}} = \sqrt{\bar{C}_{R_i}^2 - \bar{C}_{R_0}^2}$;
- $L - l$, мм - длина резистора.

Для ТПР типа 2

- $S_0 - \bar{C}_{R_i}$;
- $N_1 - n$ - число секций подгонки;
- $L_1 - l_{\text{нр}}$, мм - длина нерегулируемой части ТПР;
- $L - l_{\Sigma}$, мм - общая длина ТПР;
- $L_2 - l_0$ - длина секции подгонки;

Для ТПР типа 3,6

- $A - a$, мм - зазор между резистивными полосками;
 $T - t$, мм - шаг меандра;
 $N1 - n$ - число звеньев меандра;
 $L - L_{\text{прям}}$, мм - длина прямолинейного участка;
 $B3 - b$, мм - габаритный размер меандра;
 $L2 - l_c$, мм - длина секции подгонки;
 $N - N$ - число секций подгонки.

Для ТПР типа 4

- $L - l$, мм - длина ТПР;
 $H - R_{\text{макс.возм.}} / R_{\text{макс.дол.}}$
 $N1 - R_{\text{нр}} / R^*_{\text{макс.}}$
 $L2 - l_p$ - длина регулируемого участка ТПР;
 $H2 - l_p / b$;
 $H3 - b^* / b$;
 $B3 - b^*$, мм - ширина регулируемого участка ТПР;

Для ТПР типа 5

- $L - l$, мм - длина резистора;
 $B3 - B^*$, мм - общая ширина резистора.

3. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ РАСЧЕТА ТПР

Перед началом работы с программой необходимо загрузить интерпретатор БЕЙСИКА (см. прил. I). Затем нужно вставить в накопитель магнитной ленты кассету с программой и набрать на клавиатуре дисплея оператор $LOAD 'ТПР'$. После нажатия клавиши "ПС" ЭВМ приступит к считыванию программы с магнитной ленты. Загрузив программу в ОЗУ, машина остановится. Далее на клавиатуре дисплея необходимо набрать оператор запуска RUN и нажать клавишу "ПС". ЭВМ приступит к выполнению программы и остановится, ожидая ввод исходной информации. Исходные данные вводятся после появления на экране дисплея соответствующих сервисных надписей:

КОЛИЧЕСТВО РЕЗИСТОРОВ В СХЕМЕ? - вводится $N1$.

На запрос с дисплея данных ввода нужно вводить числовые значения этих данных в указанных единицах, нажимая затем "ПС". Номинал, допуск, мощность вводятся для каждого ТПР в отдельности, остальные

данный - сразу для всех ТПР. Погрешность ширины и длины ТПР вводится в виде абсолютных значений среднеквадратического отклонения, т.е.

C_6 и C_7 .

После ввода всех параметров на экран будет выведено рекомендуемое оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки, его необходимо округлить и ввести в ЭВМ, либо ввести другое (свое) значение.

Когда на экране будет предложено набрать номер выбранного материала резистивной пленки, необходимо по параметрам, распечатанным на экране, выбрать подходящий материал, набрать его номер и нажать "ПС". При этом значение ρ_0 этого материала запишется в память ЭВМ и в дальнейшем будет использовано в расчетах. Значения R_{\square} (на экране) приводятся для удобства выбора материала резистора.

Далее начнется расчет первого ТПР и через несколько секунд расчетные данные будут выведены на экран с сообщением о типе ТПР. К расчету очередного ТПР ЭВМ приступит после нажатия клавиши "ПС".

В программе ТПР предусмотрена возможность смены материала и изменения некоторых параметров.

Если в процессе работы с программой будет получено сообщение "СМЕНИТЕ МАТЕРИАЛ", необходимо нажать "ПС", записать номер и тип резистора, его расчетные параметры и приступить к расчету очередного резистора. Решение о смене материала ТПР для одного или нескольких резисторов принимается после расчета всех ТПР. При этом необходим повторный расчет.

При необходимости замены какого-либо параметра необходимо после запроса "ЖЕЛАЕТЕ ЛИ ИЗМЕНИТЬ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЕЗИСТОРА?" набрать "1" и нажать "ПС". На экране будут предложены параметры, подлежащие изменению. Набрав номер выбранного параметра нужно нажать "ПС", затем ввести значение параметра в соответствующих единицах и - снова "ПС". Расчет данного резистора будет повторен, но уже с новым значением измененного параметра. Следует помнить, что изменение номинала, допуска и мощности ТПР не повлечет за собой изменение этих параметров у других резисторов; что касается ρ_0 , C_6 , C_7 , C_8 , \tilde{C}_{R0} - то они изменяются для данного и всех последующих ТПР. Если менять параметры для последующих резисторов не нужно, их необходимо восстановить после расчета данного резистора.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве оборудования при выполнении работы используется серийная мчнЭВМ "Электроника ДЗ-28".

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить правила техники безопасности при работе с ЭВМ.
2. Изучить правила пользования ЭВМ.
3. Получить у преподавателя задание на выполнение работы.
4. Изучить блок-схему программы расчета ТПР и методичку работы с программой.
5. Ввести в память ЭВМ программу расчета ТПР.
6. Рассчитать конструктивные параметры ТПР для различных значений R_{II} , \bar{C}_{R0} , \bar{C}_L , \bar{C}_C , $P_{всп}$ и др. (по заданию преподавателя).
7. Рассчитать размеры одного ТПР для нескольких значений $P_{всп}$ и построить график зависимости $S = f(P_{всп})$.
8. Поработать с программой в режиме изменения данных. Построить зависимости конструктивных параметров ТПР от величин \bar{C}_L , \bar{C}_C , \bar{C}_{R0} , R_{II} .
9. Вычертить эскизы всех ТПР, определить их габаритные размеры, суммарную площадь.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткая характеристика типов рассчитываемых ТПР.
3. Блок-схема программы расчета ТПР.
4. Расчетные данные (таблицы и графики).
5. Эскизы спроектированных ТПР.
6. Анализ полученных данных. Выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить использование различных типов ТПР.
2. Объяснить методику расчета различных ТПР.
3. Назвать преимущества и недостатки различных типов ТПР.
4. Объяснить работу программы расчета ТПР по блок-схеме.

5. Перечислить и объяснить условия и ограничения, реализованные в программе расчета ТПР.
6. Рассказать правила работы с ЭВМ по программе ТПР.
7. Объяснить, как влияют на конструктивные параметры ТПР величины R_a , R , ρ , \bar{C}_{20} , \bar{C}_k , \bar{C}_l и другие.
8. Назвать основные правила техники безопасности при работе на ЭВМ.

Библиографический список

1. Ермолаев В.П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю.Г., Конструкции и технология микросхем.-М.:Сов.радио, 1980.
2. Конструирование и расчет пассивных пленочных элементов ГИС и микросборок. КуАИ, МИТРЭА. Сост. Дмитриев В.Д., Меркулов А.И., Калугина Т.С.
3. Методические указания по применению алгоритмического языка БЭЙСИК для миниЭВМ "Электроника ДЗ-28" в учебном процессе. Куйбышев, 1985.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПЕРАЦИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ ЗАГРУЗКЕ
ИНТЕРПРЕТАТОРА БЭЙСИКА

1. Включить в сеть следующие устройства в указанном порядке:
а) ТПУ, б) дисплей, в) ЭВМ.
2. Вставить в НМЛ кассету с комплексной системой и перемотать ленту в начало кассеты путем поочередного нажатия клавиш "С", "80", "40" и "00" на клавиатуре ЭВМ.
3. На клавиатуре ЭВМ нажать клавишу "СЛ".
4. Если после загрузки интерпретатора БЭЙСИКА в ОЗУ начинают мерцать индикаторы ЭВМ, следует нажать клавишу "С", затем - "СЛ" (машина приступит к повторной загрузке интерпретатора БЭЙСИКА в ОЗУ). В противном случае необходимо нажать клавишу "КП" на клавиатуре ЭВМ. На индикаторах ЭВМ должно появиться число 223548.
5. Поочередно нажать клавиши "С" и "S" на клавиатуре ЭВМ. После нажатия этих клавиш на экране дисплея появляется надпись:
**БЭЙСИК (ВАРИАНТ 3А)
СНИМИТЕ КАСЕТУ**
6. После появления этой надписи на клавиатуре дисплея следует дважды нажать клавишу "ПС". На экране дисплея появится сообщение:
**НОМЕРА ВНЕШНИХ ПОДПРОГРАММ?
ГОТОВ:**
7. Данная надпись означает готовность машины к работе.

Составитель Анатолий Игнатьевич Меркулов

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ
(Вероятностный метод)

Редактор О.Ю.Ненашева
Техн. редактор Н.М.Каленюк
Корректор О.Ю.Ненашева

Подписано в печать 29.08.88 г. Формат 60x84 I/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Т. 200.
Заказ 503 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королёва, г.Куйбышев, ул.Моло-
догвардейская, 151.

Уч.-к оперативной полиграфии КуАИ, г. Куйбышев,
ул. Ульяновская, 18.