

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ,
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

*Методические указания
к лабораторной работе*

САМАРА 2003

Составитель *А.И. Меркулов*

УДК.621.382

Исследование влияния электрических, эксплуатационных и технологических характеристик на конструктивные параметры тонкопленочных конденсаторов: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Сост. *А.И. Меркулов*. Самара, 2003. 12 с.

Рассмотрены конструкции тонкопленочных конденсаторов, приведены блок-схема и программа их расчета на ЭВМ, методика работы с программой. Студентам предлагается рассчитать и сконструировать четыре типа тонкопленочных конденсаторов, определить зависимость конструктивных форм от электрических, эксплуатационных и технологических характеристик, найти оптимальные размеры.

Рекомендуются для студентов специальности 20.08.00. Выполнены на кафедре МЯГРЭА

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент В.В. Иванов

Цель работы: изучение конструкций тонкопленочных конденсаторов (ТПК) и методов их расчета, исследование связей между конструктивными, электрическими, эксплуатационными и технологическими характеристиками.

ЗАДАНИЕ

1. Изучить методику расчета ТПК вероятностным методом [1,2] (домашняя подготовка).
2. Изучить блок-схему расчета ТПК с применением ЭВМ.
3. Изучить методику работы с программой расчета ТПК.
4. Рассчитать конструктивные параметры ТПК различной конструкции.
5. Исследовать зависимость конструктивных форм и размеров ТПК от технологических параметров процесса их изготовления, электрических и эксплуатационных характеристик, а также характеристик используемых материалов.

1. Основные положения

Тонкопленочные конденсаторы являются распространенными элементами тонкопленочных интегральных микросхем. ТПК получают нанесением на диэлектрическую подложку тонких проводящих и диэлектрических пленок различной конфигурации и толщины. ТПК с одним слоем диэлектрика называют однослойными, с двумя и более - многослойными. Для получения малых значений емкости (доли - единицы пФ) применяют гребенчатые ТПК. Конструкции ТПК 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 конденсаторов (рис. 1).

Исходными данными для расчета ТПК являются:

а) электрические:

C — емкость ТПК;

U — рабочее напряжение на ТПК;

$\overline{\delta} C_{\text{доп}}$ — допуск на величину емкости ТПК;

б) технологические:

$\Phi(z)$ - вероятность изготовления годного ТПК;

$\bar{\sigma} C_0$ - относительное среднеквадратическое отклонение величины удельной ёмкости ТПК в процессе изготовления;

σ_A - среднеквадратическое отклонение размеров верхней обкладки ТПК в процессе изготовления;

r - коэффициент корреляции между отклонениями размеров верхней обкладки ТПК;

в) эксплуатационные:

t - температура окружающей среды;

T - время эксплуатации ТПК;

α_C - температурный коэффициент ёмкости ТПК;

$\bar{\delta} C_{ст}$ - относительное изменение ёмкости ТПК в процессе старения.

Следует отметить, что два последних параметра зависят от свойств материалов, выбранных для изготовления ТПК.

2. Краткое описание блок-схемы программы расчета ТПК и самой программы

Блок-схема программы расчета приведена на рис.2. Программа позволяет рассчитывать за один цикл ее работы до 40 ТПК. В зависимости от величины ёмкости, допуска и габаритных размеров ТПК ЭВМ выбирает один из четырех возможных типов ТПК (рис .1).

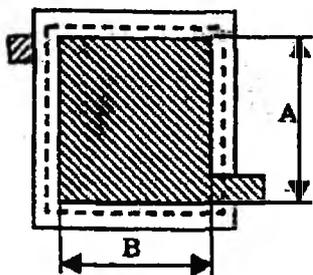
В программе проектирования ТПК реализованы следующие условия:

1. Если при расчете (из условия обеспечения рабочего напряжения или требуемой точности) толщина d диэлектрика получается меньше 0,0005 мм (5000 Å), принимаем $d=0,0005$ мм.
2. Если площадь однослойного ТПК получается меньше 1мм², он проектируется в виде компланарной конструкции (тип 3 или 4).
3. Если при определении суженного (технологического) допуска получится число меньше нуля или нуль, на экран ПЭВМ выводится соответствующая информация и сообщение

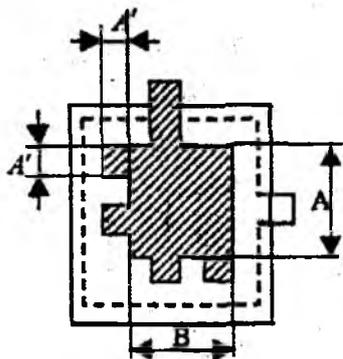
«СМЕНИТЕ МАТЕРИАЛ».

4. Величина удельной ёмкости C_0 выбирается по правилу:

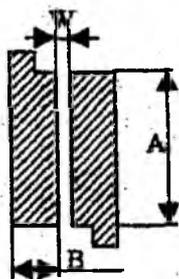
$C_0 = \min\{C_0^i, C_0^{ii}, C_0^{iii}\}$; обозначения здесь и в дальнейшем соответствуют обозначениям, приведенным в [2].



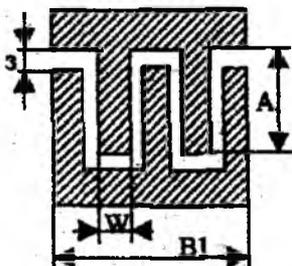
ТИП – 1. А,В - размеры верхней обкладки



ТИП – 2. А,В - размеры основной части верхней обкладки
А' - размеры подстроечной секции.

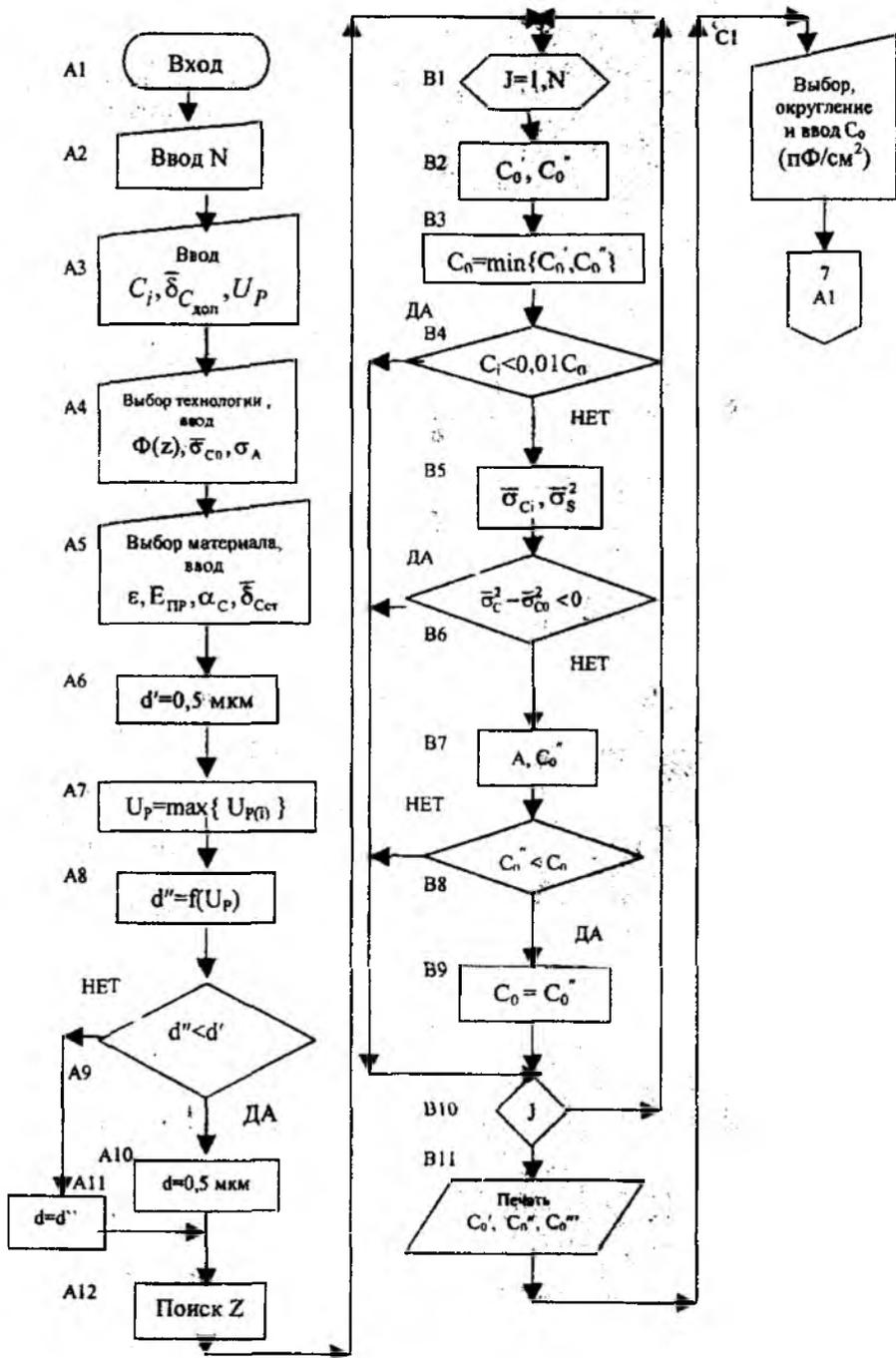


ТИП – 3. А - длина звена гребенчатого ТПК
W - ширина звена
Z - ширина зазора между звеньями,
В1 - габаритный размер ТПК
N - число звеньев.



ТИП – 4. А - длина полоски компланарного ТПК
В - ширина полоски
W - ширина зазора между полосками

Рис. 1. Конструкции рассчитываемых конденсаторов



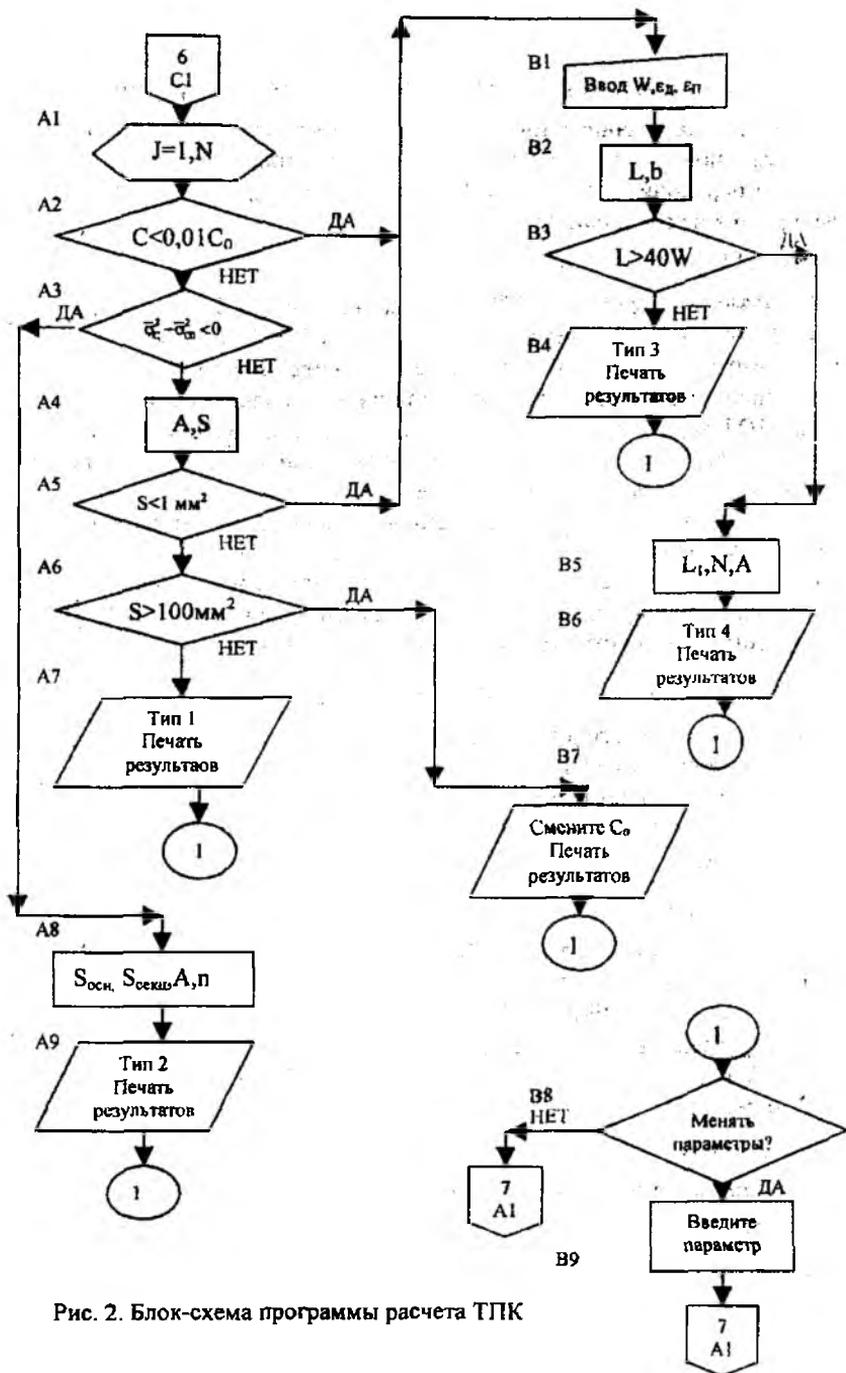


Рис. 2. Блок-схема программы расчета ТПК

5. Если при определении C_0''' значение удельной емкости, при которой будет обеспечена заданная точность ТПК, по формуле (37) из [2], в знаменателе под корнем получится нуль или отрицательное число, программа переходит к расчету ТПК с подгонкой, при этом величина C_0 выбирается из соотношения

$$C_0 = \min \{ C_0', C_0'' \}.$$

6. Если площадь однослойного ТПК оказывается больше 1 см^2 - печатается (выводится на экран дисплея) сообщение «СМЕНИТЕ C_0 ».
7. Если у компланарного ТПК в результате расчета длина в 40 и более раз превышает величину зазора, он выполняется в виде гребенки.
8. Ввод в ЭВМ характеристик выбранного материала диэлектрика осуществляется автоматически (материалы диэлектриков и их характеристики высвечиваются на экране монитора).

Программа расчета комплекса ТПК написана в двух вариантах на алгоритмических языках БЕЙСИК и ПАСКАЛЬ с разным сервисным обеспечением. При написании программы использованы следующие идентификаторы (расшифровка дана для программы, написанной на БЕЙСИКЕ, в соответствии с обозначениями, приведенными в [2]).

Тип 1

N2 - количество рассчитываемых ТПК;

C(I) - номинал i-го ТПК;

U(I) - рабочее напряжение i-го ТПК;

P1 - вероятность выхода годного ТПК;

M1 - σ_A , мм;

M2 - $\bar{\sigma}_{C_0}$, %;

R - r - коэффициент корреляции;

U0 - $E_{пр}$, В/см;

E - ϵ - для однослойного ТПК;

C - $C_{отмх}$ (рекомендуемое табличное значение);

U1 - $U(i)_{отмх}$;

D - d, мм;

C1 - $C_0 = \min \{ C_0', C_0'' \}$;

Z - z - аргумент интеграла вероятностей;

M3 - $\bar{\sigma}_{C_i}$;

M4 - $\bar{\sigma}_S^2$;

- $M5 - \bar{\sigma}_S$;
 A1 - A - размер ТПК (из условия обеспечения точности);
 $C2 - C_0^*$, (C_0 , обеспечивающее заданную точность);
 $C0 - C_0$ - расчетное (окончательное) значение C_0 ;
 $S(I)$ - площадь i-го ТПК (верхней обкладки);
 $A(I)$ - размеры i-го ТПК (верхней обкладки).

Тип 2

- $C3 - C_{\text{макс. доп}}$;
 $C4 - C_{\text{мин. доп}}$;
 $S - S = C/C_0$;
 $M5 - \bar{\sigma}_S = 2\sigma_A / \sqrt{S}$;
 $M3 - \bar{\sigma}_C = \sqrt{\sigma_{C0}^2 + \bar{\sigma}_S^2}$;
 N - n - число подгоночных секций;
 $S1 - S_{\text{осн. макс}}$;
 $S2 - S_{\text{сумин}}$;
 $A(I) - A_{\text{осн}}$;
 $S(I) - S_{\text{осн}}$;
 $S3 - S_{\text{собщ}}$;
 $S0 - S_{\text{секции}}$.

Типы 3.4

- W - z - величина зазора компланарного ТПК;
 $E1 - \epsilon_d$ - диэлектрическая проницаемость подложки;
 $E2 - \epsilon_n$ - диэлектрическая проницаемость защитного слоя;
 L - L - длина совместной линии компланарного ТПК;
 $L1 - D$ - длина секции (пальца) гребенчатого ТПК;
 N - число секций гребенчатого ТПК.

3. Работа с программой расчета ТПК

Программа записана на диске «С» ПЭВМ в директории «LAB», имя программы «TRC5». При запуске программы исходные данные вводятся после появления на экране дисплея соответствующих сервисных надписей:

КОЛИЧЕСТВО КОНДЕНСАТОРОВ В СХЕМЕ? - вводится N1.

На запрос с дисплея данных ввода нужно вводить числовые значения этих данных в указанных единицах, нажимая затем ENTER. Номинал, допуск и рабочее напряжение вводятся для каждого ТПК в отдельности, остальные данные – сразу для всех ТПК.

Когда с экрана будет предложено набрать номер материала диэлектрика, необходимо по параметрам, распечатанным на экране, выбрать подходящий диэлектрик, набрать его номер и нажать «ENTER». При этом данные ($E_{пр}$ и ϵ) запишутся в память ЭВМ и в дальнейшем будут использованы в расчетах. Значение C_0 (C - на экране) приводится для удобства выбора материала диэлектрика. Затем на экране будет распечатано расчетное значение удельной емкости и предложение его округлить. Значение C_0 необходимо округлить в меньшую сторону и ввести в ЭВМ, либо ввести другое (свое) значение.

Далее начнется расчет первого ТПК и через несколько секунд расчетные данные будут выведены на экран с сообщением о типе ТПК. К расчету очередного ТПК ЭВМ приступит после нажатия клавиши «ENTER».

В программе «TPC5» предусмотрена возможность смены материала и замены некоторых параметров.

В процессе работы с программой возможно сообщение:

СМЕНИТЕ $C(0)$ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРА $C(i)$.

Это означает, что площадь ТПК больше 1 см^2 и на это следует обратить внимание. Окончательное решение о необходимости смены C_0 принимает конструктор.

При необходимости замены какого-либо параметра следует после запроса «ЖЕЛАЕТЕ ИЗМЕНИТЬ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРА?» набрать «1» и нажать «ENTER». На экране будут высвечены параметры, которые можно изменить. Набрав номер нужного параметра, нужно нажать «ENTER», затем ввести новое значение параметра в соответствующих единицах и снова нажать «ENTER». Расчет данного ТПК будет повторен с новым значением измененного параметра. Следует помнить, что изменение номинала, допуска и рабочего напряжения не повлечет за собой изменения этих параметров у других конденсаторов; что касается \overline{C}_{C0} и параметров материала диэлектрика - то они изменяются для рассчитываемого и всех последующих ТПК. Если менять параметры для последующих конденсаторов не нужно, их необходимо восстановить после расчета данного ТПК с помощью описанной выше процедуры.

4. Описание лабораторной установки

В качестве оборудования при выполнении работы используется любая серийная ПЭВМ типа IBM.

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 ТПК и методику работы с программой.
5. Запустить программу расчета ТПК.
6. Рассчитать конструктивные параметры ТПК для различных значений $\Phi(z)$, $\bar{\sigma}_{C0}$, σ_1 , C_0 , U_p и др.
7. Рассчитать размеры одного ТПК для нескольких значений $\Phi(z)$ и построить график зависимости $S=f(\Phi(z))$.
8. Поработать с программой в режиме изменения данных, построить зависимости размеров ТПК от технологических характеристик их изготовления.
9. Вычертить эскизы ТПК, определить их габаритные размеры, площадь.

6. Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Объяснить использование различных типов ТПК, их преимущества и недостатки.
2. Объяснить методику расчета различных типов ТПК.
3. Объяснить работу программы расчета ТПК по блок-схеме.
4. Перечислить и объяснить условия и ограничения, реализованные в программе расчета ТПК.
5. Рассказать правила работы с ЭВМ по программе «ТПК».
6. Рассказать, как влияют на конструктивные параметры ТПК величины $\Phi(z)$, $\bar{\sigma}_{C0}$, σ_1 , C_0 и др.
7. Назвать правила техники безопасности при работе на ЭВМ.

Библиографический список

1. Ермолаев Ю.П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю.Г. Конструкции и технология микросхем.-М.: Сов. Радио, 1980.
2. Проектирование элементов гибридных интегральных микросхем и микросборок. Методические указания / Сост.:Меркулов А.И., Дмитриев В.Д. - Самара, СГАУ, 1990.
3. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Пикуль М.И., Русак И.М., Цырельчук Н.А. Конструирование и технология производства ЭВМ: Учебник. - М.: Высш. шк., 1996.