

УДК
621.396
К 192

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**МОСКОВСКИЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**
(технический университет)

**Ю.В. Кандырин, Л.Т. Сазонова,
С.А. Хватынец**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
КОНДЕНСАТОРНЫХ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ИМС**

Лабораторная работа



УДК
621.396
К-192

2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
Российской Федерации

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(Технический университет)

Ю.В. КАНДЫРИН, Л.Т. САЗОНОВА, С.А. ХВАТЫНЕЦ

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ИМС**

Лабораторная работа

Методическое пособие

по курсу

**“Конструирование и технология производства РЭС”
для студентов, обучающихся по направлению «Радиотехника»**

Москва

Издательство МЭИ

2006

Утверждено учебным управлением МЭИ

Рецензент: канд. техн. наук, профессор А.К. Нарышкин

Подготовлено на кафедре радиоприемных устройств

Кандырин Ю.В., Сазонова Л.Т., Хватынец С.А.

Автоматизированное проектирование конденсаторных тонкопленочных ИМС. Методическое пособие. –М.: Издательство МЭИ, 2006. -16 с.

Приводятся методические указания к выполнению лабораторной работы по многовариантному многокритериальному проектированию тонкопленочной конденсаторной микросборки с помощью автоматизированной программной системы «Микросборка-С». В процессе выполнения лабораторной работы студенты реализуют: процедуры формирования технического задания, многовариантного выбора материалов и технологии формирования рисунка, расчета групп конденсаторов, сравнительной оценки полученных проектных вариантов, а также эвристическую процедуру размещения элементов и трассировки проводников по критерию минимальной занимаемой площади и минимальной суммарной длине проводников.

Предназначено для студентов ИРЭ (РТФ), обучающихся по направлению «Радиотехника» и выполняющих лабораторную работу по дисциплине «Конструирование и технология производства РЭС».

Учебное издание

Кандырин Юрий Владимирович,
Сазонова Людмила Тимофеевна,
Хватынец Сергей Алексеевич

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ИМС

Методическое пособие
к лабораторной работе по курсу
«Конструирование и технология производства РЭС»
для студентов, обучающихся по направлению «Радиотехника»

Редактор издательства Е.Н. Касьянова

ЛР № 020528 от 05.06.97

Темплан МЭИ 2006(І), метод.

Подписано в печать Формат 60×84/16

Гарнитура Таймс

Физ. печ. лист. 1,0

Тираж 100 экз.

Печать офсетная

Изд. №

Заказ

Издательство МЭИ, 111020, Москва, Красноказарменная ул. 14

Отпечатано в типографии ЦНИИ «Электроника»,

117415, Москва, просп. Вернадского д. 39

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Осуществить многовариантное многокритериальное проектирование тонкопленочной конденсаторной сборки, предназначенной для работы в заданных условиях для заданного фрагмента принципиальной схемы РЭС.

В процессе лабораторной работы студенты получают навыки:

- формирования технического задания на разработку конденсаторной тонкопленочной ИМС;
- рационального выбора материалов и технологии для проектируемой группы конденсаторов;
- автоматизированного расчета группы конденсаторов с помощью программы «Микросборка-С», напыляемых в едином технологическом цикле;
- сравнительного анализа сформированных вариантов конденсаторных сборок и многокритериального выбора рационального варианта группы конденсаторов из сформированного множества альтернативных проектов;
- выбора подложки ИМС с учетом принятого стандарта и общей топологии;
- размещения конденсаторов на подложке и формирования межсоединений автоматическим и эвристическим методами;

Автоматизированное проектирование конденсаторных тонкопленочных ИМС проводится с применением программы «Микросборка-С» разработанной на кафедре РПУ и в ЦИП МЭИ.

2. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

2.1 Домашнее задание

1. Изучите рекомендуемую литературу [1]: стр. 89÷137, [6]: стр. 5÷44, [7]: стр. 64÷82 и описание данной лабораторной работы.
2. Ознакомьтесь с методикой расчета группы тонкопленочных конденсаторов, приведенной в [1]. Продумайте порядок выполнения лабораторной работы с применением программы «Микросборка-С». Постарайтесь критически оценить методику расчета тонкопленочных конденсаторов, изложенную в [1], показав её достоинства и недостатки.
3. Опишите, соответствующую номеру бригады, принципиальную электрическую схему символьными предложениями: [«элемент №» - «цепь №»], [«контактная площадка №» - «цепь №»]. (Методика описания принципиальной схемы изложена в **Приложении 2** настоящего пособия).
4. Для принципиальной схемы, соответствующей номеру бригады (**Приложение 1.**) осуществите ручное эвристическое размещение конденсаторов и трассировку межсоединений на одной стороне подложки (без пересечений с элементами и проводниками). Контактные площадки расположите равномерно удалено друг от друга по одной из сторон подложки. Результат размещения оформите в карандаше на миллиметровой бумаге формата А4 в виде сборочного чертежа в соответствии с ЕСКД.
5. Заготовьте один на бригаду отчет с титульным листом, в котором должны содержаться результаты домашнего проектного задания, выполненного в соответствии с п.3 и п.4 и чистые листы для распечаток экранных окон,

которые необходимо протоколировать в результате выполнения лабораторной работы.

6. Ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце данного пособия.

2.2 Лабораторное занятие в компьютерном классе

1. Запустите программу "Микросборка-С" командой «*msc.exe*» (под некоторыми версиями Windows после введения команды «*msc.exe*» необходимо нажать «*Esc*», чтобы выйти на исходную страницу меню).
2. Войдите в пункт меню «**Ввод технического задания**», в котором выберете пункт «**Новый проект**», зарегистрируйтесь и последовательно введите все требуемые программой данные по формированию ТЗ, которое задается с учетом общего ТЗ на разработку РЭС (надсистемные требования) и непосредственных требований к конденсаторам, выполняемых по тонкопленочной технологии в микросборке [1].
Всеми дальнейшими шагами по проектированию группы конденсаторной сборки можно руководствоваться исходя из меню программы "Микросборка-С" (см. рис.1 в разделе 2.3. данного описания).
3. На первом этапе проектирования *необходимо сформировать исходное множество альтернативных вариантов групп конденсаторов* для разрабатываемой конденсаторной сборки, каждый вариант, в котором отличается геометрической формой и размерами входящих в нее конденсаторов, а значит и результирующей площадью, занимаемой ими на подложке. Кроме того, так как разные материалы и технологии позволяют достигать разной степени точности изготовления конденсаторов, сформированные варианты микросборок будут отличаться достижимой погрешностью емкостей конденсаторов. Следует отметить, что все варианты конденсаторной микросборки, формируемой в процессе автоматизированного проектирования программой «Микросборка-С» являются допустимыми по ТЗ (недопустимые программой отбрасываются), но имеют разные значения принятых показателей качества: «ПК₁ - суммарная занимаемая площадь на подложке» и «ПК₂ – суммарная приведенная погрешность изготовления».
4. Каждый вариант группы конденсаторов формируется в интерактивном режиме назначением материала и технологии в программе "Микросборка-С", исходя из меню и подсказок, предъявляемых программой на соответствующих этапах. После ввода их в программу, производится автоматический расчёт топологии каждого из конденсаторов с выдачей протокола и их графического отображения по группам конденсаторов. В программе предусмотрен как последовательный ввод данных по материалам и технологиям с разовым расчетом группы, так и полностью автоматический расчет всех потенциально осуществимых вариантов групп конденсаторов методом морфологического синтеза. Число спроектированных в процессе работы программы альтернативных допустимых групп конденсаторов для микросборки может составлять от 6 до нескольких десятков и зависит от конкретных условий задачи.

5. Первичное усечение полученных вариантов структур проводится с помощью подпрограммы многокритериального выбора по критериальным требованиям, с нарастающей силой: вначале **по критерию Парето**, а затем **по лексикографическому критерию**. Показателями качества являются общая суммарная площадь $S_{\Sigma C_i}$, занимаемая группой конденсаторов на подложке и условная результирующая относительная погрешность для группы конденсаторов $\alpha C_{\Sigma C_i}$. Приоритеты показателей качества в лексикографическом критерии задаются исходя из ТЗ на разработку надсистемы, т.е. исходной схемы, частью которой является группа конденсаторов в микроэлектронном исполнении. Окончательный выбор варианта спроектированной группы конденсаторов осуществляется эвристически на основании анализа технического задания, условий эксплуатации и типа производства электронного устройства в целом.
6. Далее, заданная для бригады принципиальная схема микросборки вводится в программу с помощью символьных предложений связей элементов и контактных площадок (см. **Приложение 2**) и, после ввода описания схемы, нажатием клавиши \leftarrow производится автоматическое первичное размещение и трассировка конденсаторов на подложке. Внешние контактные площадки микросборки при этом программой автоматически формируются по одной из сторон подложки.
7. Так как все известные конструкторские САПР, часто на практике не дают 100% трассировки электрических соединений без пересечений, необходимо в интерактивном режиме провести коррекцию полученного размещения конденсаторов с помощью эвристического редактирования, меняя местами их положение на подложке. При этом следует минимизировать *суммарную длину проводников* и уменьшать общую площадь, занимаемую элементами на подложке, группируя их ближе к контактным площадкам, и друг к другу. Информация о суммарной длине трасс отображается на экране. Трассировка проводников проводится программой «Микросборка-С» только по одной стороне подложки, поэтому необходимо достичь такого положения конденсаторов, при котором пересечения проводников отсутствуют. Вариант с минимально достижимыми показателями качества принимается за оптимальный и фиксируется клавишей «Print Screen» для вывода протокола отчета по работе.

2.3. Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- результаты выполнения домашней подготовки (см. п. 2.1., 2.2, 2.3);
- распечатку протокола сформированных вариантов групп конденсаторов;
- распечатку графического отображения на экране распределения альтернатив в пространстве двух показателей качества: суммарной площади, занимаемой конденсаторами на подложке и суммарной результирующей погрешности группы конденсаторов;

- краткое вербальное описание процедуры многокритериального формализованного и эвристического выбора варианта проекта;
- распечатку выбранного варианта проекта микросборки для группы конденсаторов, и для отдельных конденсаторов в группе;
- краткое описание технологии производства, разработанной микросборки;
- распечатку графического изображения результатов первичного автоматического размещения и трассировки;
- распечатку окончательного варианта размещения и трассировки микросборки после эвристической коррекции топологии;
- выводы по проделанной работе и анализ соответствия техническому заданию на проектирование;
- библиографический список.

3. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММОЙ «МИКРОСБОРКА-С»

3.1. Загрузить программу проектирования конденсаторных тонкопленочных сборок "Микросборка-С". После появления заставки войти в меню диалога главного расчетного блока программы. Оно состоит из следующих рабочих подпрограмм (см. «*Возможности системы*» (рис.1)).

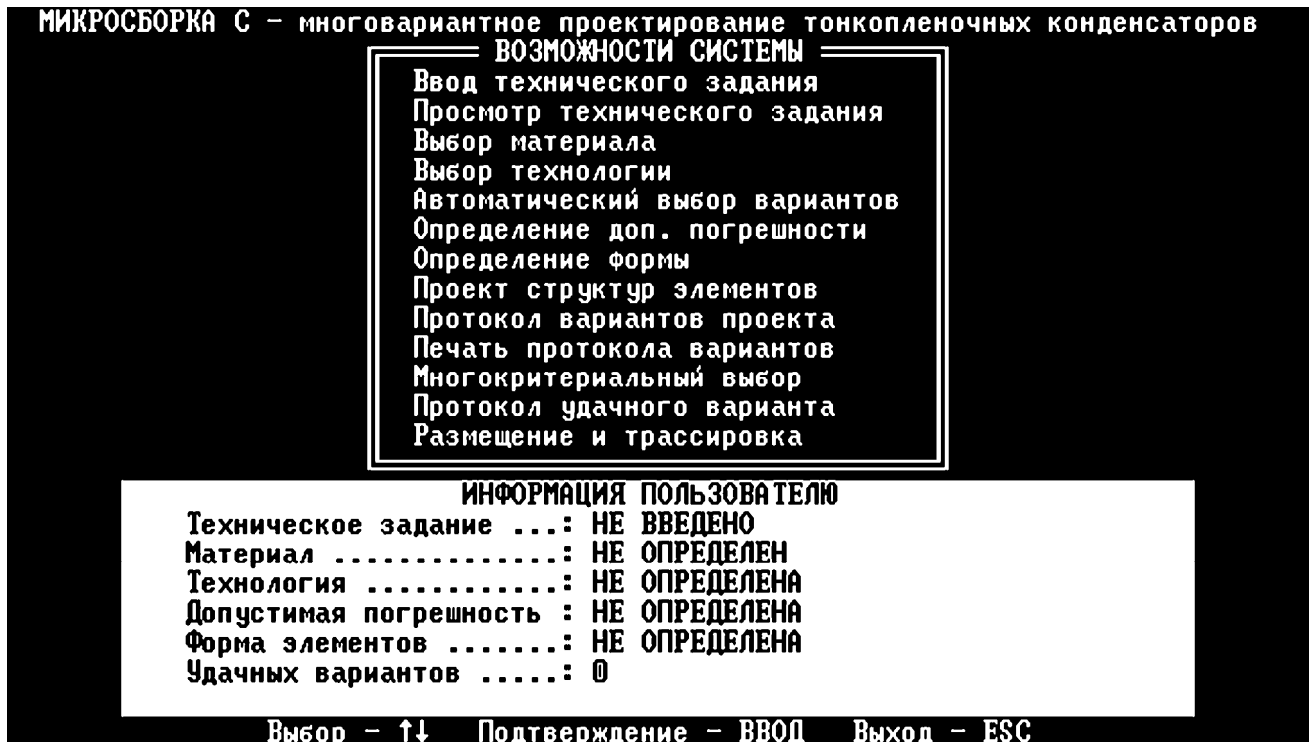


Рис. 1. Главное меню программы "Микросборка-С"

3.2. Ввести техническое задание подведением курсора к соответствующей строке меню и нажатия клавиши "*Enter*". При этом осуществляется первичный ввод ТЗ (для этого необходимо задать имя вашего личного рабочего файла, состоящего из номера группы и инициалов, например, *er1-01-dkt*, где *dkt*- первые буквы фамилии, имени, отчества). При повторных загрузках ПЭВМ (например, при сбоях) достаточно выбрать из меню строку "*Чтение старого проекта*" в

подпрограмме «**Ввод технического задания**», затем ввести ранее созданный проект, выбрав его из меню файлов, и продолжить с ним дальнейшую работу.

Формирование ТЗ включает:

- ввод максимально допустимой температуры перегрева (до 100 [°C]);
- ввод погрешностей воспроизведения материала ($\pm(1-3)[\%]$);
- ввод погрешности на старение материала ($\pm(1-3)[\%]$);
- ввод коэффициента формы: $K_{\phi}=1$.
- ввод номинальных значений конденсаторов в [пФ];
- ввод допусков на емкость конденсаторов в ($\pm[\%]$);
- ввод максимального напряжения на обкладках конденсаторов в [В].

3.3. При необходимости введенное техническое задание может быть проверено и скорректировано, если войти в строку меню "**Просмотр технического задания**".

3.4. Расчет группы конденсаторов начинается с выбора материала диэлектрика. Для этого необходимо войти в соответствующую строку главного меню. Продвигая курсор по предлагаемым в таблице материалам, необходимо отслеживать информацию о выполнимости проекта (в правом нижнем углу экранного поля). В случае невыполнимости проекта выбирается следующий по строке материал. При выполнимости проекта необходимо ввести выбранный материал в программу для дальнейшего расчета и перейти к следующей строке главного меню «**Выбор технологии**».

3.5. Выбор технологии осуществляется из меню «**Выбор технологии**». При этом необходимо учитывать потенциально достижимую точность выполнения геометрических размеров конденсаторов и экономические характеристики метода. (По согласованию с преподавателем пункты 3.4 и 3.5 меню могут быть выполнены в автоматическом режиме).

3.6. Далее, последовательно входя в подпрограммы «**Определение допустимой погрешности**», «**Определение формы**» и «**Проект структур элементов**», осуществляют расчет геометрии конденсаторов в полуавтоматическом режиме, нажимая клавишу «**Enter**» по мере выполнения промежуточных расчетных операций. В результате выполнения этого этапа проектирования появляется сообщение о выполнимости или невыполнимости проекта с введенными исходными данными. Удачный (допустимый) проект автоматически запоминается программой. Если проект невыполним или число удачных вариантов менее 5 необходимо вернуться в главное меню программы (рис.1) в разделы «**Выбор материала**» и «**Выбор технологии**» и с новыми исходными данными повторить расчет. Каждый последующий удачный вариант также запоминается и информация о числе удачных вариантов высвечивается в самой нижней строке экранного поля главного меню.

3.7. По окончании накопления множества допустимых вариантов конденсаторных микросборок проводится их сравнение и выбор наиболее рационального проекта. Для выполнения этого этапа необходимо войти в строку «**Многокритериальный выбор**» главного меню программы «**Микросборка-С**».

3.8. Многокритериальный выбор рационального варианта проекта осуществляется по двум показателям качества: *суммарной площади* $S_{\Sigma C_i}$, занимаемой группой конденсаторов на подложке, и результирующей *суммарной погрешности*

конденсаторов $\alpha_{C_{\Sigma i}}$. После входа в подпрограмму «**Многокритериальный выбор**» (МКВ) на экране появится главное меню этой подпрограммы, содержащее пункты: «**Ввод информации**», «**Процедура выбора**», «**Графическое отображение**», «**Выход**».

3.9. Для выбора режима работы подпрограммы «**Многокритериальный выбор**» необходимо подвести световой указатель к нужному пункту и нажать клавишу «**Enter**». Световой указатель перемещается при помощи клавиш передвижения курсора. При выборе пункта меню «**Ввод информации**» на экране появится таблица с автоматически введенными данными о ранее полученных проектных вариантах групп конденсаторов. Для возврата в главное меню подпрограммы «**Многокритериальный выбор**» необходимо нажать клавишу F10.

3.10. Процедуры выбора рационального варианта осуществляются интерактивно. В этом режиме система высвечивает на экране меню, в состав которого входят: «**Выбор допустимых решений**», «**Выбор по лексикографии**», «**Последовательный выбор с уступками**», «**Выбор по Парето**». Выбор нужного пункта меню осуществляется путем подведения светового указателя к соответствующей строке и нажатия клавиши «**Enter**».

3.11. При запуске процедуры «**Выбор допустимых решений**» на экране появляется таблица со списком характеристик и набором символов соответствующих отношений ($<$, $=$, $>$, \geq , \leq ,...). Чтобы задать новые условия и ограничения, исправить или уничтожить уже имеющиеся для конкретной характеристики необходимо ввести её номер и тип ограничения в ответ на запрос системы. Система высвечивает на экране вид полученного отношения, а также список допустимых вариантов, выбранных с учетом нового ограничения. Уничтожение ограничения производится путем выбора в меню отношений пункта "**уничтожение**". Для оперативного выхода из режима задания типа ограничения необходимо использовать клавишу «**Esc**».

3.12. «**Выбор по критерию Парето**» и «**Выбор по лексикографии**» осуществляется также выделением соответствующей строки в меню подпрограммы с помощью курсора и клавиши «**Enter**». При запуске процедур выбора решений по лексикографии и по Парето система переходит к режиму задания номеров характеристик для показателей качества, участвующих в выборе. При этом на экране отображается список характеристик, которые не были ранее отнесены к ограничениям и условиям. В правой части экрана появляется запрос системы на ввод номеров характеристик, соответствующих принятым показателям качества. В процедуре выбора по Парето номера характеристик можно указывать в произвольном порядке, однако их количество в программе ограничено двумя. В процедуре выбора по лексикографии номера показателей качества необходимо задавать в порядке убывания приоритетов, соответствующих номерам характеристик. Выбор проектных вариантов по критериальным требованиям осуществляется **только по характеристикам, имеющим численные значения (а не символьные и не интервальные!)**.

Успешный ввод номеров показателей качества, по которым будет производиться выбор решений, переводит систему в режим задания направления оптимизации [минимизации (\min) или максимизации (\max)] характеристик, которое подтверждается, в свою очередь, нажатием клавиши «**Enter**». После осуществления

расчетов по заданному алгоритму, соответствующему процедуре выбора (по Парето или лексикографии), на экране высвечиваются полученные решения. Нажатие любой клавиши возвращает систему в меню процедур выбора.

3.13. «Графическое отображение альтернатив» в пространстве выбранных показателей качества даёт возможность получить условное графическое отображение рассматриваемых вариантов в пространстве двух выбранных показателей качества. При выборе этого пункта меню на экране появляется перечень характеристик проектных вариантов. В ответ на первый запрос системы необходимо ввести номер первой характеристики, которая будет отображаться по оси ординат. Аналогично вводится номер второй характеристики по оси абсцисс. Далее система отобразит спроектированные варианты в двумерном пространстве принятых ПК с идентифицирующими их номерами. Если процедуры выбора уже проведены (п. п. 3.11, 3.12), то варианты, оптимальные по Парето и по лексикографии выводятся на экран мерцающими символами различного цвета. Если несколько вариантов имеют одинаковые значения обеих характеристик, точки на графике накладываются. При этом остается видимым вариант с большим номером. Такие варианты помечаются знаком - * и под графиком выводится список вариантов, закрытых вариантами с большим номером.

Нажатие клавиши [F10] в любой момент работы возвращает пользователя из подсистемы графического отображения в главное меню подпрограммы «**Многокритериальный выбор**».

Выйти из подпрограммы «**Многокритериальный выбор**» в главное меню основной программы «*Микросборка-С*» можно с помощью пункта меню «**Выход**» (п. 3.8).

3.14. После окончательного выбора номера варианта конденсаторной микро сборки необходимо распечатать «**Протокол вариантов проекта**», который является документом, позволяющим наглядно представить выполненную работу. Вход в эту подпрограмму осуществляется подведением курсора к соответствующему пункту главного меню программы «*Микросборка-С*» (рис. 1) и нажатием клавиши «**Enter**».

3.15. Печать «**Протокола удачного варианта**» осуществляется также входом в соответствующий пункт главного меню. Распечатка включает полный протокол по всем необходимым характеристикам конденсаторов выбранного проектного варианта сборки, в том числе, и по графическому представлению каждого из конденсаторов рассчитанной группы с полным отчетом об их геометрических размерах.

3.16. Размещение конденсаторов на подложке и трассировка межсоединений осуществляется программой автоматически при вызове раздела главного меню «**Размещение и трассировка**» и указания, какой из оптимальных вариантов группы конденсаторов необходимо обрабатывать. Для этого в пункте главного меню «**Размещение и трассировка**», в появившемся подменю выбирается пункт «**Новый вариант**» и задается номер выбранного оптимального варианта. Далее, используя символьное описание связей: [«элемент №» - «цепь №»] и [«контактная площадка №» - «цепь №»] вводят принципиальную электрическую схему, например, изображенную на рис. 2.

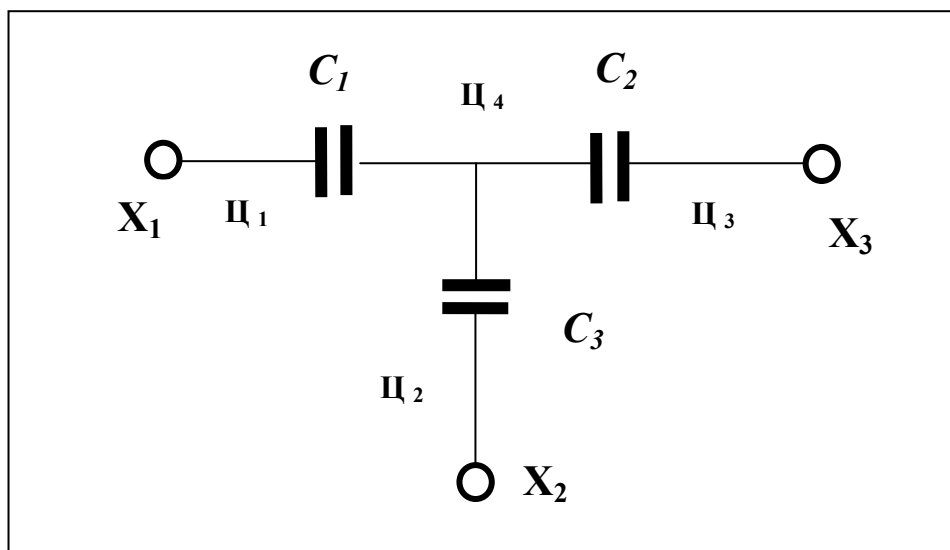


Рис. 2. Пример принципиальной схемы микросборки и обозначение её элементов - (C_j), цепей - (Ψ_k) и контактных площадок (X_i).

Результаты ввода данных о принципиальной схеме в виде двух таблиц отражены в экранном окне программы (рис. 3).

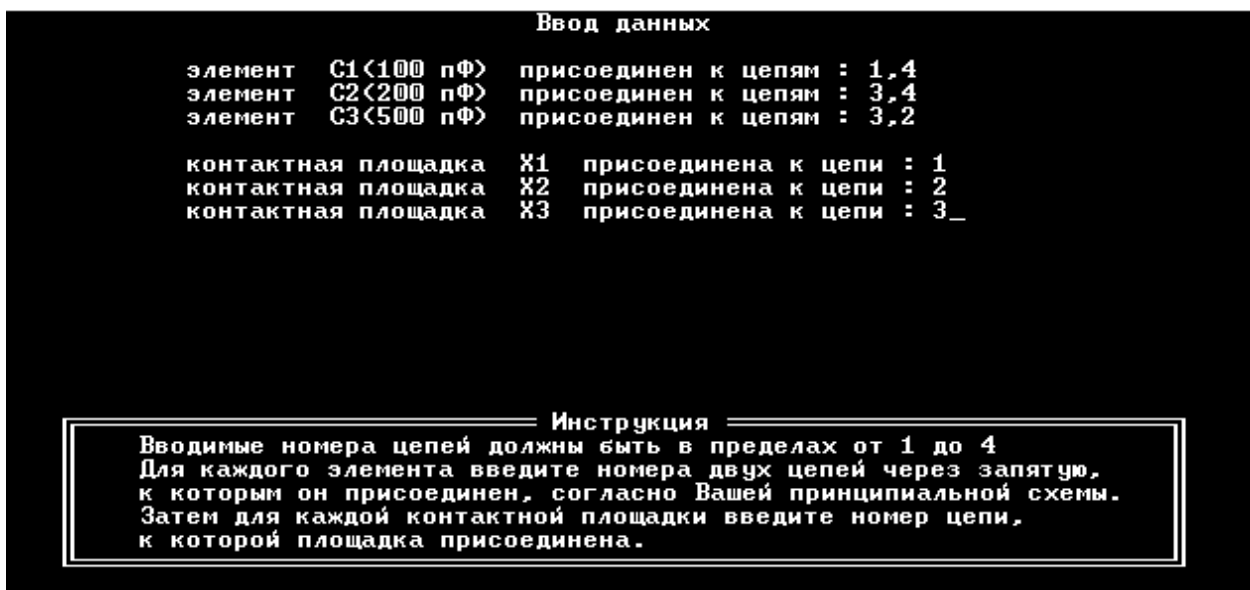


Рис. 3. Описание связей для принципиальной схемы, изображенной на рис 2.

После завершения ввода принципиальной электрической схемы командой «Enter» производят автоматическое размещение конденсаторов и трассировку межсоединений. Если процесс трассировки выполняется **не на 100%**, необходимо в режиме редактирования так изменить положение отдельных конденсаторов на подложке, чтобы после эвристической коррекции размещения программа смогла полностью осуществить процесс трассировки проводников. Выполняется коррекция с помощью клавиш: **Space (Пробел)** – выбор конденсатора подсветкой; **Up, Down, Left, Right** (клавиши курсорных стрелок) – перемещение выбранного конденсатора по подложке; **Enter ↵** – запуск автотрассировщика проводников. В результате можно увидеть результат работы программы (рис. 4).

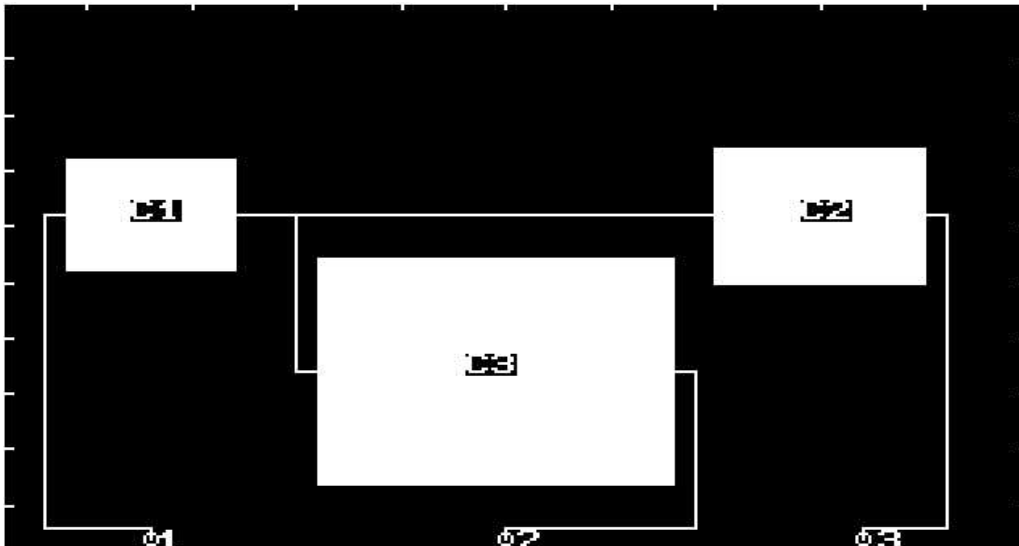


Рис. 4. Экранная область с результатами автоматизированного размещения и трассировки

Результатирующие характеристики каждого из вариантов приведены в окне сводных характеристик и позволяют проводить их количественное сравнение (рис. 5).

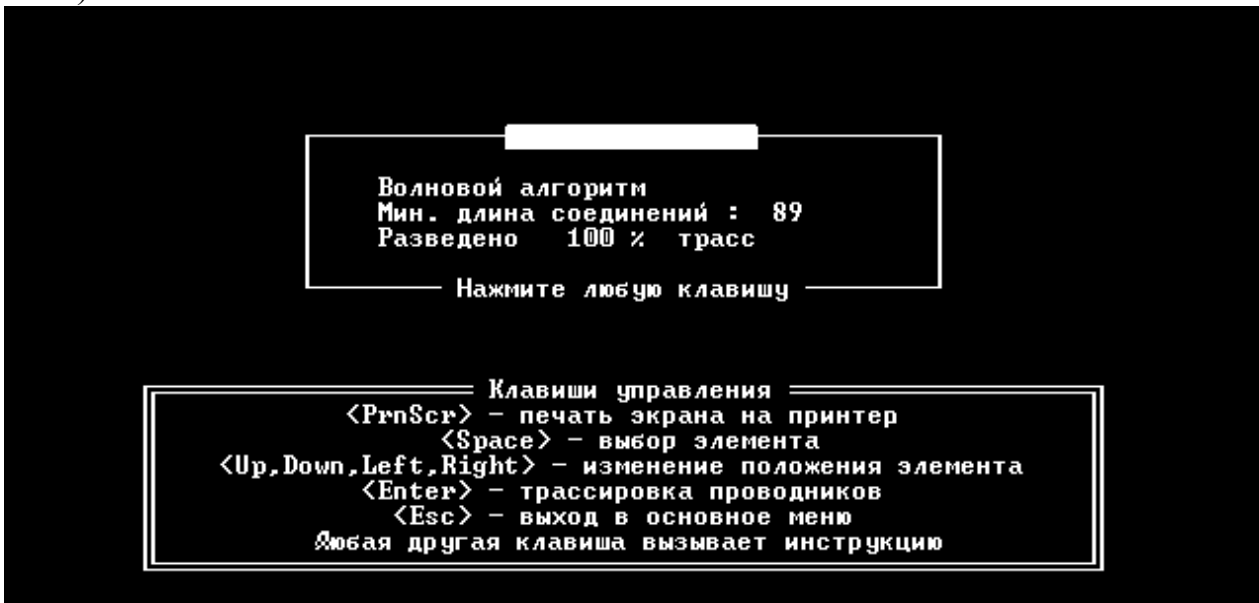


Рис. 5. Окно вывода основных характеристик проектирования

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

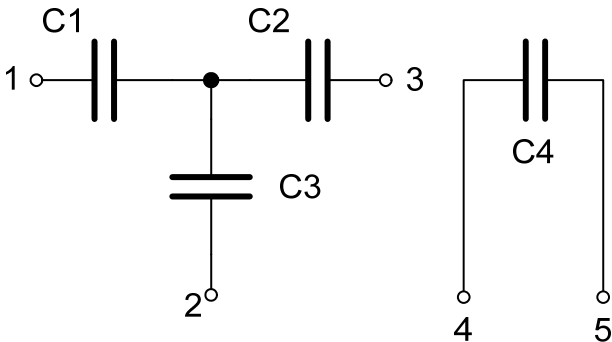
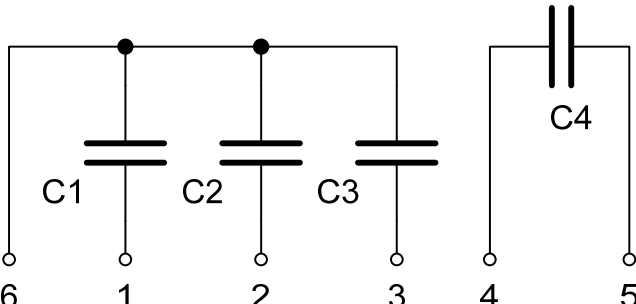
1. Чем ограничивается выбор толщины диэлектрика тонкопленочных конденсаторов в проектируемой тонкопленочной сборке?
2. Как влияет площадь перекрытия обкладок на выбор диэлектрика конденсатора?
3. Какие соображения лежат в основе формирования группы конденсаторов в микросборке?
4. В чем отличие одного проектного варианта от другого?

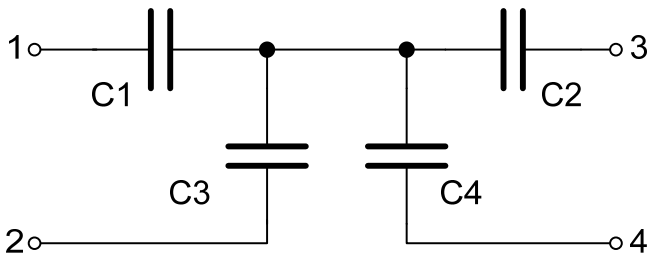
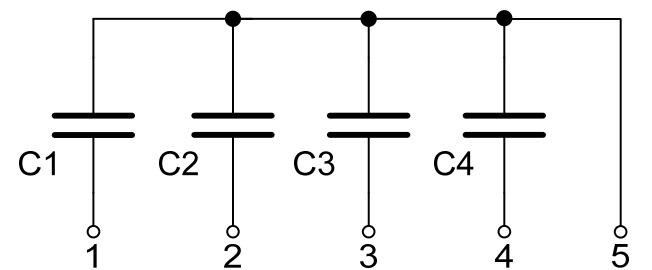
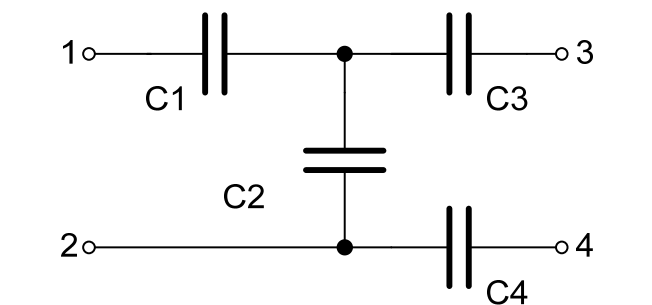
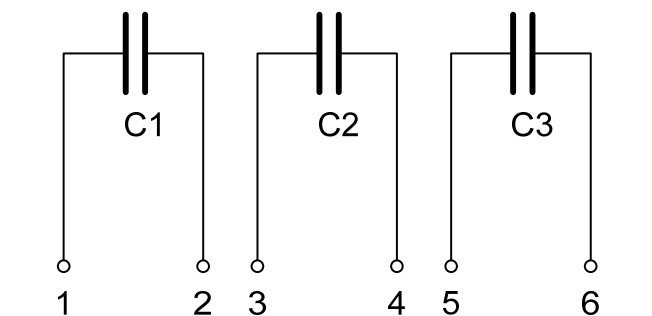
5. В чем преимущество электронно-ионной технологии перед масочным методом?
6. Как снизить влияние температуры на емкость тонкопленочного конденсатора?
7. Какие факторы влияют на относительную погрешность удельной емкости?
8. Как осуществляется выбор рационального варианта группы конденсаторов в программе «Микросборка-С»?
9. Какие критерии сравнительной оценки вариантов используются в программе «Микросборка-С»?
10. Из каких соображений выбирается площадь подложки для конденсаторной микросборки?
11. Какие стратегии могут быть положены в основу эвристической коррекции результатов автоматического размещения и трассировки межсоединений при не 100% разводке межсоединений?
12. Какие критерии оценки вариантов размещения и трассировки Вам представляются наиболее значимыми для практики и какие Вы будете использовать в лабораторной работе?

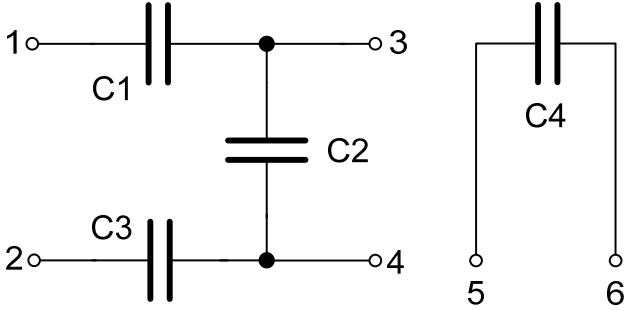
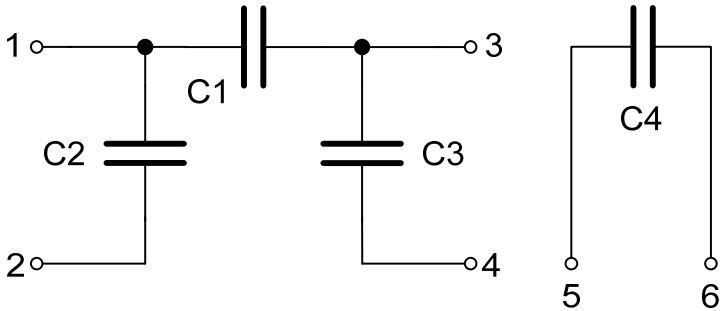
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Варианты заданий.

№ №	Схема	Исходные данные
1		<p> $C_1 = 200 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_2 = 200 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_3 = 500 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_3 = 800 \text{ пФ} \pm 20\%$. Размеры подложки: Ш/Д – 8/10 мм. Максимальные размеры конденсаторов: $C_1 - 1.31/1.31 \text{ мм}$, $C_2 - 1.31/1.31 \text{ мм}$, $C_3 - 1.89/1.89 \text{ мм}$, $C_4 - 2.25/2.25 \text{ мм}$. Фотолитография </p>
2		<p> $C_1 = 100 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_2 = 200 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_3 = 200 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_4 = 100 \text{ пФ} \pm 20\%$, Размеры подложки: Ш/Д – 8/10 мм. Максимальные размеры конденсаторов: $C_1 - 1.43/1.43 \text{ мм}$, $C_2 - 1.89/1.89 \text{ мм}$, $C_3 - 1.89/1.89 \text{ мм}$, $C_4 - 1.43/1.43 \text{ мм}$. </p>

3		<p>Фотолитография</p> <p>$C_1 = 800 \text{ пФ} \pm 10\%$ $C_2 = 800 \text{ пФ} \pm 10\%$ $C_3 = 100 \text{ пФ} \pm 20\%$ $C_4 = 400 \text{ пФ} \pm 20\%$</p> <p>Размеры подложки: Ш/Д – 10/12 мм</p> <p>Максимальные размеры конденсаторов</p> <p>$C_1 - 3.43/3.43 \text{ мм}$ $C_2 - 3.43/3.43 \text{ мм}$ $C_3 - 1.31/1.31 \text{ мм}$ $C_4 - 2.26/2.26 \text{ мм}$</p>
4		<p>Фотолитография</p> <p>$C_1 = 100 \text{ пФ} \pm 10\%$ $C_2 = 400 \text{ пФ} \pm 10\%$ $C_3 = 800 \text{ пФ} \pm 10\%$ $C_4 = 1200 \text{ пФ} \pm 10\%$</p> <p>Размеры подложки: Ш/Д – 10/12 мм.</p> <p>Максимальные размеры конденсаторов:</p> <p>$C_1 - 1.31/1.31 \text{ мм}$, $C_2 - 2.26/2.26 \text{ мм}$, $C_3 - 3.43/3.43 \text{ мм}$, $C_4 - 4.06/4.06 \text{ мм}$,</p> <p>Фотолитография.</p>
5		<p>$C_1 = 100 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_2 = 800 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_3 = 1500 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_4 = 2000 \text{ пФ} \pm 20\%$,</p> <p>Размеры подложки: Ш/Д – 12/16 мм.</p> <p>Максимальные размеры конденсаторов:</p> <p>$C_1 - 1.31/1.31 \text{ мм}$, $C_2 - 3.43/3.43 \text{ мм}$, $C_3 - 4.47/4.47 \text{ мм}$, $C_4 - 5.07/5.07 \text{ мм}$,</p> <p>Фотолитография.</p>
6		<p>$C_1 = 5000 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_2 = 10000 \text{ пФ} \pm 10\%$, $C_3 = 20000 \text{ пФ} \pm 10\%$,</p> <p>Размеры подложки: Ш/Д – 30/48 мм.</p> <p>Максимальные размеры конденсаторов:</p> <p>$C_1 - 7.25/7.25 \text{ мм}$, $C_2 - 10.0/10.0 \text{ мм}$, $C_3 - 13.9/13.9 \text{ мм}$.</p> <p>Фотолитография.</p>

7		<p> $C_1 = 200 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_2 = 10000 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_3 = 200 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_4 = 20000 \text{ пФ} \pm 10\%$, Размеры подложки: Ш/Д – 24/30 мм. Максимальные размеры Конденсаторов: $C_1 - 1.4/1.4 \text{ мм}$, $C_2 - 8.28/8.28 \text{ мм}$, $C_3 - 1.4/1.4 \text{ мм}$, $C_4 - 11.46/11.46 \text{ мм}$, Фотолитография. </p>
8		<p> $C_1 = 10000 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_2 = 2000 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_3 = 1000 \text{ пФ} \pm 20\%$, $C_4 = 100 \text{ пФ} \pm 10\%$. </p> <p> Размеры подложки: Ш/Д – 20/24 мм. Максимальные размеры Конденсаторов: $C_1 - 10.6/10.6 \text{ мм}$, $C_2 - 5.1/5.1 \text{ мм}$, $C_3 - 3.8/3.8 \text{ мм}$, $C_4 - 1.31/1.31 \text{ мм}$. Фотолитография. </p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МЕТОДИКА ОПИСАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ В ВИДЕ СОВОКУПНОСТИ СИМВОЛЬНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ: «ЭЛЕМЕНТ № - ЦЕПЬ №» И «КОНТАКТНАЯ ПЛОЩАДКА № - ЦЕПЬ №»

Рассмотрим пример описания электрической схемы, представленной на рис. 6 в виде совокупности символьных предложений, которые однозначно описывают её матрицами связей элементов, контактных площадок и объединяющих их цепей.

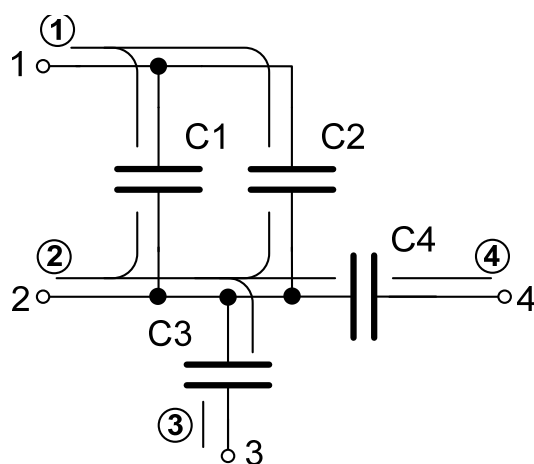


Рис. 6. Исходная принципиальная схема

Как видно из принципиальной схемы количество контактных площадок для приведенной принципиальной схемы составляет – 4, количество цепей тоже – 4;

На рис. 6 цифры в кружках обозначают номера цепей, а контактные площадки пронумерованы без кружков.

Представим заданную принципиальную схему в виде двух таблиц связей П.2.1 и П.2.2.

Таблица П.2.1

Таблица связей: «№ элемента - № связанных с ним цепей»

№ элемента	№ цепи
C1	1, 2
C2	1, 2
C3	2, 3
C4	2, 4

Таблица П.2.2

Таблица связей: «№ контактной площадки - № связанных цепей»

№ контактной площадки	№ цепи
1	1
2	2
3	3
4	4

При подготовке к лабораторной работе дома предлагается описать принципиальную схему, выбранную из Приложения 1 (в соответствии с номером бригады) с помощью подобного матричного описания, чтобы на лабораторном занятии ве-

сти её в ПЭВМ для проведения автоматического размещения и трассировки элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструирование и технология микросхем. Учебное пособие для вузов / Под ред. **Л.А. Коледова**. – М.: Высшая школа, 1984. 231 с.
2. **Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И.** Микроэлектроника. –М.: Высшая школа, 1987. 416 с.
3. **Парфенов О.Д.** Технология микросхем. –М.: Высшая школа, 1977. 256 с.
4. **Кандырин Ю.В., Покровский Ф.Н., Сорокин С.А.** Элементы конструкций РЭА и ЭВА. Учебное пособие / *Под ред. Ю.В. Кандырина*. –М.: Издательство МЭИ, 1993. 304 с.
5. **Кандырин Ю.В.** Технология интегральных микросхем. Учебное пособие. –М.: Издательство МЭИ, 1981. 87 с.
6. **Кандырин Ю.В.** Автоматизированный многокритериальный выбор альтернатив в инженерном проектировании. М.: –Изд. МЭИ. 1992г. – 54 с.