**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

Тема проекта: исследование и разработка методов и технических средств и измерения для формирования статистических высокочастотных моделей радиоэлементов.

1. Объект разработки: конструкция рабочего места для измерения статических и динамических параметров радиоэлементов.
2. Объект измерения: двухполюсные радиоэлементы и транзисторы.
3. Предусмотреть измерение статических и динамических параметров двухполюсников, в том числе и СВЧ диодов; биполярных, полевых канальных и МДП транзисторов; а также аналоговых микросхем. Измерения статических и динамических параметров должны производиться путем реализации способов и устройств по АС СССР №№1084709, 1317370, 1619209, 1580282.
4. Измерения статических параметров должны производиться с погрешностью не хуже 1% во всем диапазоне тестовых напряжений. Динамические тесты должны производиться с погрешностью не хуже 10% в диапазоне частот до 300 МГц для двухполюсников.
5. Результаты измерений статических параметров должны быть достаточными для аналитического описания ВАХ измеряемого элемента.
6. Выполнить конструкторскую проработку электрических схем и

конструкции прибора. Требования к составным частям устройства:

* габариты и конструкция блока измерительно-контрольного устройства должны обеспечивать удобство управления и подключения устройств и приборов рабочего места;
* измерительные головки должны обеспечивать возможность подключения измеряемых радиоэлементов к измерительно-контрольному устройству;
* конструкция измерительных головок должна учитывать особенности ВЧ-монтажа;
* погрешность установки напряжения на коллекторе измеряемого транзистора стабилизатором рабочей точки должна быть не хуже 0,1%-

7 Группа эксплуатации: 1 по ГОСТ 16019-78

**РЕФЕРАТ**

Пояснительная записка 17Q страниц, рисунков, таблиц, S3 источника, 2, приложения.

Двухполюсник, многополюсник, компонентная математическая модель, факторная математическая модель, эквивалентная схема элемента, статический параметр, динамический параметр, измерительно-контрольное устройство (ИКУ), измерительная головка (ИГ).

Объектом разработки является рабочее место для формирования статистических высокочастотных моделей радиоэлементов.

Цель работы - разработка комплекта конструкторской документации, изготовление блока ИКУ и его испытание путем измерения статистических и режимных параметров двухполюсников.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуа­тационные характеристики блока управления и контроля автоматизированного тестера параметров радиоэлементов: диапазон регулировки напряжения коллектора 0-15 В; точность установки напряжения коллектора ±1%; диапазон регулировки коллекторного тока 1-100 мА; габаритные размеры и масса изделия не лимитируются; срок службы изделия с учётом времени хранения не менее двух лет.

Рекомендации по внедрению - результаты работы будут приняты к внедрению на кафедре РЭУС.

**Содержание**

Задание на выпускную квалификационную работу

Реферат

Введение

1. Анализ технического задания
2. Математические модели радиоэлектронных элементов
3. Общие положения
4. Структура элементной базы радиоэлектронных средств
5. Общие характеристики моделей РК
6. Модели ДП
7. Компонентные модели ДП
8. Факторные модели ДП

2.5 Моде ли МП

1. Традиционные способы описания параметров МП
2. Компонентные модели транзисторов
3. Факторные модели

3 Измерительные устройства

1. Измерительные задачи
2. Устройства для измерения двухполюсников
3. Измерение статических параметров
4. Y-устройства для измерения ДП
5. Устройства для измерения МП
6. Структурная схема рабочего места
7. Электрические схемы рабочего места
8. Измерительно-контрольное устройство (ИКУ)
9. Стабилизатор рабочей точки (СРТ)
10. Головки измерительные (ИГ)
11. Обоснование элементной базы
12. Конструкция ИКУ

4 Расчетная часть

1. Расчет площади и габаритов платы ИКУ
2. Расчёт теплового режима блока
3. Расчёт надёжности блока

5 Экспериментальная часть

1. Условия эксперимента
2. Частотные характеристики испытуемых резисторов номиналом

51 Ом

1. Частотные параметры диода
2. Корректированная модель полупроводникового диода

6 Организационно-экономическая часть

1. Организация и планирование опытно-конструкторской разработки рабочего места для измерения двухполюсных и многополюсных радиоэлементов
2. Технико-экономическое обоснование новой конструкции
3. Выбор и обоснование товара-конкурента
4. Анализ технической прогрессивности новой конструкции РЭА

6.2.3 Анализ изменения функциональных возможностей новой РЭА

1. Анализ соответствия новой конструкции РЭА нормативам
2. Выводы о технической, функциональной и нормативной конкурентоспособности ноной конструкции РЭА
3. Образование цены новой конструкции РЭА
4. Образование цены потребления
5. Обеспечение уровня качества нового товара

6.3 Выводы по результатам технико-экономического анализа

7 Безопасность и экологичность

7.1 Безопасность жизнедеятельности при работе с ЭВМ

7.1.1 Анализ вредных факторов

1. Зрительное утомление
2. Напряженный умственный труд
3. Электромагнитное излучение
4. Санитарно-гигиеническое нормирование
5. Инженерный расчет вентиляции
6. Требования по электробезопасности
7. Требования по пожаробезопасности
8. Первичные средства пожаротушения и план эвакуации из помещения при пожаре

7.7 Экологическая экспертная оценка

8 Оценка устойчивости рабочего места для измерения двухполюсных и многополюсных радиоэлементов к воздействию проникающей радиации и ЭМИ ядерного взрыва

1. Методика оценки устойчивости РЭА к воздействию ядерного взрыва
2. Оценка устойчивости рабочего места для измерения параметров радиоэлементов к воздействию ЭМИ ядерного взрыва

Заключение

Список литературы

Приложение А Листинги обработки результатов экспериментов

Приложение Б Спецификации

**Введение**

Включение электронных вычислительных машин (ЭВМ) в цикл проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) выдвинуло на передний план задачи математического описания радиоэлементов (РЭ), составляющих эти РЭА, так как достоверность машинных расчетов параметров РЭА определяется, в первую очередь, достоверностью описания параметров РЭ. Комплексный характер работ в области моделирования РЭА наиболее полно сформулирован Логаном [1], который связал неудачные попытки использования систем автоматизированного проектирования электронной аппаратуры (САПР РЭА) с системным подходом. Такой подход включает:

* разработку математических моделей радиоэлементов;
* проверку адекватности путем сравнения результатов, с характеристиками реализованных устройств радиоэлементов САПР РЭА;
* определение и описание технологических разбросов;
* оценку влияния изменений окружающей среды (температура, влажность, механические воздействия, радиация и т.п.);
* исследование эффектов старения с точки зрения надежности.

Если же при тщательном исследовании пренебрегают хотя бы одним из выше перечисленных аспектов с целью упрощения модели РЭА, то результат моделирования может быть сведён на нет. Например, при оптимизации без учёта климатических факторов или статических параметров.

В теоретической части рассмотрены общие вопросы математического моделирования элементов РЭА, а так же основные требования, предъявляемые к ним. В разделе измерительных устройств более подробно освещены вопросы математической основы измерения статистических и динамических параметров исследуемых элементов.

Осуществлена конструкторская проработка схемы ИКУ.

Особое внимание в дипломном проекте было уделено разработке измерительных головок (ИГ), с учетом их конструктивных особенностей. При этом были приняты во внимание вопросы развития и усовершенствования конструкции. ИГ используются при определении параметров широкого класса радиоэлементов (пассивные и активные двухполюсники, в том числе диоды, биполярные и полевые транзисторы различных структур; и т.д.).

При разработке конструкции использовались методы конструирования ВЧ устройств. Главными критериями оптимизации было оптимальное расположение элементов головки для достижения минимальной длинны соединительных проводников.

В организационно-экономической части рассмотрены вопросы определения трудоёмкости ОКР, договорной цены темы; проведено технико-экономическое обоснование новой конструкции; рассчитана точка безубыточного объёма.

В разделе безопасности жизнедеятельности рассмотрены требования к помещениям, в которых ведётся работа на персональных компьютерах (ПК); вопросы безопасности при непосредственной работе на ПК; уделено внимание вопросам электробезопасности и пожарной безопасности.

Авторами были непосредственно написаны следующие разделы и подразделы:

Астрединов К. Н. - р. 1; п/р. 2.3; п/р. 2.4.2; п/р. 2.5.3; п/р. 3.1; п/р. 3.2; п/р. 3.5.1; п/р. 4.2; р. 5; п/р. 6.3; п/р. 6.2.7, 6.2.8; п/р. 7.1; п/р. 8.1.

Попов В. Т. - р. 1; п/р. 2.1; п/р. 2.4.1; п/р. 2.5.2; п/р. 3.3; п/р. 3.5.2; п/р 3.6; п/р. 4.1; р. 5; п/р. 6.1; п/р. 6.2.5,6.2.6; п/р. 7.5 - 7.7; п/р. 8.2.

Смеляков С. А. - р. 1; п/р. 2.2; п/р. 2.4.1; п/р. 2.5.1; п/р. 3.4; п/р. 3.5.3; п/р. 3.7; п/р. 4.3; р. 5; п/р. 6.2.1 - 6.2.4; п/р. 7.2 - 7.4; п/р 8.1.

Все исполнители дипломного проекта активно занимались выполнением графической части.

**1 Анализ технического задания**

Техническое задание на дипломное проектирование приведено в приложении А.

Из принципиальных схем плат непосредственно следует, что они представляют собой относительно простые устройства, так что особых сложностей при разработке этих плат не представляется.

Параметры измерительных приборов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1- Перечень приборов, входящих в измерительную стойку

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование прибора | Кол-во | Предел измерения;погрешность | Примечание |
| Генератор ВЧ сигнала Г4-116 | 1 | 4-300 Мгц; ± 1%0,5В-0,5мкВ; ± 1% |  |
| Универсальный вольтметр В7-18 | 1 | 0,01-1000В; ± 0,3% |  |
| Векторный вольтметр ФК2-12 | 1 | 0,3-1000мВ;±10%(10-300МГц)0-3600; ±2,50 |  |
| Источник питания Б5-49 | 4 | 0,1-99,9 В; ± 0,1 В1,0-999 мА; ±1 мА |  |

Из характеристик измерительной аппаратуры и блоков питания следует, что диапазон регулировки тока и напряжения в цепях базы и коллектора, а также точность измерений, заданная в техническом задании вполне реализуемы.

Устройство предназначено для работы в стационарных лабораторных условиях, поэтому особые меры для повышения устойчивости к внешним воздействиям не применяются, так же отсутствуют жёсткие требования по массе и габаритам, что позволяет не проводить дополнительные мероприятия

по их уменьшению. Условия эксплуатации согласно первой группе ГОСТ 16019-78 предусматривают работу устройства в стационарной аппаратуре в отапливаемом помещении. Для аппаратуры данной группы определены основные дестабилизирующие факторы согласно [2]:

* воздействие минимальной пониженной температуры 233 К;
* воздействие максимальной пониженной температуры 278 К;
* воздействие минимальной повышенной температуры 313 К;
* - воздействие максимальной повышенной температуры 328 К;
* воздействие повышенной влажности 80% при температуре 298 К;
* воздействие пониженного атмосферного давления 61 кПа при температуре 263 К;
* прочность при синусоидальных вибрациях с частотой 20 Гц и ускорением 19,6 м/с2 в течение времени непрерывного воздействия более 0,5 ч.

При анализе приведённых факторов в соответствии с областью применения устройства, можно сделать вывод о возможности не предпринимать специальных мер по защите от дестабилизирующих влияний этих воздействий.

Корпус устройства выполнен из двустороннего фольгированного стеклотекстолита СФ-2-35-1,5 ГОСТ 10316-78, один слой которого служит экраном от внешних помех.

Так как устройство должно отвечать технологии единичного производства, то в нем должны быть использованы серийные и доступные радиоэлементы, а так же традиционные конструкционные материалы. Жёстких требований к ним в связи с нежёсткими условиями эксплуатации не представляется. Требования к эргономике обычные и связаны только с удобством эксплуатации блока. Требования к надёжности тоже являются обычными для такого вида аппаратуры.

Из изложенного выше следует, что реализация конструкции не связана с какими-либо существенными трудностями.

**2 Математические модели радиоэлектронных элементов 2.1 Общие положения**

Формальную модель многополюсного радиоэлемента (ФММР) представим в виде многополюсника (МП) который содержит множество N внешних полюсов для его электропитания по переменному и постоянному току. В качестве переменных, которые определяют процессы в ФММР, примем входные токи полюсов i1 i2-..in разности потенциалов и дополнительные переменные Xi,X2-..Xq , - по­тенциал базового полюса, относительно которого отсчитывается напряжение, - потенциалы остальных полюсов (рисунок 2.1).

В общем случае процессы в формальном многополюснике (ФМП) можно представить нелинейными дифференциальными уравнениями вида:

 (2.1)

 (2.2)

 (2.3)

где i≠1;

t - время;

I, U - вектор-функции определяемые токами и напряжениями на полюсах;

fi и fp ~ некоторые функции, в общем случае нелинейные;

X - вектор-функция времени с составляющими xi,x2,...Xq , которые связаны с различными физическими величинами в зависимости от принципов построения модели.

Кроме множества N полюсов, структуру ФММР представляет подмножество А полюсов для электропитания по переменному току в процессе преобразования сигналов и под множество S полюсов для электропитания МП по постоянному току для создания рабочего режима.

Связь между множествами A, S и N определяет выражение

A<N, S<N. (2.4)

Пусть а- размер A, a bi - его элемент при i=l,a, s-размер S, Ср его элемент при j=l,s.

В случае ФМП множество полюсов N представляет собой объединение полюсов А и S, т.е.

N=AUS. (2.5)

При этом возможны следующие отношения между A, S и N. Для пассивных устройств:

S=0, A=N. (2.6)

Для устройств постоянного тока, для которых мгновенными измерениями сигналов во времени можно пренебречь

А=0, S=N. (2.7)

Подмножества А и S совпадают (например для транзистора)

A=S=N. (2.8)

Для устройств типа операционного усилителя

AS=N. (2.9)

Полюса А и S изолированы друг от друга (некоторые интегральные схемы)

AS,N=A+S. (2.10)

Условия (2.6)-(2.10) необходимо учитывать как при конкретном применении МП, так и при организации процесса измерения его параметров.

В качестве базового узла ФММР можно выбрать любой из его полюсов и даже объединить несколько полюсов. В этом случае порядок МП понизится на число полюсов принятых в качестве базовых, и его модель принципиально упростится.

С другой стороны базовый узел может быть внешним по отношению к МП, т.е. электрически с МП не связан. В этом случае первый закон Кирхгофа для мгновенных токов, втекающих в N-полюсник, может быть записан в виде

 (2.11)

А линейные устройства будут иметь особенные матрицы параметров, т.е. сумма элементов этих матриц по строкам и столбцам будет равна 0. В этой связи для описания ФММР достаточно идентифицировать N-1 строк и столбцов.

**2.2 Структура элементной базы радиоэлектронных средств**

Элементную базу (ЭБ) РЭС составляет множество различных РК радиокомпонентов, на основе которых производится проектирование. В самом общем случае ЭБ РЭС может быть представлена структурной схемой, показанной на рисунке 2.2.

Согласно схеме на рисунке 2.2 ЭБ РЭС может быть подразделена на двухполюсные (ДП) и многополюсные (МП) РК, которые в свою очередь могут быть представлены пассивными (ПК) и активными (АК) РК. Под ПК будем понимать РК, в процессе функционирования которых не происходит увеличение уровня мощности поступающего на РК за счёт дополнительных источников энергии. Остальные РК будем считать активными.

АК и ПК предлагается разделить на следующие крупные классы:

* дискретные (Д), отличающиеся законченностью конструкции и готовностью к непосредственному применению в сложных РЭС.
* с распределёнными параметрами (Р), принцип действия которых основан на использовании волновых процессов в электромагнитных и акустоэлектронных устройствах.
* акустоэлектронные (А), работающих на основе акустоэлектронных явлений в твёрдом теле.
* функциональные (Ф), предназначенные для глубокой обработки электрических сигналов.
* интегральные (И), полученные по интегральным технологиям.
* гибридные (Г), полученные по смешанным технологиям.

- цифровые (Ц), предназначенные для цифровой обработки сигналов.

Структурная схема (рисунок 2.2), по существу, отвечает классификации ЭБ РЭС, ориентированной на применение РК в САПР.

Разделение РК на ДП и МП достаточно условное. Так, любой ДП в зависимости от способа включения в электрическую схему можно рассматривать как собственно ДП или как МП, а именно четырёхполюсник на рисунке 2.3.

а) вариант включения ДП как собственно ДП; б) как четырёхполюсника; Y - его полная проводимость;

0,1,2 - узлы подключения к схеме. Рисунок 2.3 - Варианты включения ДП

Согласно рисунку 2.За ДП полностью идентифицируется его полной прово­димостью Y. В случае рисунка 2.36 для полного описания четырёхполюсника необходимо использовать его Y- матрицу, коэффициенты которой определяет проводимость Y базового ДП

 (2.12)

Количество полюсов у МП также зависит от способа его включения в электрическую схему, а в пределе, используя определенные комбинации соединения полюсов, МП можно превратить в двухполюсник (рисунок 2.4).

В самом деле, включая в схему транзистор, согласно рисунку 2.4а, его нужно рассматривать как шестиполюсник, в случае рисунка 2.46 - как четырёхполюсник, а при объединении базы с коллектором и соединении эмиттера с общей шиной (рисунок 2.4в) - как ДП. Соответственно необходимо изменить и описание модели транзистора, например, с помощью Y - матрицы. Пусть транзистор, включённый по схеме рисунка 2.4.6 имеет матрицу проводимости

 (2.13)

а) подключение транзистора в рабочую схему как шестиполюсника; б) - четырёхполюсника; в) - двухполюсника; 0,1,2,3 - узлы подключения.

Тогда матрицу Ґ2 транзистора, включённого по рисунку 2.4а можно выразить в виде

 (2.14)

Коэффициенты уц, Уп, У2Ь У22 матрицы Y2 точно соответствуют коэффициентам матрицы Yb а остальные пять коэффициентов определяют по формулам

y13=-y11-y12 (2.15)

 y23=-y21-y22 (2.16)

y31=-y11-y21 (2.17)

y32=-y12-y22. (2.18)

 y33=y11+y12+y22+y21 (2.19)

Наконец, проводимость транзистора, представленного двухполюсником (рисунок 2.4в), рассчитывают по формуле

y=y11+y22+y33 (2.20)

Формулы (2.15)-(2.20) справедливы, если режим транзистора по постоянному току для всех трёх рассмотренных выше случаев идентичен.

При проектировании РК и идентификации его параметров необходимо учиты­вать область действия физических законов, связанных с его функционированием. Особое внимание необходимо уделять электрофизическим законам, которые определяют основные электрические параметры РК. В каждом конкретном случае доминирует одно из электрофизических явлений но также, проявляется влияние и. других\*, паразитных.

Так, в основу функционирования резистора положено явление электрического сопротивления постоянному или переменному току. Однако также в большей или меньшей степени неизбежно проявляется влияние электрического и магнитного по­лей, существенным образом увеличивающееся с ростом частоты. Магнитные и элек­трические эффекты резистора моделируют посредством индуктивности и ёмкости. В этой связи модель резистора с увеличением частоты усложняют (рисунок 2.5), ис­пользуя на ВЧ и СВЧ диапазонах многоэлементные эквивалентные схемы [3,4].

Эквивалентные схемы, в отличие от обычных, содержат элементы (паразитные индуктивности и емкости, сопротивления потерь, h-n переходы), которые обозначаются как традиционные дискретные элементы, но имеют только чисто физический смысл.

На рисунке 2.5а показана обычная модель резистора. Компонентная модель резистора на ВЧ (рисунок 2.56) отражает основные физические явления, которые проявляются в процессе реальной работы резистора.

G)Ln « R ,

-~-« \* , (2.21)

шС п

где со - угловая частота;

Ln - паразитная индуктивность; Сп - паразитная ёмкость; R - сопротивление,

При условиях (2.21) влиянием параметров Ln и Сп можно пренебречь, а при расчётах рационально использовать более простую модель (рисунок 2.5а). Однако, если размеры резистора соизмеримы с длиной волны

Л = -у, (2.22)

где с - скорость света; f — рабочая частота,

то необходимо учитывать волновые эффекты. Это достигается путём перехода к более сложной многосекционной модели, показанной на рисунке 2.5в. Каждая секция из четырёх элементов моделирует отрезок lR/n резистора, где 1R - максимальный из размеров резистора, п - число секций, выбранное таким образом, чтобы выполнить условие

^- « Я . (2.23)

В этом случае (рисунок 2.5в) сопротивление каждой секции равно R/n, а параметры: собственная ёмкость секции qj, собственная индуктивность секции Lci и ёмкость секции относительно общей шины Cj - определяются конструкцией резистора и его расположением относительно общей шины.

Количество МП можно считать практически безграничным, так как МП проектируется на основе ДП, а каждому реальному МП отвечает определённый способ соединения составляющих его ДП.

**2.3 Общие характеристики моделей РК**

Под моделью РК будем понимать любое математическое описание РК, отражающее с требуемой точностью его поведение в реальных условиях.

Если РК является элементом электронной схемы, то его моделью будем называть математическое описание связей между токами и напряжениями, возникающими между его полюсами в статическом и динамическом режимах работы. В частности моделями могут быть уравнения вольтамперных характеристик (ВАХ), дифференциальные уравнения переходных процессов, частотные характеристики и т.п. [5,6].

Математическую модель РК можно рассматривать как некоторый оператор, ставящий в соответствие системе внутренних параметров хь ... , хп совокупность связанных между собой внешних параметров уь ... , уп. Вид функциональной связи зависит от принципа действия РК, а содержание "внешних" и "внутренних" параметров РК определяет его физическая сущность и способ использования.

Так для моделей РК внешними параметрами являются токи и напряжения, так как преобладающим методом расчёта электрических схем является расчёт по токам и напряжениям [6].

Внутренними параметрами модели РК могут быть его электрические, электрофизические или конструктивно-технологические параметры.

Электрическими будем считать параметры, определяемые только при электрических измерениях (коэффициенты усиления, крутизна, входное и выходное сопротивления и т.п.). В некоторых случаях это параметры "чёрного ящика", которым трудно придать физический смысл. Электрические параметры, как правило, являются функциями электрофизических и конструктивно - технологических параметров, которые можно считать первичными параметрами, а электрические - вторичными.

При расчёте интегральных схем (ИС) важное значение имеет учёт первичных параметров с точки зрения оптимизации процесса изготовления ИС.

При расчётах электронных схем, спроектированных на основе готовых конструктивно завершённых компонентов, что характерно для предприятий сборщиков радиоэлектронных средств (РЭС), достаточно владеть информацией только о внешних параметрах РК. По сути дела внешние параметры РК при этом выполняют функцию внутренних параметров проектируемого изделия.

Достаточно убедительная классификация моделей РК, приведённая в [6], отражена на структурной схеме (рисунок 2.6).

Статические модели отражают только связь между постоянными токами и напряжениями, тогда как динамические учитывают частотные или временные зависимости параметров РК, возникающими из-за влияния внутренних индуктивностей и ёмкостей РК.

По способу представления модели могут быть заданы аналитически в виде переходов систем математических уравнений, графически в виде эквивалентных схем. Параметра этих моделей выражают в виде таблиц коэффициентов соответствующих систем уравнений и номиналов элементов эквивалентных схем.

Отсюда следуют понятия аналитических, графических и табличных моделей. Такое разделение нужно считать условным. На практике, как правило, широко используют комплексные модели РК. Например, на графических моделях типа эквивалентных схем для описания нелинейных элементов широко используют аналитические зависимости, а обработка данных табличных моделей производится математическими методами по специально разработанных алгоритмам.

Аналитические статические модели РК представляют обычно в виде явных зависимостей токов и напряжений, выраженных в виде уравнений ВАХ.

Динамические модели удобно представлять в неявном виде в форме дифференциальных уравнений [6].

Графическую статическую модель можно представить в форме графиков ВАХ или в форме статической эквивалентной схемы. Графики ВАХ не позволяют их непосредственное использование, так как для их ввода в ЭВМ необходимы преобразования в цифровую форму. Однако эти графики можно представить в виде компактных табличных функций, которые при расчетах или подготовки к ним обрабатываются специальными подпрограммами для получения аналитических функций. С другой стороны, эквивалентная схема требует дополнительного описания в виде аналитических зависимостей между токами и напряжениями нелинейных элементов, входящих в состав этой схемы. Эквивалентная схема удобна для анализа функционирования РК, моделируемого этой схемой, а для расчёта РЭС более удобна соответствующая ей аналитическая макромодель, в которую включено математическое описание тех её элементов, параметры которых зависят от статического режима [6].

Табличные модели представляют собой таблицы соответствующих графиков ВАХ, полученных экспериментальным путём. Для получения таких таблиц целесообразно использовать теорию методов планирования эксперимента [6].

На практике любую из рассматриваемых моделей оформляют в виде библиотечной подпрограммы, задав алгоритм вычисления требуемых для анализа параметров РЭС по данным аналитических или графических моделей.

Современное развитие ЭВМ и измерительной техники позволяет среди аналитических и графических моделей выделить класс алгоритмических моделей [6], которые характерны тем, что вследствие сложности связей между токами и напряжениями рассчитывать их можно только численными методами, задав алгоритм, метод вычислений. По существу это цифровые модели, которые реализуются в виде подпрограмм, обрабатывающих экспериментальные данные на этапе подготовки данных или во время расчёта РЭС.

Именно такой подход реализован в пакете программ PSpice, где библиотека моделей (БМ) представляет собой таблицы исходных данных для расчёта цифровых аналитических макромоделей (ДАМ). Для повышения точности расчёта каждая ЦАМ может быть уточнена путём ввода дополнительных или уточнённых данных для конкретного статического режима или участка частотного диапазона [10].

Основные требования к моделям достаточно полно сформулированы в работе [6], а инженерные аспекты их применения, в работах [8,9].

Применительно к САПР электронных схем (ЭС) требования к моделям РК определяют следующие факторы:

- точность (адекватность) соответствия ЦАМ РК реальному образцу РК, которую обычно определяют по степени совпадения параметров ЦАМ и реального РК. Для оценки точности можно использовать или относительное отклонение параметра в рабочем диапазоне частот и режимов электропитания по постоянному и переменному току

О всей схемы. Так, точность машинного расчёта свободно доводится до 10" -10" %, а точность модели в лучшем случае составляет несколько процентов. Таким образом, точность расчёта электрической схемы РЭС практически определяется точностью модели.

Требования к точности модели РК зависят от типа и назначения РЭС. Использование во всех случаях наиболее точных моделей может привести к резкому увеличению времени расчёта, так как обычно чем точнее модель, тем она сложнее. Поэтому для одного и того же РК целесообразно иметь набор моделей, например для резистора такой набор показан на рисунке 2.5. Целесообразность применения каждой из моделей должна быть обсуждена при анализе эквивалентных схем;

* измерительные комплексы для проверки моделей РК на соответствие их параметров паспортным данным, корректировки моделей для режимов, выходящих за рамки паспортных данных с целью возможности расширения области применения конкретного РК, измерения параметров моделей новых РК;
* определение и описание вероятностных характеристик параметров моделей РК. Это требование непосредственно связано с двумя вышеизложенными. Во-первых, точность модели непосредственно связана с вероятностными характеристиками её параметров, так как не имеет смысла достигать точность определения параметров существенно выше, чем разброс этих параметров, во-вторых, получение достоверных вероятностных характеристик модели;
* оценка влияния окружающей среды (температура, влажность и т.п.) для решения задач реального поведения исследуемого РЭС;
* оценка эффектов старения, чтобы получить сведения о надёжности проектируемого изделия, так как без таких оценок может потеряться сам смысл машинного проектирования;
* непрерывность модели, под которой понимают справедливость одной и той же модели для всех режимов работы РК. Непрерывная аналитическая макромодель описывается одним аналитическим выражением, непрерывная графическая модель одной и той же эквивалентной схемой для всех режимов работы РК. В противоположность "кусочная" модель описывается набором формул, каждая из которых соответствует одному из возможных режимов работы РК. Непрерывная модель значительно упрощает программу расчётов, но усложняет процесс её разработки;
* обусловленность модели, под которой понимают малое влияние относительных ошибок расчёта или измерения на измеряемую величину, а также возможность расчёта или измерения самих аргументов модели РК с малой относительной ошибкой. Так, модель транзистора плохо обусловлена, если её аргументом служит напряжение ибэ и хорошо обусловлена, если аргументом служит 1б> так как этот ток можно измерить или рассчитать с меньшей относительной ошибкой, чем напряжение ибэ- Здесь параметры модели сопоставимы с точностью измерений;
* простота модели, так как простая модель более предпочтительна в отношении сокращения времени вычислений.

**2.4 Модели ДП**

**2.4.1 Компонентные модели ДП**

ДП представляют собой широкий класс РК, который в самом общем случае можно подразделить на пассивные линейные (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности), нелинейные пассивные (обычные диоды, варисторы, варикапы и т.п.), активные (туннельные диоды, диоды Ганна) и специального назначения (терморезисторы,, тензорезисторы, фоторезсторы, фотодиоды, светодиоды, LC-структуры и т.п.). Особое положение ДП как компонентов РЭС заключается в том, что на их основе моделируют сложные устройства, в том числе и модели более сложных РК. В этой связи адекватное описание моделей ДП имеет определяющее значение.

Модели двухполюсников подразделяют на компонентные в виде эквивалентных схем и факторные [8] аналитические макромодели в виде системы уравнений. Компонентные модели имеют относительно ограниченное применение. К ним относятся R, L, С. компоненты, в которых не учитывают паразитные параметры. Это встроенные модели, номиналы которых задаёт пользователь.

Остальные аналоговые РК, в том числе R, L, С на высоких частотах, рассматривают в виде компонентных (R, L, С) или аналитических (диод, магнитный сердечник) макромоделей. Основой компонентной модели является эквивалентная схема РК, элементы которой определяют физические процессы, проходящие в конкретном РК. При таком моделировании основная проблема заключается в точном определении значений элементов эквивалентной схемы.

Развитие модели резистора в область высоких частот показано на рисунке 2.5, из которого очевидно весьма существенное усложнение модели при переходе в область СВЧ диапазона. Модели конденсатора и кварцевого резонатора также могут, представлены в виде компонентных.

Компонентная модель высокочастотного конденсатора приведена на рисунке 2.7.

Частоты fnocjt последовательного и fnap параллельного резонансов рассчитываются по формулам

При расчёте модели учитывают также (xl температурный коэффициент экви­валентной индуктивности кварцевого резонатора (КР). Остальные параметры (Q, rk, Ck) определяются только типом резонатора и не зависят от частоты.

Типичным представителем нелинейного пассивного ДП является полупроводниковый диод, компонентная схема которого в системе Pspice приведена на рисунке 2.9, где R - объёмное сопротивление; С - ёмкость р-n перехода; I(U) - ток р-n пере­хода; Ud - падение напряжения на диоде; U - парение напряжения на р-n переходе.

Зависимость I(U), определяющая ВАХ диода рассматривают по методике, предложенной Эберсом-Моллом [6] в прямом направлении по формуле

Емкость C(U) рассматривают как функцию напряжения на р-n переходе и представляют в виде суммы барьерной Сб и диффузионной СДИф составляющих

с(и)=С6 + Сдиф, (2.30)

( \~М

C6(U) = CG- 1-— npHU<Fc'Uk ; (2.31)

V Uk )

С,аф(и) = С0-(\-Рс)-(им}- l-Fc(\ + M)+^- npHU>Fc-Uk , (2.32)

U k

где М - коэффициент лавинного размножения;

Fc — коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещённого перехода.

Модель также учитывает явление пробоя и температурные зависимости семи параметров:

Is - тока насыщения;

Tsr - параметра рекомбинации;

Ikf- предельного тока при высоком уровне инжекции;

Ви - обратного напряжения пробоя;

Rs - объёмное сопротивление;

Uk - контактной разности потенциалов;

Со - барьерной ёмкости при нулевом смещении перехода.

Однако в реальных моделях пользователю представляется возможным учитывать только температурную зависимость параметра Is [8]. Остальные температурные зависимости не учитывают, обнуляя по умолчанию соответствующие температурные коэффициенты.

Линейная модель диода, представляющая собой линейную схему замещения в рабочей точке, показана на рисунке 2.10, где: R - объёмное сопротивление; С(Ц) -ёмкость р-п перехода в i- ой рабочей точке; Uj - напряжения на р-n переходе в i- ой рабочей точке; 1,2 - узлы подключения.

Диффузионная проводимость диода в рабочей точке, рассчитывается по формуле:

G = d(KJl)ldU , (2.33)

где kj - коэффициент инжекции.

В модели также предусмотрен учёт шумовых свойств диода при включении источников шума по схеме рисунка 2.11, где ток 1ШГ характеризует тепловой шум, а ток 1щд дробовой и фликер шумы диода.

В рассмотренной модели диода предусмотрено описание её посредством 29 параметров, однако, базовая модель представляемая пользователю содержит только 10 из них [8].

Вопросы о целесообразности такого "усечения" модели не обсуждаются. Эта модель соответствует моделям, используемым на первых этапах развития САПР. Например, в [7] рассмотрена аналогичная макромодель диода, для описания которой используется также 10 параметров. На наш взгляд такое "усечение" модели связано со сложностью аттестации параметров полных моделей. Из анализа "усечённых" моделей совершенно ясно, что принятые за основу этих моделей 10 параметров мо­гут быть аттестованы по паспортным данным диодов, другими словами, при исключении дополнительных измерений, необходимых для аттестации полной версии модели.

С другой стороны, при описании ВАХ по Эберсу-Моллу за основу выбирают структуру идеального р-n перехода, в котором прямая ветвь описывается экспонентой, а обратная монотонной функцией. Однако реальные р-n переходы имеют более сложную структуру. Так согласно сведениям, приведённым в [И] прямая ветвь ВАХ диода может содержать 5 участков, связанных с различными механизмами образования тока, некоторые из которых обусловлены нарушением условий на границах базы с омическим переходом.

В книге [12] показано, что отличие прямой ветви ВАХ р-n перехода от идеальной, а также характер неоднородностей его обратной ветви могут служить критериями надёжности прибора. Также в анализируемой модели [8] не отражены статистические характеристики параметров.

Встроенная макромодель магнитного сердечника [8] отражает известные представления о движении доменных грани магнитного материала и даёт возможность выразить все основные характеристики гистерезиса, такие как кривая начальной намагниченности, намагниченность насыщения, коэрцитивная сила, остаточная намагниченность.

Базовая модель формируется на основании 10 параметров, из них четыре представляют собой геометрические параметры. Предусмотрено два уровня моделирования, причём модель первого уровня формируется на основе семи параметров.

В основе математического описания статического режима положено уравнение безгистерезисной кривой намагничивания

В модели предусмотрен учёт влияния воздушного зазора, определение свойств сердечника и их аттестация по экспериментальным данным.

Макромодели высокочастотных резисторов и конденсаторов определяют по эквивалентной схеме рисунок 2.5.

Недостаток моделей рисунка 2.5 заключается в том, что в ряде случаев существует значительная частотная зависимость параметров R для рисунка 2.56 и Rn. Поэтому использование данных моделей без учёта частотных зависимостей, указанных в них элементов, может привести к увеличению погрешности расчёта.

Компонентная модель нелинейной ёмкости в PSpice представляется в виде произведения эталонной ёмкости С0 и Uin управляющего напряжения

C = C0Um. (2.37)

Графическое представление этой макромодели показано на рисунке 2.12, где внутренняя структура из элементов UH, Us, и С0 представляет собой блок, a Un+ напряжение на ёмкости Со, 1Г - ток через источник Us. Здесь закон изменения ёмкости задаётся напряжением Uin.

а) схемное обозначение; б) макромодель; в) схема замещения макромодели Рисунок 2.12 - Макромодель нелинейной ёмкости

В PSpice аналогичным образом моделируют нелинейные резисторы и катушки индуктивности.

Рассмотренные нелинейные модели системы PSpice имеют следующие недостатки:

- сложны по структуре;

- содержат до двух режимно-зависимых элементов, для идентификации ко­торых использовать математические уравнения, формируемые по экспериментальным данным;

- 3) развитие таких моделей с целью повышения точности связано с резким повышением трудоемкости расчетных операций и увеличения числа узлов эквивалентной схемы и порядка аппроксимирующих уравнений.

**2.4.2 Факторные модели ДП**

В этом случае ДП представляют в виде "черного ящика" (рисунок 2.13), электрические параметры которого определяет система уравнений. Каждое из уравнений, выбранной системы, выражает зависимость выходного электрического от соответствующего фактора. В качестве выходного параметра, как правило, выбирают полную проводимость. Тогда уравнение можно записать в виде

Y = (X), (2.38)

где Y- полная проводимость ДП;

Х= [Xl,X2,...,Xi,...,Xn]-вектор факторов;.

п - количество факторов.

Факторами могут служить частота f, напряжение U или ток I смещения рабочей точки, температура Т окружающей среды и т .п.

Из анализа факторной модели ДП представленной формулой (2.38) следует:

- ее рациональность - при включения в электрическую схему добавляют всего один всего один узел;

- возможность определять работоспособность ДК по выходным параметрам в процессе их экспериментального определения.

Таким образом, в практической электронике, связанной с проектированием РЭС, преимущества факторной модели очевидны. С другой стороны, по параметрам факторной модели всегда можно определить компонентную модель.

**2.5 Модели МП**

**2.5.1 Традиционные способы описания параметров МП**

Описание моделей, как правило, производят с помощью эквивалентных схем - компонентная модель, с помощь матрицы - формальная модель.

Компонентную модель формируют на основе линейных и нелинейных ДП. Такие модели целесообразны для описания активных элементов, например транзисторов, когда применяемые в модели ДП имеют чисто физический смысл.

Формальная модель представляет собой матрицу коэффициентов, которая определяет связь между входными и выходными параметрами МП: токами и напряжениями или падающими и отраженными волнами. Для моделирования МП применяют матрицы Y проводимости, Z сопротивления, А передачи, Н гибридную, S волновую матрицу рассеяния, Т волновую матрицу передачи. Для всех входных и выходных параметров используют следующие матричные уравнения:

I = Y U ; U = Z 1; hi - A d2: hi = Н h2; b = S a: a = Т b, (2.39)

где I = [ Il,...,Ii,...,In ] - вектор столбец токов:

U= [ Ul,...,Ui,...,Un ] - вектор столбец напряжений;

hl= [ U 1,12] - вектор столбец входных параметров;

h2= [ 11 ,U2] - вектор столбец входных параметров;

dl= fUl,Il] - вектор столбец входных параметров;

d2= [ЧЛД1] - вектор столбец входных параметров;

а = [ al,... ,ai,... ,ап]- вектор столбец падающих волн;

b = [ ] - вектор столбец отраженных волн.

i - текущий индекс параметра;

п - размер матрицы.

Все матрицы можно пересчитать из одной в другую при одинаковых их размерах. На практике наиболее часто при анализе МП применяют Y-, Z- , S- и Т-матрицы, а при анализе четырехполюсников, кроме перечисленных, гибридные. А- и Н-матрицы.

Рассмотрим свойства этих матриц. Линейные динамические параметры многополюсника выражают связь токов и напряжений, которые вырабатываются на его входах-полюсах при подключении их к внешним электрическим цепям. Рассмотрим многополюсник (рисунок 2.13) с числом полюсов п, в котором определены токи Ij и напряжение Uj для каждого i-ro входа. Напряжения Uj приложены между зажимами 1-го входа, один из которых представляет общую для входов-полюсов шину. Все токи Ij направлены к многополюснику, а напряжения Us - от активного зажима к общей нулевой шине.

Пусть совокупность полюсных токов представляет вектор столбец I полюсных токов, а совокупность полюсных напряжений - вектор столбец U полюсных напряжений

I=Pr..,L,...In]T, (2.40)

U=[U1,...,Ui,...Un]T. (2.41)

Если считать Uj значения элементов вектора U заданными, значения Ij элемен­тов вектора I искомыми, то Ii можно рассматривать как линейную комбинацию Ub U2,-, Un, т.е.

Тогда компоненты вектора I могут быть выражены в виде системы уравнений

I = YU, (2.45)

где Y - матрица проводимостей.

F

Если теперь считать Ij заданными величинами, а Ц искомыми, то по тем же соображениям U; значение вектора U можно рассматривать как линейную комбина­цию 1Ь I2,...,In, т.е.

Из уравнения (2.46) после несложных рассуждений приходим к матричному уравнению, связывающему компоненты векторов U и I в виде:

U = Z-I, (2.47)

где Z - матрица сопротивлений по форме аналогичная матрице Y.

В САПР электронных схем матрицы Y радиокомпонентов или отдельных схем имеют исключительное значение, так как содержат информацию для расчета электрических схем общепринятым методом узловых потенциалов.

Матрицы Z используются для расчета цепей методом контурных токов. Они находят меньшее применение. Матрицы Y и Z связаны друг с другом уравнением

Y - Z"1, (2.48)

где -1 - знак обращения матрицы..

Y и Z - матрицы РК могут быть определены по параметрам эквивалентных схем или путем непосредственного их измерения.

Прямой метод определения Y - матриц производят путем измерения их коэффициентов при реализации опытов короткого замыкания полюсов. Для этого, например, к полюсу i прикладывают напряжение Ц, а остальные полюсы замыкают попарно с общей шиной. Поэтому все напряжения Uj при j i будут равны нулю, а система уравнений (2.46) трансформируется к виду:

Из системы уравнений (2.49) вытекает, что диагональный элемент уц будет определен в виде

Из уравнения (2.50) также следует, что диагональные у и коэффициенты матрицы Y представляют собой входную проводимость многополюсника со стороны полюса i при коротком замыкании остальных полюсов (рисунок 2.14). Таким образом, коэффициент ун может быть определен с помощью измерителя полных проводимостей без каких-либо существенных трудностей.

Из формулы (2.51) также видно, что для определения недиагонального коэффициента Y - матрицы необходимо измерить модуль и фазу переменного тока очередного полюса], который коротко замкнут. Высокочастотные измерители модуля и фазы переменного тока промышленностью не выпускаются. Идентификация таких токов с помощью активных сопротивлений путем измерения модуля и разности фаз переменного напряжения, выделяющегося на этом сопротивлении, не позволяет полностью реализовать опыт короткого замыкания и тем самым приводит к нарушению условий эксперимента.

С другой стороны, в ряде случаев опыты короткого замыкания на выходах реальных многополюсных компонентов могут также привести к искажениям, например, из-за того, что при коротком замыкании выходного полюса режим измеряемого РК принудительно нарушается или вообще не допустим.

Попытка получить более удовлетворительные результаты путем реализации процесса измерения элементов Z-матриц при опытах холостого хода с последующим расчетом Y-матриц по формуле (2.48) нереальна, т.к. в этом случае при измерении на высоких частотах будет существенно проявляться шунтирующее действие входных цепей измерительного прибора, а также в некоторых случаях - цепей электропитания по постоянному току.

В режиме холостого хода многополюсник на рисунке 2.14 преобразуется в многополюсник, показанный на рисунке 2.15.

В режиме холостого хода все токи Ij при j=i, будут равны нулю, а развернутая система уравнений (2.49) трансформируется к виду

u.i-z..l,

1 hi

и. =z..i..

i и i

(2-52)

u. = z..i.

j ji i

U = z L.

n m i

Из системы уравнений (2.52) непосредственно получаем формулы для расчета диагональных элементов Z - матрицы

Из формул (2.53) и (2.54) видно, что диагональные zh коэффициенты Z - матрицы представляют собой входное сопротивление многополюсника со стороны полюса i при холостом ходе остальных полюсов (рисунок 2.15). Этот коэффициент может быть определен с помощью измерителя полных сопротивлений. Однако определение недиагональных Zjj коэффициентов на высоких частотах проблематично, во-первых, из-за сложности определения тока I;, во-вторых, из-за неизбежного искажения информации при измерении напряжений Ц при j i, которое возникает из-за шунтирующего действия входной цепи измерительного прибора.

Кроме того, в реальных устройствах режим холостого хода, во-первых, не используется и, во-вторых, может быть не реализуемым, например, из-за возникновения самовозбуждения измеряемого многополюсника (для активных многополюсников).

Рассмотрим определение матриц рассеяния. Физической основой S-параметров являются энергетические отношения между многополюсником и устройствами, подключенными к его входам-полюсам [2, 4]. S-параметры многополюсника позволяют определить обмен энергией между многополюсником, источниками энергии и нагрузками, подключенными к его входам. Аналитическое описание процессов производится посредством векторов падающих а волн, направленных к многополюснику, и отраженных b волн, направленных от него (рисунок 2.16). Волны а и b нормированы таким образом, чтобы выполнялся принцип инвариантности мощности. Поэтому размерность каждой из составляющих векторов а и b выражается в виде корня квадратного уравнения из мощности - (Вт)'/2 . Связь между векторами а и b определяется матрицей рассеяния S, причем матричное уравнение имеет вид

b = Sa . (2.55)

Для линейных активных и пассивных многополюсников существует однозначная аналитическая связь между S-матрицей и матрицами проводимости Y, сопротивления Z и гибридными матрицами. Элементы матриц Y,Z,H, рассчитанные через S-матрицу должны быть при этом также нормированы. В важном для практики случае нормированная Y — матрица связывает вектор нормированных токов I с вектором нормированных напряжений UH.

Чтобы сохранить принцип инвариантности мощности размерность составляющих векторов UH и 1Н должна отвечать корню квадратному из мощности, что достигается выбором в качестве нормирующего множителя сопротивления определенной величины. Это сопротивление в реальных условиях моделирует или волновое сопротивление линии передачи, подключаемой к i-тому полюсу или же номинал резистивной нагрузки этого же полюса. В общем случае выбор значения нормирующего сопротивления произволен[43]. На практике значение нормирующего сопротивления ri для i-полюса выбирают так, чтобы осуществлялся режим передачи наибольшей мощности от источников энергии к многополюснику и от многополюсника к нагрузкам, моделируемых резисторами номиналом rj (режим согласования). Соблюдая принцип инвариантности мощности, нормированные токи и напряжения на входах-полюсах многополюсника вычисляем по правилам

Компоненты векторов а, Ь, 1(1) и UH(U) в общем случае имеют комплексный характер.

Чтобы адекватно установить связь между нормированными S- и Y-матрицами, необходимо выполнить условия

Уравнения (2.62) и (2.63) имеют важное значение, так как они позволяют, если это возможно, по результатам измерения абсолютных значений комплексных токов и напряжений Is и Ц вычислить необходимые для определения коэффициентов S-матрицы значения нормированных волн ai и bj.

Матричное уравнение связи векторов I и U имеет вид [3]

I - YU, (2.64)

где Y - матрица проводимости многополюсника.

Решая уравнение (2.64), для нормированных векторов I и U относительно векторов а и b с учетом уравнений (2.58) - (2.63), после несложных преобразований получаем матричное уравнение, определяющее зависимость между нормированной матрицей проводимости YH и матрицей рассеяния S

YH = (1-S)(1 +S)\*, (2.65)

где 1 - единичная матрица.

Таким образом, матрицу YH можно вычислить по известной S - матрице, коэффициенты которой можно определить по результатам измерения токов и напряжений на входах многополюсника, предварительно вычислив значения падающих и отраженных волн по формулам (2.63) и (2.64).

Основное преимущество идентификации матрицы YH по известной матрице S заключается в том, что определение информации, необходимой для идентификации коэффициентов S матрицы может быть произведено при подключении к входам многополюсника активных конечных или комплексных реактивных нагрузок [4, 2, 36, 48], тогда как способы экспериментального определения коэффициентов матри­цы Y , связанные с реализацией опытов короткого замыкания, которые, например, при измерении активных МП, выполнить сложно или вообще невозможно. Кроме того, при прямых способах измерения коэффициентов Y-матрицы необходимо определять значения токов и значения напряжений на входах многополюсника, тогда как осуществить измерение токов на высоких и сверхвысоких частотах практически невозможно.

Методика измерений, широко используемая при идентификации коэф­фициентов S-матриц СВЧ устройств [4] предусматривает следующие действия. МП включают в согласованный СВЧ тракт, идеальный СВЧ тракт, в котором отсутствуют или практически несущественны, отражения волн от согласованных нагрузок и источников сигналов. Разделение волн на падающие и отраженные с целью определения их значений производится с помощью устройств типа направленных ответвителей энергии.

Эквивалентная схема измерительной цепи для случая без применения устройств разделения падающих и отраженных волн может быть сведена к схеме, показанному на рисунке 2.17. Сущность методика измерения коэффициентов S-матрицы вытекает из анализа развернутой формы матричного уравнения (2.49) относительно входов исследуемого многополюсника i и j

Так как для случая рисунка 2.17 все падающие волны aj (j^i) равны нулю ввиду того, что все волны bj (j=Јi) поглощаются нагрузочными резисторами, то уравнение (2.69) можно записать в виде

Из уравнения (2.67) непосредственно находим выражения для определения 8„ диагональных и Sjj недиагональных коэффициентов S-матрицы

Из уравнений (2.58) устанавливаем, что для определения коэффициентов S-матрицы достаточно знать только отношение значений падающих и отраженных волн, что является основным преимуществом метода.

На более низких, чем СВЧ, частотах применить устройства, позволяющие разделить падающие и отраженные волны, практически не представляется возможным. Поэтому имеется потребность модификации методики измерения.

Гибридные, а именно Н-параметры, также являются системными параметрами и могут быть рассчитаны по известным Y- или Z-матрицам. Наиболее широкое применение получили Н-параметры транзисторов, представляемых в виде четырехполюсников [5]. Коэффициенты Н-матрицы определяют при холостом ходе на его входе и коротком замыкании на его выходе.

**2.5.2 Компонентные модели транзисторов**

Компонентные модели транзисторов традиционно применяют в САПР электронных схем и при разработке самих транзисторов. В системе Picpis на частотах до 100 МГц применяют универсальные модели.

К ним относятся модели для случая "большого" сигнала: биполярных транзисторов (БТ), арсенид-галлиевых и МОП - транзисторы. Модели сепарабельные, то есть малосигнальную макромодель формируют на основе модели для большого сигнала.

К достоинствам таких моделей можно отнести:

* возможность аттестации их параметров по справочным данным.
* сепарабельность.
* возможность построения ряда моделей для одного транзистора, отличающихся друг от друга уровнем сложности.

В основу модели БТ положены идеи, выдвинутые Эберсом и Моллом и развитые для случая передаточной модели Логаном [9,10] или зарядовой модели Гумме-лем - Пуном [13]. Полная встроенная модель представляется в виде адаптированной модели Гуммеля - Пуна, которая по сравнению с исходной моделью позволяет учесть эффекты, возникающие при больших смещениях на переходах. Эта модель автоматически упрощается до более простой модели Эберса - Молла в версии Лога-на, если опустить некоторые параметры. Эквивалентная схема модели транзистора согласно [8] приведена на рисунке 2.19.

Всего аттестуется 55 параметров из них для описания модели Эберса - Молла достаточно использовать 49 параметров, задав 10 параметров, необходимых для описания модели Гуммеля - Пуна по умолчанию.

Всего по умолчанию могут быть заданы 54 параметра, что представляет пользователю широкий манёвр при формировании рабочих моделей.

Модель позволяет производить учёт температурных зависимостей параметров, путём аттестации 10 температурных коэффициентов и задания их области определения (четыре значения температуры и отношений температур). В числе аттестуемых параметров 10 температурных коэффициентов, однако, в доступных пользователю моделях используется только один из них [8].

Рассмотрим модель по Эберсу - Моллу, эквивалентная схема которой представлена на рисунке 2.20. В этом случае в качестве основных токов используются токи, собираемые р-n переходами и моделируемые генераторами тока. Ток 1П (прямой ток), который передаётся из эмиттера в базу и собирается коллектором, описывается выражением

Аналогично записывается выражение для тока Ij, который передаётся из коллектора через базу в эмиттер в инверсном режиме

Диффузионные ёмкости Сэ диф эмиттерного и Ск ДИф коллекторного переходов, согласно рисунку 2.20 подключены параллельно переходам эмитер-база и коллектор-база и рассчитываются по формулам

Постоянные времени тп и ts характеризуют инерционность процессов передачи зарядов не основных носителей от одного перехода к другому. Барьерная ёмкость не линейно зависит от обратного напряжения перехода и приближённо описывается выражением

В ряде случаев модель Эберса - Молла учитывает сопротивление диффузионных областей и сопротивление утечки обратносмещённых р-n переходов, токовые и частотные зависимости коэффициентов по току, модуляцию ширины базы, лавинное умножение носителей в р-n переходе, влияние внешних воздействующих факторов (температуры, радиации и т.д.).

Сопротивление диффузионных областей и утечки включают в эквивалентную схему, а остальные эффекты учитывают с помощью аппроксимирующих зависимостей.

При работе транзистора в режиме "большого" сигнала имеет место сильная нелинейная зависимость коэффициентов рп и pi от напряжений U3 и UK. Иногда для выражения зависимости этих коэффициентов от соответствующих напряжений используют степенной ряд [14]

А, = \*о + аУэ + aJJ] + азиээ ; (2.75)

Д. = а0 + alUk + a2U2k + a3U3k. (2.76)

Известны и более сложные формулы, чем выражения (2.75), (2.76). Однако в моделях пакета PSpice ограничились случаем [8]:

Зп = const ; (2.77)

pt = const , (2.78)

то есть влияние напряжения Uk на ВАХ транзистора не учтено, что существенно ограничивает возможности модели.

Температурная зависимость устанавливается для 16 параметров модели БТ [8]. В первую очередь для токов насыщения эмиттера, коллектора и подложки для прямого и инверсного режимов, максимального коэффициента усиления тока в схеме с общим эмиттером, объёмных сопротивлений эмиттера, базы и коллектора и др. Но в доступных пользователю моделях аттестован только температурный коэффи­циент для токов насыщения. Остальные устанавливаются по умолчанию. В других моделях [6] даже эти параметры не аттестуются. Мало того принято равенство из ранних работ Логана [9,10]

На практике в программе PSpice доступные пользователю модели существенно "усечены" за счёт исключения из базовой модели температурных коэффициентов. Всего в такой модели Эберса - Молла из 49 параметров, согласно [8] аттестовано 27. Потери информации при таких упрощениях модели БТ в литературе не обсуждаются. Линейная схема замещения БТ, сепарабельная схеме рисунка 2.20, приведена на рисунке 2.21. Здесь Кб, R3, RK - объемные сопротивления базы, эмиттера и коллекто­ра соответственно; Обэ - проводимость перехода база-коллектор; Обк - проводимость перехода база-коллектор; G0 - проводимость коллектор-эмиттер; Сбэ - емкость перехода база-эмиттер; Сэк- емкость перехода коллектор-эмиттер; Сбк- емкость перехода коллектор-база; Вг - максимальный коэффициент усиления в нормальном и инверсном режимах соответственно.

Сепарабельность линеализиованной модели заключается в том, что её параметры R, Сбэ, Свх, Сбс рассчитываются по параметрам модели Эберса - Молла рисунка 2.20 после расчёта режима транзистора по постоянному току. При использовании модели рисунка 2.21 возможно определить тепловые шумы, вызванные флюктуационными токами, проходящими через сопротивления Rg, R3 и RK.

Обращаем внимание на тот факт, что в некоторых источниках вообще не рассматриваются статические модели БТ типа Гуммеля - Пуна и Эберса - Молла [9,10,13], отдавая предпочтение моделям, выраженным в виде ВАХ. С другой стороны, вместо сепарабельных малосигнальных моделей БТ предлагают использовать достаточно широкий круг моделей в виде эквивалентных схем, каждая из которых отражает особенности её применения БТ или удобство статистических моделей [25-35]. определения её параметров [5,7,11,14] или формальных или факторных моделей.

В библиотеке PSpice имеются также встроенные модели полевого канального транзистора (ПКТ), полевого арсенид-галлиевого транзистора (ПАГТ) и МОП-транзистора.

ПКТ описывается моделью Шихмана - Хоужеса [19-21], основанной на использовании идеализированных р-n переходов исток - затвор и сток - затвор. Модель идентифицируется 24—мя параметрами и четырьмя условиями для температурного режима, причём температурная зависимость определена для восьми параметров базовой модели. Для практического использования, также как и для модели БТ, предлагается упрощённая модель, идентифицируемая 10-ю параметрами из 24-х базовой модели. В этой модели температурные зависимости параметров исключены. Более подробное описание модели ПКТ приведено в [8].

ПАГТ описывается четырьмя разновидностями моделей, предложенными Куртисом [22-24] и другими [8]. Модель Куртиса даёт удовлетворительные результаты лишь при описании статического режима, в то время как остальные модели отражают и динамические характеристики ПАГТ. Модели 1-3 уровней идентифицированы 32-мя параметрами и 4-мя условиями в области температуры. Для расчёта модели 4-го уровня количество параметров расширяется до 54-х за счёт более полного описания статического режима. Учёт температурного режима определяют с помощью 5-ти коэффициентов расчета температурных зависимостей 10-ти параметров.

МОП-транзисторы описываются шестью разными системами уравнений, выбор которых осуществляют параметром LEVEL, принимающим значения от одного до шести.

Первый уровень (LEVEL 1) используют в тех случаях, когда не предъявляют высоких требований к точности моделирования ВАХ.

Модели второго и третьего уровней учитывают более тонкие физические процессы.

Параметры четвёртого-шестого уровней рассчитываются по справочным данным с помощью специальных программ и идентификаторов [24]. Все модели имеют одну и туже эквивалентную схему.

Практическая модель МОП-транзистора для третьего уровня содержит всего 18 параметров из 51-го.

Температурные зависимости определены через температурный потенциал фт для 13-ти параметров. Подробное описание модели МОП-транзистора приведено в [8].

Для каждой модели МОП-транзистора приведены также линейные сепарабельные схемы замещения.

Встроенные модели транзисторов удовлетворительно работают в диапазоне частот до 100 МГц.

Для описания СВЧ транзисторов используют макромодели на основе встроенных моделей, эквивалентных схем и формальные, выраженные через Y или S-параметры [8]. Эти модели разрабатываются пользователем и вводятся в библиотеку с помощью специального оператора subckt.

Нелинейную макромодель БТ, формируют на основе его встроенной модели. Для этого встроенная модель БТ дополняется пассивными LC-цепями (индуктивностями li, L2, L3 и ёмкостями d, €2, Сз выводов (рисунок 2.21).

Использование рассматриваемой макромодели позволяет расширить применение встроенной модели в области частот выше 100 МГц. Достаточно сложную проблему представляет собой аттестация индуктивностей выводов и паразитных ёмкостей.

**2.5.3 Факторные модели**

Многополюсные РК, на основе факторной статистической модели рисунок 2.22 содержат динамические параметры (ДП), или параметры переменного тока и статические параметры (СП), или параметры постоянного тока, вероятностные характеристики параметров (ВП), или статистических характеристики ДП и СП, параметры надежности (ПН).

Каждая из групп указанных параметров определена в конкретном факторном пространстве (ФП), определенном вектором факторов X, а каждый из факторов имеет границы согласно ТУ или реальными условиями применения.

Состав вектора X зависит от типа РК, аттестуемых параметров и границ факторного пространства (ГФП.).

ПН или регламентируют ГФП, или представляют собой функции ГПФ.

ДП многополюсника определяет множество п его входов по переменному току, а СП - множество m его входов по постоянному току. В общем случае СП выражают ВАХ многополюсника.

Динамические параметры удобно представить его Y матрицей

СП могут быть выражены в виде I вектора факторных зависимостей полюсных токов по множеству m входов

Так, в случае транзистора факторное пространство определяют параметры рабочей точки: ток коллектора Ik и напряжение коллектора Uk, частота и температура Т. При описании ВАХ частота из векторного пространства исключается.

При моделировании операционного усилителя естественными компонентами вектора X являются частота /, напряжения источников и и-п и " "•", постоянная составляющая напряжения вых и температура.

Статистические зависимости параметров модели выражаются посредством факторных зависимостей стандартных отклонений динамических параметров, объединенных в матрицу вектор факторных зависимостей стандартных отклонений статических параметров и соответствующие матрица и вектор факторных уравнений автокорреляционных функций (АКФ)

г\* =[',(\*)], (2.84)

гх=[г„(х)], (2.85)

Учет взаимнокорреляционных связей параметров модели можно осуществить, сгруппировав сильно коррелированные между собой параметры в группы (плеяды) [16]. Информацию о таких связях можно выразить в виде упорядоченного массива используемых для описания модели.

Каждый из вещественных параметров представляется в виде уравнения, отвечающего полиноминальной факторной модели первого рода:

или мультипликативной факторной модели второго рода

где Кь К2- постоянные факторного уравнения (ПФУ) первого и второго рода соответственно;

Тип структуры факторного уравнения (2.87) или (2.88) определяется в процессе обработки данных эксперимента. Структура ЭФФ mij определяется с учетом табличных значений этой функции полученных экспериментально н статической оценки значимостей уровней функции по Стьюденту [37].

Факторные уравнения стандартных отклонений (2.82) и (2.83) выражаются в виде:

Так как погрешности определения стандартных отклонений параметров являются ошибками второго порядка по отношению к математическим ожиданиям параметров, то на данном этапе развития модели принято, что при условиях статистической значимости дисперсий табличных значений функции, аппроксимация факторных уравнений осуществляется прямой (т= 1). Расчет коэффициентов уравнений (2.87, 2.88) и их математической формы производится при обработке экспериментальных данных на ЭВМ.

АКФ, соответствующие каждой из функций g , рассчитываются по формуле:

Используя ФСМ, можно сформировать любую из рассмотренных выше моделей РК. Успешное решение этой задачи зависит в первую очередь от выбора факторного пространства, то есть области определения каждого из факторов. Важным условием является также применение достаточно эффективных с точки зрения получения статистической информации методов измерения статических и динамических параметров РК.

**3 Измерительные устройства**

**3.1 Измерительные задачи**

Содержание измерительных задач, от решения которых зависит адекватное описание моделей РК, обуславливает требования к моделям РК, приведённым в разделе 2.

Чтобы удовлетворить эти требования в составе САПР электронных схем должна функционировать система измерения параметров РК ориентированная на:

* контроль качества известных РК на соответствие электрических параметров, по которым идентифицируется модель согласно паспортным данным;
* измерение известных РК для формирования их моделей в областях определения параметров, выходящих за рамки паспортных данных для определения возможности расширения области их применения;

- измерение параметров и идентификация моделей новых РК. Согласно анализу, приведённому в разделе 2, каждый из реальных РК может быть описан несколькими способами. Например, в виде эквивалентной схемы, физико-топологическим способом, формально в виде п - полюсника, который определяет связи внешних по отношению к нему электрических параметров, представленных в виде полюсных токов и напряжений.

В самом общем случае модель РК может быть глобальной, в которой учтены все нелинейные и динамические эффекты, локальной (или условно линейной), у которой определены статические и динамические параметры в ограниченной области факторного пространства, и точечной, параметры которой определены в дискретной точке факторного пространства.

Глобальной модели отвечает, например, модель транзистора по Эберсу-Моллу или Гуммелю-Пунну, локальной - факторные модели, например, в ограниченном частотном диапазоне; точечной - параметры в отдельной точке плана ФЭ.

Большое разнообразие моделей РК приводит к необходимости использования разнообразных способов и технических средств для измерения их параметров. Как правило, статические и динамические параметры РК измеряют на разных технологических установках.

Методы построения средств измерения для идентификации моделей РК могут быть сведены к следующим принципам, учитывающим особенности подключения РК и сигналов, подлежащих обработке [4, 5, 11, 14, 18, 36, 44]:

* разделение напряжения и тока (для двухполюсников);
* сравнение двухполюсника с образцовым в мостовых схемах;
* сравнение двухполюсника или многополюсника с комплектом образцовых двухполюсников;
* разделение падающих и отражённых волн для РК СВЧ диапазона;
* определение резонансной частоты, Q - метры;
* анализ картины стоячей волны, измерительные линии СВЧ диапазона.

Особое значение имеет задача по объединению операций измерения статических и динамических параметров на одной технологической установке, если цепи электропитания РК по постоянному и переменному току не разделены.

Удачное решение этой задачи для транзистора приведено в работе [67]. Данный способ электропитания РК может быть распространён на другие РК, например, операционные усилители.

Отечественная и зарубежная промышленность выпускает достаточно широкую номенклатуру измерительных приборов, чтобы решить поставленные выше задачи. Особенно эффективны приборы фирмы Hewlett Packard, ориентированные на комплексную автоматизацию измерительного процесса. Однако обращаем внимание на следующие факты:

Применение узкоспециализированных измерительных приборов приводит к резкому увеличению затрат, так как эти приборы дороги.

В случае измерения активных РК практически в каждом конкретном случае приходится решать задачи электропитания по постоянному и переменному току.

Разнообразие номенклатуры и типоразмеров РК, подлежащих измерению, выдвигает на одно из первых мест задачу подключения объекта измерения к измерительной схеме, особенно в случае определения динамических параметров.

В этой связи возникает проблема разработки нестандартных способов и средств измерения, позволяющих при использовании стандартных универсальных измерительных приборов ограниченного состава производить автоматизированное измерение параметров широкой номенклатуры РК в ограниченное время. Решение этих задач отражено в работах [25-70], выполненных в ВГТУ в 70-х - 90-х годах, будет рассмотрено в данном разделе.

**3.2 Устройства для измерения двухполюсников**

**3.2.1 Измерение статических параметров**

Статические параметры определяют в виде ВАХ или моделью Эберса-Молла (полупроводниковые диоды).

Для определения ВАХ определенное преимущество имеет зависимость в виде U(l), когда ток через ДПР поступает от источника тока, и регистрируют напряжение на его электродах.

При обратном смещении, когда сопротивление перехода весьма велико, электропитание производится от источника напряжения.

ВАХ при прямом смещении по Эберсу-Моллу определяют по уравнению

Из изложенного следует, что определение ВАХ не представляет сложности. Принятый способ измерения динамических параметров позволяет производить определение статических и динамических параметров ДПР на одной технологической установке.

**3.2.2 Y-устройства для измерения ДП**

Первое (базовое) измерительное устройство, показанное на рисунке 3.1, предназначено для измерения линейных ДПР. По структуре оно соответствует устройству по а.с. № 1580282 СССР при применении ручных операций калибровки параметров Lk и Х0. Устройство содержит генератор 1 для электропитания измерительных цепей по переменному току, векторный вольтметр (ВВ) 2 для регистрации модуля и разности фаз переменных напряжений, элемент Zr для моделирования внутреннего сопротивления генератора 1, если это необходимо, контакт! для подключения измеряемого ДПР с полным сопротивлением Z. В качестве элемента Zr в первом приближении применяют резистор с учетом его паразитных параметров.

В процессе калибровки по напряжениям °, и\*, ' и изопределяем параметры эквивалентной схемы по формулам (2.43), (2.47) рассчитываем индуктивности Lk, lq, если значение индуктивности L0 будет для аттестации вектора образцовых нагрузок uq.

Y = l/W + j/<9 (3.4)

где W - параметр, вычисляемый по формуле (2.37).

При измерении нелинейных ДПР в схему рис. 3.1 добавляем источник тока (напряжения) для смещения рабочей точки и цепочку R( , С} , С2 развязки цепей электропитания по переменному и постоянному току (рисунок 3.2).

При измерении полупроводниковых диодов источник 3 работает в режиме источника тока. ВАХ определяют по зависимости UC(IC), где Uc , Ic -постоянные составляющие тока и напряжения на измеряемом диоде.

Динамические параметры в виде проводимости Y определяют по формуле (3.4).

В случае обратного включения диода источник 3 переключают в режим источника напряжения. По значению напряжения U на выходе Г регистрируют полную проводимость в зависимости от напряжения обратного смещения Uc (рисунок 3.2). Полную проводимость Y рассчитывают по формуле (3.4), а значение Сбар барьерной емкости по формуле

C6ap=Y/co, (3.5)

где со - угловая частота.

При измерении мощных нелинейных ДПР возникает проблема электропитания по постоянному току из-за большого уровня мощности, которая рассеивается на резисторе rj (рисунок 3.2). Для устранения этого эффекта предлагается использовать схему рисунок 3.3, в которой в отличии от схемы рисунок 3.2 резистор R] шунтирован катушкой индуктивности lj.

Измерение параметров ДПР производится также как в случае применения устройства на рисунке 3.2. При этом постоянная составляющая тока проходит через катушку li без падения напряжения на ней. Внутреннее сопротивление генератора 1 составляет включенные в параллель по переменному току сопротивления Zr , ri и coL]. Сопротивление toL] в рабочем диапазоне частот выбирается из уровня

Оптимальный режим при измерении динамических параметров достигается при условиях [51]

**3.3 Устройства для измерения МП**

В качестве базового для первого из рассматриваемых устройств выбрано устройство по А.с. 1084709 СССР, МКИ G 01 R 31/26 [1]. Развитие устройства произведено с учётом способа измерения по А.с. 1317370 СССР, МКИ G 01 R 27/32 [2]. Структурная схема первого устройства приведена на рисунке 3.4.

Устройство содержит: генератор синусоидального напряжения (ГСН), выход которого соединён с опорным выходом векторного вольтметра (ВВ) и первыми выходами К1 и К2, вторые выходы которых соединены с общей шиной; программатор (П), выводы которого соединены с управляющими входами переключателей ю, К2 и КЗ; входы переключателя КЗ соединены с базовым и коллекторным контактами держателя транзистора (ДТ), а его выход с измерительным входом ВВ.

Выход переключателя К\ через цепочку С2, R2 соединены с базовым входом ДТ, а выход переключателя К2 через цепочку СЗ, R3 соединён с коллекторным входом ДТ. выход усилителя (У) через резистор R\ соединён с базовым входом ДТ для электропитания базы транзистора по постоянному току, а выход источника тока (ИТ) через резистор R5 соединён с коллекторным входом VTI по постоянному току. Делитель на резисторах R4, R6 предназначен для деления напряжения Ut. Его выход соединён с входом У. Источник опорного напряжения (ИН). Через резистор R6 соединён с входом У. Конденсаторы С2 и СЗ служат для разделения цепей постоянного и переменного тока, а конденсаторы С1, СЗ, С 4 и С5 для развязки указанных цепей. Блок питания (БП) предназначен для электропитания по постоянному току блоков П и У.

Применение устройства по рисунку 3.4 позволяет стабилизировать рабочую точку (РТ) со стороны коллектора независимо от типа или структуры транзистора. Рассмотрим процесс стабилизации РТ на примере биполярного транзистора п-р-п структуры.

напряжение Uk рассчитывают по формуле

На практике коэффициент KQ выбирают в интервале 0,1-0,5. Таким образом, РТ транзистора VTI определяют ток Ik на выходе ИТ и напряжение U0 на выходе ИН. При использовании программируемых ИТ и ИН процесс установления РТ можно автоматизировать, управляя источниками от ПК.

Для измерения Y - параметров устройство на рисунке 3.4 в отличие от устройства [1] было приспособлено для измерения в режиме определённом способом [2]. Для этого предварительно измерительную схему калибруют в режиме холостого хода с помощью образцовых мер ZOI и Z02 и измеряют матрицу С/0 полюсных напряжений холостого хода, а в рабочем (при подключенном транзисторе) режиме измеряют матрицу U9 элементами которой служат полюсные напряжения при прямом и обратном включении транзистора.

Управление режимом измерения производится программатором П с помощью ключей Kl-КЗ. Соответствующие напряжения регистрируют с помощью ВВ подключённого к выходу ключа КЗ.

Для калибровки устройства в режиме холостого хода первую образцовую меру Z01 подключают между 1 и 3 контактами ДТ и при нормальном положении Kl-КЗ измеряют напряжение С/0, на базовом контакте ДТ. Далее переключатели Kl-КЗ приводят в рабочее состояние. Вторую образцовую меру Z02 подключают к контактам 2 и 3 ДТ и измеряют напряжение t/02 на коллекторном контакте ДТ. Напряжения С701 и С/02 составляют вектор калибровочных напряжений Uk.

Для определения матрицы Y сначала рассчитывают матрицы передачи К0 - холостого хода и К нагруженного режима по формулам

При определении У - матрицы транзистора по формулам (3.7) - (3.11) принципиально исключаются систематические погрешности, вносимые паразитными индуктивностями и ёмкостями измерительных цепей, а также входной цепи ВВ. Также исключаются мультипликативные погрешности, возникающие при измерении модулей комплексных напряжений и аддитивные при измерении разностей их фаз, так как в расчётных формулах используются отношения этих напряжений. Однако возникают определённые сложности при аттестации сопротивления Zn, что вызывает дополнительные погрешности. Эти погрешности можно исключить при применении второго измерительного устройства, структурная схема которого показана на рисунке 3.5.

Устройство на рисунке 3.5 получаем из устройства на рисунке 3.4 путём исключения переключателя КЗ и введения второго ВВ. В этом случае первый ВВ1 и второй ВВ2 векторные вольтметры постоянно подключены к базовой и коллекторной цепям. Поэтому сопротивление Zn каждого из них постоянно входит в состав измерительных цепей и в его аттестации нет необходимости.

Режимы работы первого и второго устройств по постоянному и переменному току полностью идентичны, но во втором устройстве отсутствуют коммутации ВВ. Расчёт Y - матрицы транзистора производят по формулам, полученным из формул (3.7) - (3.11) при Zn -> со.

Тогда коэффициенты матриц К(] и К производят по формулам

Существенный недостаток рассмотренных выше устройств заключается в том, что при измерениях транзисторов средней и большой мощности возникают сложности их электропитания по постоянному току из-за разогрева этих резисторов, особенно коллекторного резистора R5.

Эти недостатки можно исключить путём шунтирования резисторов Ш и 5 катушками индуктивности, как это показано на рисунке 3.6.

Третье измерительное устройство разработано на базе второго. В этом случае резисторы R1 и R5 шунтированы катушками индуктивности II и L2 соответственно. Так как напряжение Uk и напряжение на выходе ИТ равны,

то делитель R4, R6 представилось возможным подключить к выходу ИТ. Тем самым исключено шунтирующее влияние делителя Д4, R6 на коллекторную цепь. Назначение остальных элементов такое же, как и на схемах на рисунках 3.4 и 3.5. Статический режим устанавливается таким же образом как в схемах на рисунках 3.4 и 3.5. Динамические тесты по определению матриц UQ9 U и вектора Uk производятся аналогично тестам устройства на рисунке 3.5. Для расчёта Y - матриц используются формулы (3.7) - (3.13). Индуктивности LI и L2 рассчитывают по формулам

Устройства на рисунках 3.4 - 3.6 позволяют путём реализации активного факторного эксперимента получить информацию для описания ВАХ транзистора в пространстве системы

Анализ схемы рис.3 показывает, что путём её преобразования и при упрощении структуры можно реализовать режим измерения ВАХ в пространстве системы

Us=Ue(le,Uk). (3.16)

В результате получаем четвёртую измерительную схему (рисунокЗ.7). Назначение элементов схемы на рисунке 3.7 кроме источников ИН1, ИН2 и резистора R4 такое же, как и на схеме рисунка 3.5. В процессе работы схемы напряжение на выходе источника ИН2 определяет напряжение uk, источника ИН1 и резисторы R19 R4 вырабатывают ток базы 16. Чтобы схема генерирования тока 1б соответствовала условию источника тока, выбор резистора R4 должен отвечать условию

(R4 + R6)> 100(Д2 R6), (3.17)

где R6 - сопротивление базы по постоянному току.

При выполнении условия (3.17) ток базы будет прямо пропорционален напряжению на выходе ИН1. Таким образом, рабочую точку (ток 1б и напряжение Uk) транзистора будет определять напряжения на выходах ИН1 и ИН2.

Динамические тесты по определению матриц t/0, U и вектора Uk и расчёт Y - матрицы производятся аналогично тестам и расчётам в случае схемы на рисунке 3.6.

В схемах на рисунках 3.4 - 3.7 выделена часть, обозначенная ИГ, представляет собой измерительную головку, которую предлагается конструировать в виде сменного модуля. Принципиальные схемы ИГ в рассмотренных случаях практически одинаковы. Различия будут связаны с конструктивными (типоразмер корпуса, конструкция выводов) и электрическими (мощность, входные и выходные сопротивления) параметрами измеряемых транзисторов, которые будут определять конструкции и номинальные значения элементов ИГ.

Определив часть схемы, кроме ИГ, как базовую получаем возможность широкого маневра, измерительным процессом используя для измерения транзисторов "магазин" ИГ.

Таким образом, в результате анализа структурных схем (рисунки 3.4 -3.7) показано что, во-первых, есть возможность измерения статических и динамических параметров транзистора на одной технологической установке, во-вторых, имеется возможность использования различных вариантов измерительных устройств, в-третьих, целесообразность выделения части измерительной схемы в виде PIT.

Отличительное свойство рассмотренных устройств состоит в том, что они могут быть эффективно использованы в автоматизированных информационно-измерительных системах для измерения параметров моделей, ориентированных на применение в информационных базах данных САПР и диагностику качества радиокомпонентов.

Важным достоинством этих устройств является отсутствие принципиальных ограничений на диапазон частот. Не представляет сложности осуществить измерения на частотах до сотен МГц.

**3.4 Структурная схема рабочего места**

Структурная схема рабочего места приведена на рисунке 3.8.

Рабочее место состоит из: генератора ВЧ сигнала Г4-116, универсального цифрового вольтметра В7-18, векторного вольтметра ФК2-12, блоков питания (БП) и непосредственно измерительно-контрольного устройства (ИКУ), к которому подключается головка измерительная (ИГ) и плата стабилизации рабочей точки, подключаемая при измерении транзисторов.

Генератором формируется высокочастотный сигнал, который подается через разъем Х2 на плату ИКУ, а оттуда через XI - на ИГ. В7-18 подключен к Х5 и служит для измерения режима работы по постоянному току и преобразования показаний векторного вольтметра ФК2-12. На вход ФК2-12 подается сигнал с Г4-116 и измеряемый сигнал с ИГ. Преобразованные в постоянные напряжения величины сдвига фазы и модуля переменной составляющей передаются на ИКУ, откуда они могут быть скоммутированы на цифровой вольтметр В7-18. Блоки питания обеспечивают схему стабилизированными напряжениями и токами.

Блок измерительно-контрольного устройства предназначен для коммутации сигналов и питания и выполняет роль устройства управления. Для измерения параметров транзисторов к ИКУ подключается плата стабилизации рабочей точки. PIT выполнены сменными и обеспечивают возможность измерения радиоэлементов различной номенклатуры с разнообразной формой и расположением выводов.

**3.5 Электрические схемы рабочего места**

**3.5.1 Измерительно-контрольное устройство (ИКУ)**

Электрическая схема ИКУ приведена на рисунке 3.9. ИКУ содержит:

* розетку разъема XI для подключения измерительной головки (ИГ);
* розетку разъема Х2 для подключения генератора ВЧ сигнала;
* розетку разъема ХЗ для подключения платы стабилизатора рабочей точки при измерении транзисторов;
* клеммник Х4 для подключения источников питания;
* клеммник Х5 для подключения универсального цифрового вольтметра;
* розетки разъемов Х6 и Х7 для подключения выходов векторного вольтметра;
* переключатели S1.. .S7 для установки режимов измерений;
* согласующее устройство на R1...R5 для согласования генератора с измеряемым радиоэлементом;
* конденсаторы Cl, C2 для развязки цепи генератора по постоянному току;
* резисторы R6, R7, которые задают режим измеряемого радиоэлемента по постоянному току и служат для измерения тока.

Положения переключателей S1...S7 и соответствующие им режимы измерений приведены в таблице 3.1. При этом "0м в соответствующей ячейке обозначает, что переключатель находится в нормальном положении ("отжат"), а единица- переключатель "нажат".

Таблица 3.1 - Состояния переключателей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Измеряемый параметр  | SI  | S2  | S3  | S4  | S5  | S6  | S7  | Примечание  |
| иб  | -  | -  | 0  | 0  | 0  | 1  | -  |  |
| UK(U)  | -  | -  | 1  | 0  | 0  | 1  | -  |  |
| Id  | -  | -  | 0  | 1  | 1  | 1  | -  |  |
| Ш)  | -  | -  | 1  | 1  | 1  | 1  | -  |  |
| |UU|  | 1  | 0  | -  | -  | 0  | 0  | 0  |  |
| |U12  |  | 0  | 0  | -  | -  | 0  | 0  | 0  |  |
| |U21  |  | 1  | 1  | -  | -  | 0  | 0  | 0  |  |
| |U22  |  | 0  | 1  | -  | -  | 0  | 0  | 0  |  |
| Афн  | 1  | 0  | -  | -  | 0  | 0  | 1  |  |
| АФ12  | 0  | 0  | -  | -  | 0  | 0  | 1  |  |
| АФ21  | 1  | 1  | -  | -  | 0  | 0  | 1  |  |
| Аф22  | 0  | 1  | -  | -  | 0  | 0  | 1  |  |

**3.5.2 Стабилизатор рабочей точки (СРТ)**

Электрическая схема СРТ приведена на рисунке 3.10. СРТ содержит:

* вилку разъема X1 для подключения к ИКУ;
* операционный усилитель DA1, обеспечивающий точность задания режима транзистора по постоянному току;
* усилительный каскад на транзисторе VT1 (R7, R9, С4), обеспечивающий необходимый выходной ток;

- интегрирующую цепь R4, R5, С2 для фильтрации ВЧ-составляющей; - цепочки стабилизации напряжения питания Rl, Cl, VD1 и R6, СЗ, VD2 для питания операционного усилителя.

**3.5.3 Головки измерительные (ИГ)**

ИГ предназначены для подключения РЭ к ИКУ. При конструировании ИГ были приняты во внимание принципы конструирования ВЧ устройств с тем, чтобы предельно уменьшить влияние паразитных параметров соединительных проводников.

Особую проблему представляла собой конструкция контактов для подключения измеряемых устройств из-за большого разнообразия конструкций выводов однотипных РЭ (транзисторов, диодов и т.д.) и типоразмеров корпусов для аналоговых ИС, поэтому ИГ проектируются под типоразмер измеряемого элемента. Электрические схемы двух типовых ИГ приведены на рисунках 3.11 и 3.12. Измерительные головки в общем случае содержат:

— розетку разъема XI для подключения входа векторного вольтметра;

- клеммник разъема Х2 для подключения измеряемого радиоэлемента;

* вилку разъема ХЗ для подключения к ИКУ;
* блокировочные RC-цепочки;
* элементы коммутации (реле К1 на рис. 6.5) для переключения входа векторного вольтметра.

**3.6 Обоснование элементной базы**

В разработанном комплексе применены широко распространенные радиоэлементы:

* в качестве операционного усилителя выбран дешевый прецизионный ОУ К140УД1208 с малым температурным и временным дрейфами нуля, высоким входным сопротивлением и коэффициентом ослабления синфазного сигнала;
* блокировочные конденсаторы применены типа 0805 Y5V как наиболее соответствующие требованиям к ВЧ-устройствам;
* резисторы выбраны из тех же соображений, типа 1206 с допуском ± 5%; резистор в токозадающей цепи МЛТ-0,25 с допуском ±10% для обеспечения рассеивания подводимой мощности; подстроенные резисторы типа СПЗ-19аЗ-05 с допуском ±5% - как наиболее подходящие по массогабаритным показателям;
* транзистор типа КТ818 как наиболее дешёвый и удовлетворяющий требованиям в данной ситуации.

**3.7 Конструкция ИКУ**

Конструкторская проработка ИКУ отражена в АПСР687253.001 и АПСР468364.001. Применение функционально-блочного метода конструирования открывает перспективу развития конструкции, что особенно выгодно на этапе моделирования, повышает унифицированность и ремонтопригодность устройства. Внешний вид блока ИКУ показан на рисунке 3.13.

ИКУ выполнено в виде отдельного настольного блока. Все измерительные приборы подключаются к разъемам, которые установлены на задней стенке корпуса.

На верхней (лицевой) панели расположены переключатели S1... S7, для удобства переключения режимов.

Гнезда разъёмов для подключения ИГ и СРТ расположены на боковых стенках блока, что обеспечивает удобство их смены.

Модули ИГ и СРТ в конструктивном исполнении представляют собой двухсторонние печатные платы, устанавливаемые в соответствующие разъёмы ИКУ.

При конструировании всех модулей были приняты во внимание принципы ВЧ монтажа.

**4 Расчетная часть**

**4.1 Расчет площади и габаритов платы ИКУ**

Плата ИКУ является основой конструкции рабочего места для измерения параметров РЭ. Ее размер определяет габариты конструкции в целом, поэтому именно для нее проведем расчет площади и габаритов. Размеры платы РЖУ в основном определяются размерами управляющих элементов (переключателей) и их расположением. Кроме того, необходимо обеспечить возможность расположения всех разъемов и клеммников.

Для расчета площади платы измерительно-контрольного устройства необходимо определить площадь, которую занимают ЭРЭ расположенные на ней непосредственно и места подключения разъемов.

При этом для удобства монтажа и обеспечения требований по тепловому режиму площадь платы должна быть больше площади, занимаемой элементами. Это учитывается коэффициентом заполнения платы по площади (К3п). Тогда площадь платы можно определить по формуле

Sn=-jf—tS., (4-1)

Л 3/7 \* = 1

где Sj - площадь каждого ЭРЭ .

Исходные данные для расчета площади платы ИКУ приведены в таблице 4.1.

Суммарная площадь, которую занимают ЭРЭ 919 мм . Коэффициент заполнения платы по площади примем равным 0,3. Определим площадь платы ИКУ по формуле (4.1)

Sn= 919 /0,3 -3063 мм2.

По ширине плата ИКУ ограничена размерами разъемов СНП37-24. Для удобства использования устройства переключатели установлены в один ряд, что ограничивает размер платы по длине. В связи с этим выбираем размеры платы 120x80 мм. При этом площадь платы составит 9600 мм , что больше расчетной и, значит, коэффициент заполнения платы по площади не больше заданного.

Таблица 4.1 - Исходные данные для расчёта площади платы измерительно-контрольного устройства.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип ЭРЭ  | Количество, шт  | Размеры, мм.  | Площадь, мм2  |
| Резистор 1206  | 7  | 3,048x1,254  | 32,52  |
| Конденсатор 0805  | 2  | 2,032x1,27  | 5,16  |
| Переключатель В i 70G  | 7  |  | 393,75  |
| Разъем СНП37-24  | 2  |  | 487,50  |
| Всего  | 919  |

**4.2 Расчёт теплового режима блока**

Расчет теплового режима блока проведём на ЭВМ с помощью программы приведённой в [12].

Исходными данными для расчета являются:

* мощность потребляемая блоком, Вт;
* размеры блока (L1,L2,L3), м;
* коэффициент заполнения блока по объёму;
* площадь перфорационного отверстия (м ) и их количество (шт.);
* давление окружающей среды, МПа;
* температура окружающей среды, °С.

Рассчитаем коэффициент заполнения блока по объёму по формуле

К3 = Уэ / V, (4.2)

где Уэ - суммарный объём элементов установленных в блоке, м ;

V - объём блока, м . Исходные данные для расчета:

- мощность потребляемая блоком Р = 5 Вт;

размеры блока Ll= 0,12 м., L2 = 0,08 м., L3 = 0,032 м.;

рассчитаем коэффициент заполнения блока по объёму по формуле

(5.2)

К3 = 1,55-10° / 2,88-10-" - 0,054;

* давление окружающей среды Р = 0,1 МПа;
* температура окружающей среды Т = 20 °С;
* площадь перфорационного отверстия S = 0,0096 м .

Результаты расчета теплового режима блока:

* температура корпуса блока Тк = 20,25 °С;
* температура нагретой зоны Т3 = 20,74 °С;
* средняя температура воздуха в блоке Тв = 20,42 С.

**4.3 Расчёт надёжности блока**

Расчет надежности проведём на ЭВМ с помощью программы приведённой в [12] и данных содержащихся в [13].

Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.- Исходные данные для расчёта надёжности

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип ЭРЭ  | Количество, шт  | Интенсивность отказов, 1/чхКГ6  | Коэффициент нагрузки  |
| 1 Конденсаторы  | 2  | 0,035  | 0,5  |
| 2 Резисторы  | 7  | 0,02  | 0,6  |
| 3 Разъемы  | 7  | 0,3  | 0,8  |
| 4 Переключатели  | 7  | 0,15  | 0,6  |
| 5 Провод  | 14  | 0,015  | 0,5  |
| 6 Пайка  | 70  | 0,05  | 0,5  |
| 7 Плата печатная  | 4  | 0,56  | 0,8  |

В ходе выполнения расчёта были получены следующие результаты:

* интенсивность отказа блока: 6,076-10~6 1/ч;
* время наработки на отказ: 56179 ч;

- вероятность безотказной работы блока при наработке на отказ указанной в ТЗ (10000 ч): 0,94.

Результаты расчета зависимости вероятности безотказной работы блока от времени его работы приведены на рисунке 4.1.

**5 Экспериментальная часть**

**5.1 Условия эксперимента**

Экспериментальная часть содержит сведения об испытании некоторых устройств в области измерения параметров моделей ДП на высоких частотах с целью показа работоспособности разработанного рабочего места. Были испытаны первое и второе устройства для измерения ДП (рисунки 3.1 - 3.2)

С помощью первого устройства частотные характеристики пленочного резистора параметров модели показанная на рисунке 2.56 в диапазоне частот от 10 до 90 Мгц.

Второе устройство, предназначенное для исследования нелинейных элементов, было использовано для определения частотных характеристик параметров диода типа КД521А в диапазоне частот от 10 до 100 Мгц, Оба выбранных элемента предназначены для работы в области высоких частот. Рабочая точка диода КД521А в аналоговом режиме согласно справочным данным должна быть смещена не более на 50 мА.

**5.2 Частотные характеристики испытуемых резисторов номиналом 51 Ом**

Были определены статистические характеристики параметров плёночного резистора типа ... в диапазоне от 10 до 90 мГц. Объем партии 10 штук. Гистограммы основного параметра R и пара дозитного параметра lct, приведенные на рисунках 5.1 и 5.2. Листинги статистической обработки приведены в приложении А.

Результаты статистического исследования основного параметра резистора МЛТ-0,125-51 Ом

Рисунок 5.1 Гистограммы основного R параметра пленочного резистора:

а) 10 МГц; б) 50 МГц; с) 90 МГц.

Результаты статистического исследования паразитного параметра резистора МЛТ-ОЛ25-51Ом

с) Рисунок 5.2 Гистограммы паразитного L параметра плёночного резистора

а) на частоте 10 МГц; б) на частоте 50 МГц; с) на частоте 90 МГц;

Основной параметр резистора в выбранном диапазоне частот имеет разброс в пределах допуска - менее ± 10 %. Качественно гистограммы отвечают нормальному закону распределения, так как очевидна группировка элементов выборок к центрам группировок. Это подтверждается количественной оценкой исследования по критерию Пирсона. Для статических исследований закономерно примение нормального закона распределения. Из частотных характеристик выборочных средней, приведенных на рисунке 5.3, следует, что основной параметр, мало зависят от частоты, расхождения в заданном диапазоне составляют в 3-м знаке. Отдельные реализации основных параметров (рисунок 5.3) практически параллельны друг другу, что свидетельствует о существовании высокой разрешающей способности измерительного устройства.

Паразитный параметр изменяется более существенно, от 5 до 18 нГн (отклонение от среднего значения « 15%). Его значении реактивная составляющая на f = 10 МГц равна 0,3 Ом и увеличивается на частоте 90 МГц до 5,0 Ом. Поэтому если на частоте 10 Мгц можно пренебречь, то на частоте больших 90 МГц влия­ние этой индуктивности будет заметно проявляться.

Отдельные реализации частотных характеристик паразитного параметра, приведенных на (рис. 5.46), показывают, что они практически параллельный друг другу , что также наблюдается высокая устойчивость измерений. Наблюдаемый индуктивный характер полного сопротивления исследуемого резистора полно­стью соответствует литературным данным, наблюдается при R<200 Ом [3]. Факт малого изменения активной составляющей сопротивления можно использовать для применения плёночных резисторов в качестве образцовой меры при аттеста­ции реактивной составляющей этой меры способом, применённым в устройстве по а.с.№ 1580282 СССР

Результаты статистического исследования паразитного параметра резистора МЛТ-0,125-51 Ом

реализациях для: а) среднее значение параметра; б) его отдельной реализации при токе смещения 25 мА, в диапазоне частот от 10 до 90 мГц, объем партии 10 штук.

**5.3 Частотные параметры диода**

Были исследованы частотные характеристики диодов КД521А. Гистограммы активной и реактивной составляющих полного сопротивления диода КД521А показаны на рисунках 5.5 и 5.6.

Рисунок 5.5 Гистограммы зависимости дифференциального сопротивления от частоты диода КД521А (при прямом токе 25 мА): а) на частоте 10 МГц; б) на частоте 50 МГц; с) на частоте 90 МГц.

Листинги расчетов приведены в приложении Б.

Из гистограмм видно, что качественно они соответствуют нормальному закону распределения (группировка в центре распределения). На этот факт также указывают количественные данные по критерию Пирсана, по этому, в данном случае можно применять классический анализ статических характеристик.

Результаты статистического исследования основного параметра диода КД521А

Рисунок 5.7 Частотные характеристики основного параметра диода КД521А (при прямом токе 25 мА): а) усредненные; б) отдельных реализациях.

Из рисунка 5.7 следует, что активная часть полного сопротивления диода существенно зависит от частоты, увеличивается с 3,5 Ом (10 Мгц) до 10 Ом (90Мгц). Отдельные реализации рисунка 5.76 практически параллельны друг другу, что свидетельствует об устойчивости процесса измерений.

Вопреки обще принятым моделям оказалось, что на высоких и ультравысоких частотах реактивная составляющая полного сопротивления диода имеет не ёмкостной, а индуктивный характер в области смещения рабочей точки, в область активного режима.

Изменение значения индуктивной составляющей полного сопротивления диода в выбранном диапазоне частот менее существенно, чем для активной составляющей, и представляет собой отклонения в пределах 10 % от среднего значения линии регрессии. Отдельные реализации также различны (рисунок.5,8Б) Результаты статистического исследования паразитного параметра диода КД521А

Экстремальность этих характеристик (вогнутость вниз) объяснить затруднительно этот эффект требует дополнительных исследований.

Индуктивный характер полного сопротивления показывает корректировки модели диода при его работе на высоких частотах. Обращая внимание на тот факт, что базовый переход транзистора работает также при смещении в прямом направлении, в этой связи этот переход транзистора также может иметь индуктивный характер, поэтому необходимо детально изучить его характеристики этого перехода на высоких частотах. В общем можно считать, что разработанное рабочее место может быть применено при измерениях и анализа свойств двухполюсных РК. При этом можно идентифицировать паразитные параметры РК. Характер измерений устойчивый.

**5.4 Корректированная модель полупроводникового диода**

Корректировка общепринятой модели связана с выявленным индуктивным характером полного сопротивления реального диода при его работе на высоких частотах. При этом необходимо объяснение этого явления и разработка рекомендаций по применению диодов работающих в ВЧ и СВЧ диапазонах.

В этой связи были выполнены исследования для определения зависимостей полного сопротивления диода от положения рабочей точки при её смещении в положительном направлении. Результаты измерения составляющей полного сопротивления диода КД 512А приведены на рисунке 5.9, а его В АХ на рисунке 5.10.

Из рисунка 5.10 видно, что В АХ диода имеет обычный экспоненциальный характер, близкий к классическому.

Активная Rn составляющая полного сопротивления диода, которое имеет монотонно убывающий характер, уменьшаясь при увеличении положительного смещения. Из рисунка 5.9 следует, что реактивные компоненты полного сопротивления имеют сложные зависимости как от смещения рабочей точки, так и частоты. По своему характеру в каждой частотной точке реактивная составляющая полного сопротивления в области перехода ВАХ из района отсечки в активный режим меняет свой характер с емкостного на индуктивный. По характеру кривых 1, 2, 3 (рисунок 5.9) можно сделать заключение, что в их формировании участвует явление последовательного резонанса, которое особенно проявляется при снижении частоты. Как это известно из теории электрических цепей до резонансной частоты входное сопротивление последовательного контура имеет емкостной а после - индуктивный.

Другое явление заключается в том, что на более высоких частотах точка резонанса наблюдается при меньших смещениях. Это можно объяснить влиянием индуктивностей выводов диода. В самом деле, если на частоте 10 МГц (резонанс наблюдается в точке U]) то при увеличении частоты до 50 МГц частота резонанса будет наблюдаться в точке U2 т.к. при предположении, что сопротивление выводов LB = const резонанс должен наблюдаться при более низком напряжении смещения.

Для подтверждения выдвинутого предположения сравнений результатов измерений на частоте 10 МГц, измерения диода КД 521А со стандартными и уко­роченными н 30 мм выводами.

Из рисунка 5.11 видно, что составляющая реактивного сопротивления при укорочении выводов, во-первых, смещаются в право, во-вторых, индуктивная составляющая существенно уменьшается примерно на 30 нГн, что количественно соответствует индуктивности удалённых отрезков..

Таким образом считаем, что компонентную модель диода при смещении рабочей точки в активную область нужно описывать в виде эквивалентной схемы показанной на рисунке 5.12, которой предлагаем заменить схему рисунка 2.10

Рисунок 5.11 Предлагаемая компонентная схема высокочастотного диода

**6 Организационно-экономическая часть**

**6.1 Организация и планирование опытно-конструкторской разработки рабочего места для измерения двухполюсных и многополюсных радиоэлементов**

В условиях рыночных отношений коммерческий успех деятельности конструкторской организации зависит от того, в какой мере разрабатываемая техника обладает признаками рыночной новизны и по своим техническим, функциональным, эксплуатационным характеристикам соответствует или превосходит лучшие образцы отечественной и зарубежной техники.

С целью оценки результатов разработки проводится анализ конструкции рабочего места для измерения двухполюсных и многополюсных радиоэлементов, по результатам которой может быть сделан вывод о целесообразности передачи конструкторской документации на следующие стадии. Для обоснования важности использования нашей разработки проводится расчёт трудоемкости ОКР, договорной цены темы и эксплуатационных издержек потребителя.

Трудоёмкость ОКР определяется на основе метода укрупнённого расчета, который основан на определении трудоёмкости стадии или этапа разработки рабочих чертежей. Через удельный вес этой стадии или этапа определяется трудоёмкость темы в целом. Расчёт трудоёмкости этапа разработки рабочих чертежей приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Трудоемкость разработки рабочих чертежей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Виды работ  | Кол-во чертежей  | Норма времени на один чертеж, чел -ч  | Трудоемкость разработки, чел -ч  |
| Принципиальные схемы  | 12  | 3,0  | 36,0  |
| Монтажные схемы  | 18  | 3,0  | 54,0  |
| Эскизы конструкции  | 32  | 3,5  | 112,0  |
| Всего:  | 62  |  | 202,0  |

Трудоемкость разработки рабочих чертежей с учётом поправочных коэффициентов производится по формуле

ТРРЧ= t\*КНОВ\*КСЕР\*КУСЛ\*КП.Т (6-1)

где t - трудоёмкость этапа разработки рабочих чертежей без учёта поправочных коэффициентов, чел-ч;

khob, kcep, Кусл, Кп.т - поправочные коэффициенты степени новизны, серийности, условий применения РЭА и т.д.[52].

Трудоемкость разработки рабочих чертежей с учетом поправочных коэффициентов (6.1) составит

ТРРЧ = 202 ∙1.3 ∙1.2 ∙1.0 ∙0.7 = 220,6 чел ∙ч.

Трудоёмкость ОКР определяется по следующей формуле

ТОКР= ТРРЧ ∙ 100%/ 11%, (6.2)

где тррч - трудоёмкость разработки рабочих чертежей, чел-ч. Результаты расчета сведем в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Трудоемкость ОКР по стадиям разработки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Стадии  | Вес, %  | Трудоемкость разработки, чел-ч  |
| Техническое предложение  | зд  | 100,3  |
| Эскизное проектирование  | 18,0  | 361,0  |
| Техническое проектирование, в том числе:  | 32,0  | 641,7  |
| - изготовление и отработка макета конструкции  | 16,0  | 320,8  |
| Разработка рабочей документации, в том числе:  | 45,0  | 902,4  |
| - разработка рабочих чертежей  | 11,0  | 220,6  |
| - испытание опытного образца  | 7,0  | 140,4  |
| - корректировка КД по результатам испытаний  | 4,0  | 80,2  |
| Всего:  | 100,0  | 2005,3  |

Число исполнителей определяется по формуле:

Ч = ТОКР / (F Д) (6.3)

Сумма оплаты труда исполнителей определяется по формуле

Зо=СЧ ∙ТОКР, (6.4)

где Зо - зарплата основная, р.;

Сч - средняя часовая зарплата исполнителей, р.; Результаты расчета прямых затрат представлены в таблице 6.3. Результаты расчета договорной цены сведены в таблицу 6.4.

Таблица 6.3 - Стоимость покупных изделий и материалов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование  | Количество  | Цена за единицу продукции, р.  | Сумма, р.  |
| Резисторы  |  |  |  |
| МЛТ-0.25  | 1  | 0,30  | 0,30  |
| 1206  | 18  | 0,20  | 3,60  |
| СПЗ-19аЗ-05  | 3  | 10,00  | 30,00  |
| Конденсаторы  |  |  |  |
| К50-16  | 4  | 1,50  | 6,00  |
| 0805  | 7  | 0,70  | 4,90  |
| Стабилитроны  |  |  |  |
| КС512А  | 2  | 5,00  | 10,00  |
| Транзисторы  |  |  |  |
| КТ818Б  | 1  | 5,00  | 5,00  |
| Микросхемы  |  |  |  |
| К140УД1608  | 1  | 10,00  | 10,00  |
| Переключатели  |  |  |  |
| B170G  | 7  | 11,00  | 77,00  |
| Разъемы  |  |  |  |
| Гнездо BNC  | 6  | 12,00  | 72,00  |
| ВилкаВМСКС-58  | 6  | 15,00  | 90,00  |
| CHIT37-24  | 2  | 5,00  | 10,00  |
| 375-031  | 1  | 12,70  | 12,70  |
| 390-021  | 3  | 7,50  | 22,50  |
| 390-031  | 6  | 9,80  | 58,80  |
| Прочее  |  |  |  |
| СФ-1,5-35,ОДм  | 1  | 38,00  | 38,00  |
| ТМ-250, м  | 1  | 2,00  | 2,00  |
| RG-58, м  | 4  | 6,00  | 24,00  |
| Толкатель  | 7  | 0,80  | 5,60  |
| Железо хлорное, 0,2кг  | 1  | 35,00  | 35,00  |
| Итого:  |  |  | 517,40  |
| С учетом доводки опытного образца  |  |  | 569,14р.  |

Таблица 6.4 - Результаты расчета договорной цены темы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Статьи расходов  | Сумма, р.  | Примечание  |
| Покупные изделия и полуфабрикаты  | 517р.  | Таблица 6.3  |
| Транспортно-заготовительные расходы  | 103р.  | 20%  |
| Заработная плата исполнителей  | 36023р.  | (6.4)  |
| Единый социальный налог  | 12 824р.  | 35,6%  |
| Прочие расходы  | 1 621р.  | 4,5 %  |
| Отчисления во внебюджетный фонд  | 540р.  | 1,5%  |
| Накладные расходы  | 5 403р.  | 15%  |
| Договорная цена темы:  | 57 034р.  |  |

**6.2 Технико-экономическое обоснование новой конструкции 6.2.1 Выбор и обоснование товара-конкурента**

Так как устройство представляет развитие параметрического ряда технических средств, а именно, тестера Д780, то в качестве товара-конкурента выбирается именно этот тестер.

Применение в качестве ядра комплекса ЭВМ типа ДВК позволяло выполнить на тот момент задачи связанные с измерением и обработкой предварительных результатов.

Работа требовала существенных затрат материальных и трудовых ресурсов из-за несовершенства ЭВМ, применения языка низкого уровня (Fortran) и низкой автоматизации. В комплексе применяется элементную базу общего назначения, но комплекс специализированных дорогих микросхем.

На момент своей разработки комплекс являлся передовым, выполняемые им измерения являются актуальными и в настоящее время. Выше сказанное говорит о необходимости дальнейших разработок в этом направлении и правильности выбора тестера Д780 в качестве товара-конкурента.

Следует сказать несколько слов об эталоне. Эталон должен обеспечивать максимальную скорость и точность измерений, в его конструкции должны применяться в основном цифровые элементы и интегральные микросхемы с высокой степенью интеграции, участие человека в работе лишь к смене проверяемых элементов.

**6.2.2 Анализ технической прогрессивности новой конструкции РЭА**

Техническая прогрессивность определяет конкурентоспособность АТПР. Технические параметры можно разделить на:

* конструктивные, отражающие схемные и конструктивные решения;
* эстетические, которые отражают идею единства содержания и формы;
* эргономические, отражающие скорость утомления, удобств работы т.д.;
* экологические, которые отражают воздействие изделия на окружающую среду.

К первой группе относятся как измеряемые, так и не измеряемые конструктивные показатели. Техническая прогрессивность измеряемых параметров оценивается с помощью коэффициента эквивалентности (КЭК).

Расчёт коэффициента эквивалентности осуществляется путём сравнения технического уровня товара-конкурента и новой конструкции РЭА по отношению к эталонному уровню.

Расчет коэффициента эквивалентности производится по формуле

КЭК =КТН/ КТБ (6-5)

где КТБ и Ктн - коэффициент технического уровня базового и нового тестера.

Результаты расчета коэффициента эквивалентности приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 - Результаты расчета коэффициента технической эквивалентности новой конструкции

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  | Вес, В  | Значение параметра  | Пб Пэ  | Пн  | в ш  | вш  |
| Пэ  | Пэ  | Пэ  |
| ПБ  | Пн  | Пэ  |
| Погрешность измерения напряжения, %  | 0,20  | 1,00  | 0,50  | 0,30  | 0,30  | 0,60  | 0,06  | 0,12  |
| Погрешность измерения тока, %  | 0,20  | 1,20  | 0,60  | 0,30  | 0,25  | 0,50  | 0,05  | 0,10  |
| Погрешность измерения сопротивления %  | 0,25  | 1,30  | 0,70  | 0,50  | 0,38  | 0,71  | 0,10  | 0,18  |
| Температурный интервал, С  | 0,15  | 40,00  | 40,00  | 60,00  | 0,67  | 0,67  | 0,10  | 0,10  |
| Наработка на отказ, тыс, ч  | 0,20  | 8,00  | 12,00  | 15,00  | 0,53  | 0,80  | 0,11  | 0,16  |
| Всего  | 1.00  |  |  |  |  |  | 0.41  | 0.66  |
| Коэффициент эквива­лентности  |  |  |  |  |  |  | 1,60  |

**6.2.3 Анализ изменения функциональных возможностей новой РЭА**

Некоторые конструктивные параметры: эстетические, эргономические, экологические, которые характеризуют функциональные возможности РЭА, нельзя оценить численно, поэтому для их оценки применяют метод балльной оценки, заключающийся в определении коэффициента функциональных возможностей по формуле

Кфе= Пфв/10 (6.6)

где Пфв - общая сумма баллов неизмеримых параметров новой РЭА. Данные для расчета коэффициента функциональных возможностей приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 - Расчет изменения коэффициента функциональных возможностей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели  | Характеристика параметра  | Бальная оценка  |
| Базовое  | Новое  | Базо­вое  | Новое  |
| 1 Технические  |  |  |  |  |
| - измерительные возможности  | Ниже точность  | Выше точность  | 2,0  | 3,0  |
| - универсальность  | Меньше измеряемых параметров  | Больше измеряемых параметров  | 2,0  | 3,0  |
| - температура  | Меньший интервалтемператур  | Больший интервал температур  | 2,0  | 2,5  |
| - влажность  | При меньшей влажности  | При большей влажности  | 1,0  | 1,1  |
| 2 Эстетические  |  |  |  |  |
| -цветовая гамма  | Общая коричневая  | Контрастная  | 2,0  | 2,3  |
| 3 Эргономические  |  |  |  |  |
| - удобство обращения  | Ручки и разъемы в разных местах  | Ручки отсутствуют, разъемы и кнопки сгруппированы  | 1,0  | 2,1  |
| Всего  |  |  | 10,0  | 14,0  |

Рассчитаем коэффициент функциональных возможностей по формуле (6.6)

Кфв=14/10=1.4

6.2.4 Анализ соответствия новой конструкции РЭА нормативам

Единичные нормативные параметры могут принимать только значение 'Г или \*0'. Групповой определяется по формуле

КН= (6-7)

где bj - единичные показатели.

Кп = 1, так как конструктивные элементы изделия разработаны в соответстии с ТУ на проект.

**6.2.5 Выводы о технической, функциональной и нормативной конкурентоспособности ноной конструкции РЭА**

Анализируя результаты расчётов по (6.7) и таблицам 7.5 и 7.6 можно сделать следующие выводы:

* по результату расчёта коэффициента эквивалентности (Кэкв=1,6) можно заключить, что изделие является прогрессивной технической разработкой;
* рассчитанный коэффициент функциональных возможностей (Кфв=1.4) говорит о том, что изделие удовлетворяет требованиям эргономики, экологии;
* коэффициент соответствия нормативам Кн=1 говорит о соответствии изделия стандартам, ТУ, нормам.

**6.2.6 Образование цены новой конструкции РЭА**

Цена на товар определяется исходя из нижнего и верхнего пределов в соответствии с ценовой политикой.

Верхний предел цены определяется на основе стоимостной оценки улучшения потребительских свойств товара, при которой обеспечивается его относительное удешевление в эксплуатации. Эта цена называется лимитной (Цл) и определяется из формулы:

цл = цб+эп ∙кэ, (6.8)

где цб - цена базовой РЭА, которая корректируется коэффициентом удешевления (0,9), р.;

Эп - годовой полезный эффект от применения нового товара, р.;

Кэ - коэффициент учёта полезного эффекта в цене новой РЭА. Нижний предел цены (Цнп) рассчитывается по формуле:

Цнп=Сп∙ (1+УР), (6.9)

где Сп - полная себестоимость изделия, р.;

УР - уровень рентабельности.

Расчет полной себестоимости новой конструкции и цены приведен в таблице 6.7 на основании данных таблицы 6.3.

Таблица 6.7 - Расчет полной себестоимости новой конструкции

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование статьи расходов  | Удельный вес, %  | Новое изд. сумма, р.  |
| 1 Основные материалы, покупные изделия и полуфабрикаты с учетом транспортно-заготовительных расходов  | 42,0  | 620  |
| 2 Зарплата производственных рабочих  | 16,0  | 237  |
| 3 Общепроизводственные расходы  |  |  |
| 3.1 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования  | 12,0  | 177  |
| 3.2 Цеховые расходы  | 14,0  | 207  |
| 4 Общехозяйственные расходы  | 12,0  | 177  |
| 5 Прочие производственные расходы  | 3,8  | 56  |
| 6 Производственная себестоимость  | 99,8  | 1475  |
| 7 Внепроизводственные расходы  | 0,2  | 3  |
| 8 Полная себестоимость  | 100.0  | 1478  |
| 9 Нормативная прибыль  | 20,0  | 296  |
| 1 0 Цена на основе нормативной рентабельности  |  | 1 774  |

Результаты расчета эксплуатационных издержек потребителей сведены и таблице 6.9.

Полезный эффект (Эп) представляет собой стоимостную оценку изменения потребительских свойств, оказывающих влияние на показатели технической прогрессивности, долговечности применяемых радио изделий, качество выпускаемой с ее помощью продукции, экологические и социальные показатели. Расчет полезного эффекта производится в соответствии с методикой приведённой в [52].

Исходные данные для расчёта:

* Цена базового изделия ЦБ = 2232 руб, согласно прейскуранту цен.
* Производительности при использовании нового и базового
изделий КЭк=1,6.

- Так как нормативный срок службы базового и нового изделий одинаков и равен 6 лет, то Кд =1.

Таблица 6.9 - Результаты расчета эксплуатационных издержек потребителей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование затрат  | Метод исчисления  | Базовое изделие, р.  | Новое изделие, р.  |
| 1 Затраты на электроэнергию  | Иэ - Рпотр F Сэ Рпотр - потребляемая мощность, кВт; F - годовой фонд времени; Сэ - стоимость 1 кВт ч  | 602  | 376  |
| 2. Зарплата обслужив ающего персонала  | Зо - F Сч F - фонд времени в год; Сч - часовая тарифная ставка  | 2623  | 2623  |
| 3. Расходы на капитальный ремонт  | Икр=Ц Ккр Ц - цена изделия; Ккр=2% - коэффициент отчислений наКР  | 45  | 35  |
| 4.Расходы на послегарантий­ный сервис  | Ис-Ц Кс Кс=10% - коэффициент отчислений на сервис  | 223  | 177  |
| Всего  |  | 3492  | 3212  |

Изменение текущих издержек у потребителя при использовании новой РЭА взамен базовой за срок службы нового рассчитаем по формуле

 (6.10)

где Ин и ИБ - издержки при использовании нового и базового АТПР;

ТБ - срок службы базового изделия;

ен - коэффициент эффективности капиталовложений. Из формулы (6.10) получаем

Рассчитаем полезный эффект Эп, руб., от применения новой конструкции по формуле

ЭП= ЦБ∙(КЭК∙Кд-1)+ДИ+ДК+ЭК+ЭС+ЭЭ (6.11)

где цб - цена базового изделия.

Так как при использовании нового изделия взамен базового не требуется дополнительных капиталовложений, ЛК = 0 и Эк = Эс = Ээ не меняются для нашего случая, то по формуле (6.11) получим

Эп = 2232-(1,6∙1-1)+885,91= 2797,75 р. Лимитная цена на новый товар определена по формуле (6.8)

Цл= 2232∙0,9 + 2797,75∙0,7 = 3967,22 р. Результаты расчёта продажной цены сведены в таблицу 6,10.

Таблица 6.10 - Обоснование продажной цены

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель  | Значение показателя  |
| 1 Полная себестоимость нового товара, р.  | 1478  |
| 2 Верхний предел цены нового товара, р.  | 3967  |
| 3 Цена товара-конкурента, р.  | 2232  |
| 4 Прогнозный запрос покупателей на конкретном рынке, шт.  | 500  |
| 5 Цена на основе нормативной рентабельности, р.  | 1774  |

В связи с ценовой политикой "внедрение на рынок" цена продажи выбирается на минимальном уровне 1774 р.

**6.2.7 Образование цены потребления**

Цена потребления включает затраты, которые связаны с его приобретением и эксплуатацией на протяжении нормативного использования. Она рассчитывается но формуле

ЦП =Ц+РТ+РР+И∙ТН +РУ+РСНН+РННН, (6.12)

где Ц - продажная цена изделия, р.;

Рт - расходы на транспортировку (20% от цены), р.;

рр - стоимость приведения изделия и работоспособное состояние, р.;

И- годовые эксплуатационные издержки потребителя, р.;

ру - расходы на утилизацию, р;

pc - страхование, р.;

рн - налог на имущество, р;

Нн - период эксплуатации, лет.

Рассчитаем цену потребления для нового и базового изделий по формуле (6.12). Результаты расчёта цены потребления сведены в таблицу 6.11.

Таблица 6.11 - Расчет цены потребления

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование затрат  | Сумма, р.  |
| Товар-конкурент  | Новый товар  |
| Продажная цена  | 2232  | 1774  |
| Расходы на транспортировку  | 446  | 355  |
| Издержки потребителя  | 3492  | 3212  |
| Срок эксплуатации, лет  | 6  | 6  |
| Цена потребления за весь период эксплуатации  | 23631  | 21398  |

Коэффициент цены потребления рассчитывается по формуле

КЦ= ЦПН/ЦПБ (6-13)

где ЦпН - цена потребления нового изделия, р.;

цпб - цена потребления базового изделия, р. Из формулы (6.13) получаем

Кц= 21576/23854= 0,90

**6.2.8 Обеспечение уровня качества нового товара**

Для оценки конкурентоспособности проектируемой РЭА по отношению к товару - конкуренту используется интегральный показатель

КИН=КЭК ∙КФВ ∙КН/КЦ, (6,14)

где КЭк - коэффициент эквивалентности;

Кфв - коэффициент функциональных возможностей;

Кц - коэффициент соответствия нормативам;

Кц - коэффициент цены потребления.

Рассчитаем интегральный коэффициент конкурентоспособности по формуле (6.14)

КИН= 1,6∙1,4∙1/0,9 =2,47

Так как КИн больше 1 то продукция считается конкурентоспособной.

**6.3 Выводы по результатам технико-экономического анализа**

Окончательные выводы об уровне новизны конструкции РЭА сведены в таблицу 6.12

Таблица 6.12 Показатели уровня рыночного новизны разработанной конструкции

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели  | Товар  |
| Конкурент  | Новый  |
| 1 Технические  |  |  |
| 1.1 Измерительные возможности  | 2  | 3  |
| 1 .2 Универсальность прибора  | 2  | 3  |
| 2 Нормативные  |  |  |
| 2.1 Соответствие ТЗ  | 1  | 1  |
| 2.2 Соответствие ТУ  | 1  | 1  |
| 2.3 Соответствие АС  | 1  | 1  |
| 3 Экономические (коммерческие)  |  |  |
| 3.1 Продажная цена, р.  | 2232  | 1774  |
| 3.2 Годовые издержки потребителя, р.  | 3492  | 3212  |
| 3.3 Полезный эффект, р.  | -  | 2798  |
| 3.4 Цена потребления, р.  | 23631  | 21398  |
| 3.5 Интегральный коэффициент конкурентоспособности  | 1  | 2,47  |

**7 Безопасность и экологичность**

**7.1 Безопасность жизнедеятельности при работе с ЭВМ**

**7.1.1 Анализ вредных факторов**

При работе в вычислительном центре присутствуют следующие факторы, отрицательно влияющие на работоспособность и здоровье персонала:

* зрительное утомление;
* напряженный умственный труд;
* электромагнитное излучение;
* электростатическое поле, ионизация;
* инфракрасное и ультрафиолетовое излучение;
* электрический ток в сети до 1000 В.

Рассмотрим эти вредные факторы более подробно.

**7.1.2 Зрительное утомление**

При работе за компьютером глаза находятся в постоянном напряжении, это связанно с тем что, монитор сам является источником света, что не привычно для человеческого глаза, так как в основном мы видим отражённый от объектов свет, в то же время мерцание изображения тоже раздражает глаза. По различным данным частота проявлений зрительного утомления у пользователей компьютеров колеблется от 10-40% (ежедневно) до 40-92% (по крайней мере, время от времени).

Зрительное утомление при работе с компьютером обуславливается особенностями работы с этим устройством. При этом следует отметить следующие принципиальные отличия изображения на экране от традиционного печатного текста:

- изображение на экране является самосветящимся, тогда как печатный текст воспринимается только в отраженном свете;

* изображение на экране формируется дискретными точками (пикселями) или линиями растра, тогда как печатные знаки образованы непрерывными линиями, значение яркости изображения на экране подвержено колебаниям внутри одного символа (знака);
* изображение на экране характеризуется периодическим мерцанием, основной временной характеристикой которого является скорость регенерации, выражаемая в герцах;
* важной характеристикой изображения на экране является скорость его развертки, осуществляемой на глазах у оператора;
* экран покрыт стеклом, дающим блики от внешних источников света.

Помимо этого, на зрительное утомление влияет необходимость постоянного перемещения взора с экрана на клавиатуру и бумажный текст, а также возможные погрешности в организации рабочего места неправильное расстояние от глаз до экрана, блики на экране от внешних источников света, чересчур большая яркость экрана и неудачный выбор цветов.

Указанные положения могут являться причиной развития утомления в ре-цепторных механизмах и структурах первичного анализа (на уровне обработки сигнала в сетчатке), т.е. "сенсорного" (нейрорецепторного) утомления зрительного анализатора. Это приводит к повышенному утомлению зрения и общему утомлению.

**7.1.3 Напряженный умственный труд**

Напряженный умственный труд - один из важных факторов, влияющих на работоспособность персонала. Поэтому большое внимание должно уделяться изучению условий, влияющих на работоспособность, и причин утомляемости, рационализации труда, разработке мероприятий по повышению работоспособности, профилактике утомления как отдельных мышечных групп, органов и систем, так и организма в целом, предупреждению профессиональных заболеваний, вызываемых напряженным трудом.

При рациональной организации трудовых процессов следует предусматривать по возможности равномерное чередование разнообразных операций, как по своему характеру, так и по тяжести или напряженности их, сохраняя при этом определенный ритм работы.

Необходимо следить, чтобы имеющиеся в работе микро паузы равномерно распределялись на протяжении всей смены.

Несмотря на наличие микро пауз, независимо от тяжести и напряженности труда предусматриваются перерывы в работе (как правило, в середине рабочего дня), которые служат для приема пищи и отдыха.

При выполнении тяжелого умственного напряженного труда, работах монотонного характера со значительным статическим напряжением устраиваются дополнительные перерывы от 5 до 15 минут. Время и продолжительность отдыха определяются характером труда, его тяжестью, напряженностью, включая и его интенсивность, наступлением утомленности и состоянием внешней производственной среды. В большинстве случаев в первой половине рабочего дня перерывы рекомендуется делать короче и реже, а во второй половине — чаще и более продолжительные. После тяжелых периодических и напряженных операций целесообразно сделать перерыв. При однотипной работе кратковременные паузы целесообразно делать не тогда, когда наступило утомление, а перед его наступлением.

При многих видах работ, и особенно связанных со статическим напряжением и однообразными монотонными движениями, а также при напряженном умственном труде целесообразно отдохнуть, активно двигаясь, с участием тех мышечных групп, которые бездействуют во время труда. Для этих целей разработан целый комплекс производственной гимнастики, который рекомендуется выполнять во время перерывов.

**7.1.4 Электромагнитное излучение**

Как и все приборы, потребляющие электроэнергию, компьютер испускает электромагнитное излучение, причём из бытовых приборов, с ПК по силе этого излучения могут сравниться разве что микроволновая печь или телевизор, однако в непосредственной близости с ними мы не проводим очень много времени, а электромагнитное излучение имеет меньшее воздействие с увеличением расстояния от источника до объекта. Таким образом, компьютер является самым опасным источником электромагнитного излучения.

В настоящее время о влиянии электромагнитного излучения на организм человека, практически ни чего не известно, да и за компьютерами мы сидим пока лет 20. Однако некоторые работы и исследования в этой области определяют возможные факторы риска, так например считается что электромагнитное излучение может вызвать расстройства нервной системы, снижение иммунитета, расстройства, сердечнососудистой системы и аномалии в процессе беременности и соответственно пагубное воздействие на плод.

Для защиты от электромагнитного излучения следует выполнять следую­щие требования:

- по возможности, стоит приобрести жидкокристаллический монитор, поскольку его излучение значительно меньше, чем у распространённых ЭЛТ мониторов (монитор с электроннолучевой трубкой);

* при покупке монитора необходимо обратить внимание на наличие сертификата;
* системный блок и монитор должен находиться как можно дальше от вас;
* не оставляйте компьютер включённым на длительное время если вы его не используете, хотя это и ускорит износ компьютера, но здоровье полезней. Так же, не забудьте использовать "спящий режим" для монитора;
* в связи с тем, что электромагнитное излучение от стенок монитора намного больше, постарайтесь поставить монитор в угол, так что бы излучение поглощалось стенами. Особое внимание стоит обратить на расстановку мониторов в офисах;
* по возможности сократите время работы за компьютером и почаще прерывайте работу;
* кмпьютер должен быть заземлён. Если вы приобрели защитный экран, то его тоже следует заземлить, для этого специально предусмотрен провод на конце которого находиться металлическая прищепка (не цепляйте её к системному блоку).

**7.2 Санитарно-гигиеническое нормирование**

Для ослабления воздействия опасных и вредных производственных факторов при работе с ЭВМ существуют санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.2 542-96.

Представим санитарно-гигиенические требования в виде таблиц.

Таблица 7.2 - Уровни освещенности для различных видов работ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Характеристика зрительной работы  | Разряд работ  | Подразряд работ  | Освещенность  |
|  |  |  | при комбинированном освещении  | при общемосвещении  |
| Очень высокой точности  | II  | а  | 4000  | 1250  |
|  |  | б  | 3000  | 750  |
|  |  | в  | 2000  | 500  |
|  |  | г  | 1000  | 300  |
| Высокой точности  | III  | а  | 2000  | 500  |
|  |  | б  | 1000  | 300  |
|  |  | в  | 750  | 300  |
|  |  | г  | 400  | 200  |
| Средней точности  | IV  | а  | 750  | 300  |
|  |  | б  | 500  | 200  |
|  |  | в  | 400  | 200  |
|  |  | г  | 300  | 150  |

Таблица 7.2 - Нормирование электромагнитного излучения

|  |  |
| --- | --- |
|  | Частота, МГц  |
|  | от 0,06ДОЗ  | от 3 до 30  | от 30 до 50  | от 50 до 300  |
| Значение электрической составляющей, В/м  | 50  | 20  | 10  | 5  |
|  | от 0,06 до 1,5  | от 30 до 50  |
| Значение магнитной составляющей, А/м  | 5  | 0,3  |

Таблица 7.3 - Предельно допустимые интенсивности облучения энергией УВЧ и СВЧ

|  |  |
| --- | --- |
|  | Время облучения  |
|  | 15-20 мин  | 2ч  | Свыше 2 ч  |
| Интенсивность облучения,\*>мквт/см  | 1000  | 100  | 10  |

Таблица 7.4 - Нормальный режим работы электроустановок

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ток  | 11,В  | i,A  |
| Переменный с частотой, Гц  |  |  |
| 50  | 2,0  | 0,3  |
| 400  | 3,0  | 0,4  |
| Постоянный  | 8,0  | 1,0  |

Таблица 7.5 - Основные требования к площади помещения (в расчете на одно рабочее место):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр  | Взрослые пользователи  | Учащиеся и студенты  | Дошкольники  |
| Площадь, м2  | 6  | 6  | 6  |
| Объем, mj  | 20  | 24  | 24  |

Таблица 7.6 - Значения коэффициента отражения окраски

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Потолок  | Стены  | Пол  |
| Минимальное значение коэффициент отражения  | 0,7  | 0,5  | 0,3  |
| Максимальное значение коэффициента отражения  | 0,8  | 0,6  | 0,4  |

Таблица 7.7 - Минимальный требуемый объем наружного воздуха в помещении на одного работающего

|  |  |
| --- | --- |
|  | Кубатура помещения, м3  |
| 20  | 20-40  | 40  | Если помещение без окон  |
| Объем наружного воздуха, м  | 30  | 20  | естественная вентиляция  | 60  |

**7.3 Инженерный расчет вентиляции**

Системы отопления и системы кондиционирования следует устанавливать так, чтобы ни теплый, ни холодный воздух не направлялся на людей, рекомендуется создавать динамический климат с определенными перепадами показателей. Температура воздуха у поверхности пола и на уровне головы не должна отличаться более, чем на 5 градусов. Основным параметром, определяющим характеристики вентиляционной системы, является кратность обмена, т.е. сколько раз в час сменится воздух в помещении.

Расчет для помещения:

~ vbch-i - объем воздуха, необходимый для обмена;

- Vnom - объем рабочего помещения.

Для расчета примем следующие размеры рабочего помещения:

* длина В = 9 м;
* ширина А = 4 м;
* высота Н = 3,5 м.

Соответственно объем помещения равен:

Увент ∙С(tуход – tприход) ∙Y= 3600∙Qизбыт.

Необходимый для обмена объем воздуха VBeHT определим исходя из уравне­ния теплового баланса:

Увент ∙С(tуход – tприход) ∙Y= 3600∙Qизбыт.

где QH36biT. - избыточная теплота (Вт);

С = 1000 - удельная теплопроводность воздуха (Дж/кгК); Y = 1.2- плотность воздуха (мг/см). Температура уходящего воздуха определяется по формуле:

tуход=tр.м.+(Н-2) t

где t = 1-5 градусов - превышение t на 1м высоты помещения; tp-м- ~ 22 градусов - температура на рабочем месте; Н = 3,5 м - высота помещения; = 19 градусов.

tyxод=22 + (3,5-2) ∙3=26,5

Qизбыт.= Qизбыт.1+ Qизбыт.2+ Qизбыт.3

где Оизбыг!. - избыток тепла от электрооборудования и освещения.

Qизбыт.1=Е∙р,

где Е - коэффициент потерь электроэнергии на теплоотвод ( Е=0,55 для освещения);

р - мощность, р = 40 Вт \* 6 = 240 Вт.

Qизбыт1.=0.55∙240=32 Вт

Оизбыт2- теплопоступление от солнечной радиации,

Qизбыт.2=m\*S\*k\*QC , где т - число окон, примем т - 2;

S - площадь окна, S = 2,5 \* 2,2 = 5,5 м ;

k - коэффициент, учитывающий остекление. Для двойного остекления k = 0.6;

Qc — 127 Вт/м - теплопоступление от окон.

Qизбыт.2 =4.6\*4\*0.6\*127=838,2 Вт

Ризбытз- тепловыделения людей

Qизбыт.3 =n\*q

где q = 80 Вт/чел.;

n - число людей, например, п = 6

Qизбыт.3=6\*80 = 480Вт

Qизбыт. = 132 +838,2 + 480 = 1450,2 Вт

уравнения теплового баланса следует:

Оптимальным вариантом является кондиционирование воздуха, т.е. автоматическое поддержание его состояния в помещении в соответствии с определенными требованиями (заданная температура, влажность, подвижность воздуха) независимо от изменения состояния наружного воздуха и условий в самом помещении.

Остановимся на кондиционерах типа БК, т.к помещение должно обеспечиваться не менее, чем двумя кондиционерами, а самый маломощный кондиционер из серии КТА обеспечивает избыточный воздухопоток для нашего случая.

**7.4 Требования по электробезопасности**

По категории опасности помещение ВЦ относится к помещениям без повышенной опасности. Конструкция компьютера обеспечивает электробезопасность для работающего на нем человека. Тем не менее, компьютер является электрическим устройством, работающим от сети переменного тока напряжением 220В, а в мониторе напряжение, подаваемое на кинескоп, достигает нескольких десятков киловольт.

Чтобы предотвратить возможность поражения электрическим током, возникновения пожара и выхода из строя самого компьютера при работе и техническом обслуживании компьютера необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

* сетевые розетки, от которых питается компьютер, должны соответствовать вилкам кабелей электропитания компьютера;
* запрещается использовать в качестве заземления водопроводные и газовые трубы, радиаторы и другие узлы парового отопления;
* запрещается во время работы компьютера отключать и подключать разъемы соединительных кабелей;
* запрещается снимать крышку системного блока и производить любые операции внутри корпуса до полного отключения системного блока от электропитания;
* запрещается разбирать монитор и пытаться самостоятельно устранять неисправности (опасные для жизни высокие напряжения на элементах схемы монитора сохраняются длительное время после отключения электропитания);
* запрещается закрывать вентиляционные отверстия на корпусе системного блока и монитора посторонними предметами во избежание перегрева элементов расположенных внутри этих устройств;
* повторное включение компьютера рекомендуется производить не ранее, чем через 20 секунд после выключения.

**7.5 Требования по пожаробезопасное™**

Помещение вычислительного цента по пожароопасности относится к категории В. Компьютер представляет собой источник повышенной пожарной опасности, так как при отклонении его реальных условий эксплуатации от расчетных, могут возникнуть пожароопасные ситуации. Поэтому важно соблюдать следующие требования:

- фальшпол в помещениях ЭВМ должен быть изготовлен из негорючих материалов или иметь огнестойкость не меньше 30 мин;

- пространство под ним следует разделять негорючими диафрагмами на отсеки площадью не более 250 кв. м. Диафрагмыдолжны иметь границу огнестойкости не меньше 0,75 часа. В местах пересечения с диафрагмами коммуникации следует прокладывать в специальных обоймах, а зазоры зашпаривать негорючими материалами;

* звукопоглощающую облицовку стен и потолков этих помещений следует изготовлять из негорючих или трудногорючих материалов;
* для промывания деталей ЭВМ рекомендуется использовать негорючие жидкости;
* электропитание ЭВМ должно иметь автоматическую блокировку отключения электроэнергии в случае остановки охлаждения и кондиционирования;
* систему вентиляции следует оборудовать блокировочным устройством, обеспечивающим ее отключение на случай пожара;
* агрегаты, узлы и кабельные каналы ЭВМ должны очищаться от пыли ежеквартально;
* после окончания работы, перед закрытием помещения, персональные компьютеры необходимо отключить от электросети;
* в помещениях малых ЭВМ, не подлежащих оборудованию автоматическими установками газового пожаротушения, следует предусматривать встраивание системы автоматической пожарной сигнализации, реагирующей на появление дыма, и обеспечивать эти помещения передвижными или переносными углекислотными огнетушителями из расчета не менее двух на каждые 20 кв. м помещения.

**7.6 Первичные средства пожаротушения и план эвакуации из помещения при пожаре**

Здание вычислительного центра должно быть обеспечено первичными редствами пожаротушения: огнетушителями, ящиками с песком, бочками с во­дой, покрывалами с негорючего теплоизоляционного полотна, грубошерстяной ткани или войлока, пожарными ведрами, совковыми лопатами, пожарным инструментом (крюками, ломами, топорами и тому подобное), которые используются для локализации и ликвидации пожаров в начальной стадии их развития.

Пожарные щиты (стенды) устанавливаются на территории предприятия из расчета один щит (стенд) на площадь 5000 кв. м. К комплекту средств пожаротушения, которые размещаются на нем, следует включать: огнетушители - 3 шт., ящик с песком - 1 шт., покрывало с негорючего теплоизоляционного материала или войлока размером 2 м х 2 м -1 шт., крюки - 3 шт., лопаты - 2 шт., ломы - 2 шт., топоры - 2 шт. Пожарные щиты (стенды) и средства пожаротушения должны быть окрашены в соответствующие цвета по действующему государственному стандарту. На пожарных щитах (стендах) следует указывать их порядковые номера и номер телефона для вызова пожарной охраны.

Покрывала должны иметь размер не менее чем 1 м х 1 м. Они предназначены для тушения небольших очагов пожаров в случае возгорания веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха. Покрывала следует применять для тушения пожаров классов А, В, В, Е.

Ящики для песка должны иметь вместимость 0,5; 1,0 или 3,0 куб.м и быть укомплектованными совковой лопатой. Конструкция ящика должна обеспечивать удобство добычи песка и делать невозможным попадание осадков.

Общественные здания и сооружения должны иметь на каждом этаже не меньше двух переносных огнетушителей. В местах сосредоточения аппаратуры и оборудования большой стоимости количество средств пожаротушения может быть увеличено. Когда от пожара защищаются помещения с ЭВМ, то следует учитывать специфику огнетушащих веществ в огнетушителях, которые приводят во время тушения к порче оборудования. Эти помещения рекомендуется оснащать углекислотными огнетушителями с учетом предельно допустимой концентрации огнетушительного вещества расположения огнетушителя не должно превышать 20 м.

Переносные огнетушители должны размещаться путем:

а) навешивание на вертикальные конструкции на высоте не больше 1,5 м от уровня пола до нижнего торца огнетушителя и на расстоянии от дверей, достаточном для ее полного открывания;

б) установление в пожарные шкафы рядом с ПК, в специальные тумбы или вПЩ.

План эвакуации из помещения при пожаре представлен на рисунке 7.1.

Рисунок 7.1 План эвакуации из помещения при пожаре 7.7 Экологическая экспертная оценка

При внедрении и эксплуатации разрабатываемого программного продукта можно выделить такие факторы, как электромагнитное и ионизирующее излучение, которые могут отрицательно влиять на здоровье оператора ЭВМ. Поэтому следует использовать технику (видеодисплейные терминалы ПЭВМ), удовлетворяющие гигиеническим требованиям. Для уменьшения электростатического излучения следует ежедневно в помещении ВЦ проводить влажную уборку.

Характер работы с компьютером вызывает зрительное утомление и способствует развитию различного рода заболеваний, поэтому необходимо правильно организовывать освещение в помещении, следить за правильным положением за компьютером, для снятия зрительного напряжения делать в перерывах зарядку для глаз.

Умственное напряжение способствуют снижению работоспособности, по­этому важно соблюдать режим труда и отдыха при работе с компьютером.

Необходимо также использовать уничтожители для электромеханической утилизации бумаги и решать вопросы утилизации устаревших и отработавших частей компьютера.

Таким образом, при использовании ПЭВМ не происходит загрязнения биосферы, так как отсутствуют выбросы газов, паров, дыма и аэрозолей в атмосферу, загрязнение окружающей среды болезнетворными микроорганизмами и т.д., не создается вредных излучений или полей в случае соблюдения всех вышеуказанных требований техники безопасности.

**8 Оценка устойчивости рабочего места для измерения двухполюсных и многополюсных радиоэлементов к воздействию проникающей радиации и ЭМИ ядерного взрыва**

**8.1 Методика оценки устойчивости РЭА к воздействию ядерного взрыва**

В связи с тем, что рабочее место для измерения двухполюсных и многополюсных радиоэлементов предназначено для эксплуатации в лабораторных условиях, то оценка его устойчивости к проникающей радиации нецелесообразна. Поэтому ограничимся рассмотрением воздействия ЭМИ.

Методика оценки устойчивости работы электронных систем к воздействию ЭМИ [18] достаточно сложна и громоздка, так как требует глубокого анализа проектируемой системы для выделения в ней функционально связанных приёмников ЭМИ, что не всегда возможно сделать. Несмотря на сложность этой методики, полученные результаты оценки имеют весьма приближённый характер. Поэтому в технической литературе часто рекомендуется использовать приближённый метод оценки устойчивости РЭА к воздействию ЭМИ, который исходит из следующих предпосылок:

* оценка устойчивости проводится только по электрической составляющей поля ЭМИ, так как она является определяющей в повреждении элементов схем;
* для оценки уровня устойчивости элементов схем используют литературные данные об уровнях, но с введением поправки, учитывающей конкретные условия работы элементов в исследуемой схеме.

В качестве критерия устойчивости элементов выбирается количество поглощённой энергии. Известно, что поглощённая энергия пропорциональнаквадрату линейного размера элемента. Поэтому поправочный коэффициент определяется по формуле

**8.2 Оценка устойчивости рабочего места для измерения параметров радиоэлементов к воздействию ЭМИ ядерного взрыва**

Разрабатываемое рабочего места для измерения параметров радиоэлементов имеет в своём составе транзисторы маломощные, микросхемы, реле слабого тока, резисторы, конденсаторы.

В соответствии с изложенной выше методикой выберем из таблицы [17] данные о пороге устойчивости элементов Пкр. Из анализа схемы рабочего места определяем длины проводников 'э и 'л. Рассчитываем по формулам (8.1) и (8.2) поправочный коэффициент и порог устойчивости элемента соответственно. Полученные результаты заносим в таблицу 8.1.

На основе полученных данных составляем таблицу 8.2, сравнительных характеристик элементов конструкции.

Таблица 8.1 - Расчет поправочного коэффициента и порога устойчивости элементов конструкции

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элементы  | Пкр  | /э,мм  | 1л, мм  | Кп  | Пкрсх, Дж  |
| Транзисторы маломощные  | 5х10'5  | 15  | 20  | 5,4  | 9,3x1 0'6  |
| Микросхемы  | IxlO'5  | 20  | 15  | 5,4  | 1,2x1 0"6  |
| Реле слабого тока  | 2х10-3  | 20  | 50  | 12,3  | 1,6x1 0-4  |
| Резисторы  | IxlO-2  | 15  | 100  | 58,8  | 1,7x1 0"4  |
| Конденсаторы  | IxlO'2  | 15  | 15  | 4  | 2,5хЮ'3  |

Таблица 8.2 - Сравнительные характеристики элементов конструкции

|  |
| --- |
| Величина Пкрсх, Дж Наименование элемента 1 0"7 1 0'6 1 0"5 1 0'4 1 0'3 1 0'2Транзисторы маломощные Реле слабого тока Конденсаторы  |

Из таблицы видно, что наименее устойчивыми элементами схемы являются транзисторы маломощные и микросхемы. Большинство элементов схемы имеет Пкр=10"4 Дж. Поэтому целесообразно повысить порог устойчивости слабых элементов на 3-4 порядка.

Такое повышение устойчивости элементов можно осуществить за счёт экранирования проводников, самих элементов а также за счет уменьшения длины соединительных проводников, что обеспечивается условиями разработки ВЧ-конструкций.

**Заключение**

При выполнении теоретической части выпускной квалификационной работы были рассмотрены компонентные, формальные и факторные модели радиокомпонентов, было спроектировано рабочее место для формирования статистических высокочастотных моделей двухполюсных и многополюсных радиоэлементов и изготовлен макет нестандартной части рабочего места в составе измерительно-контрольного устройства и головок для измерения высокочастотных параметров и ВАХ двухполюсных РК и транзисторов. Проведены испытания рабочего места на примере измерения статистических параметров ДП.

В процессе выполнения экспериментов были исследованы частотные и режимные характеристики пассивных линейных и нелинейных РК. Доказана возможность использования спроектированного рабочего места для измерения динамических параметров РК в диапазоне до 100 МГц.

Впервые установлено, что полное сопротивление полупроводникового диода на высокой частоте имеет индуктивный характер и предложена скорректированная модель диода.

Были выполнены необходимые конструктивные расчеты; технико-экономическое обоснование проведения опытно-конструкторских работ; оценка конкурентоспособности рабочего места для измерения параметров РК; расчет лимитной цены и цены потребления готового изделия; выбор мер по защите человека и окружающей среды; разработка методики защиты от ЭМИ ядерного взрыва.

Большая часть графической и вся текстовая части выполнены с применением современных средств ЭВМ (пакет программ Microsoft Office ХР; система трёхмерного твердотельного моделирования КОМПАС 3D v6.0; САПР печатных плат Р- CAD 2001 ).

**Список литературы**

1. Поливанов К. М. В трех частях. Часть первая. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи с сосредоточенными постоянными.- M.-JL: Энергия, 1965. - 360 с.
2. Ортюзи Ж. Теория электрических цепей. Т. 1. Анализ. Пер. с франц. Под ред. Л. Р. Явича.- М.: Мир, 1970. - 408 с.
3. Волгов В. А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. Изд. второе, перераб. и доп.- М.: Энергия, 1977. - 656 с.
4. Альтман Дж. Устройства сверхвысоких частот., пер. с англ. Под ред. проф. И. В. Лебедева.- М.: Мир, 1968. - 788 с.
5. Транзисторы - параметры, методы измерений и испытаний. Под ред. И. Г. Бергельсона, Ю. А. Каменского, И. Ф. Николаевского.- М.: Сов. радио. 1968.-504 с.
6. Ильин В. И. Машинное проектирование электронных схем.- М.: Энергия, 1972.-280 с.
7. Макромоделирование аналоговых интегральных микросхем / А. Г. Алексеенко, Б. И. Зуев, В. Ф. Ламекин, И. А. Романов.- М.: Энергия, 1977. -96с.
8. Разевиг В. Д. Применение программ Ри-СОП и Pspice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: В 4 вып.- М.: Радио и связь, 1992.-482 с.
9. Логан John. Моделирование при проектировании схем и систем.- ТИИЭР, 1972, т. 60, С. 207-223.
10. Логан John. Characterization end modeling for statically design.//«Ball. Syat. Techn. J.», 1971.- № 5.- p. 1105 - 1147.
11. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы: Учеб. Для вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики» и «Полупроводниковые и микроэлектронные приборы» - 4-е изд., перераб. И доп.-М.: Высш. шк., 1987.-479 с.
12. Чернышев А. А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.- М.: Радио и связь, 1988. - 256 с.
13. Gummel H. К. Poon H. С. An integral charge control model of bipolar transistors.//«Bell Syst. Techn. J.», 1970.- № 5.- p. 827 - 852.
14. Носов Ю. Р. и др. Математические модели элементов интегральной электроники.- М.: Сов. радио, 1976. - 304 с.
15. Адлер Ю. И., Маркова В. Н., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при пайке оптимальных условий.- М.: Наука, 1976. - 388 с.
16. Красовский Г. А., Филаретов Г. Ф. Планирование эксперимента.- Минск, изд. БГУ, 1982. - 302 с.
17. Щенк. Теория инженерного эксперимента.- М.: Мир. - 228 с.
18. Столярский Э. Измерение параметров транзисторов. / Пер. с польск. А. А. Визеля. Под ред. Ю. А. Каменского.- М.: Сов. радио, 1976. - 288с.
19. Кобол Р. Теория и применение полевых транзисторов.- М.: Энергия, 1975.-248 с.
20. Cintognetti P., Massobrio G. Smiconoluctor device modelling wich spice. McGraw - Hill.- New York, 1988. 391 p.
21. Энгель В. Л., Дирке X. К., Майнерцхаген Б. Моделирование полупроводниковых приборов.//ТИИЭР.- 1983.- Т7 !.-№!.- с.14-41.
22. Curtice W. E. A MOSFET model for use in the design of Ga-As integrated circuits//IEEE Transaction on Microwave theory and techniques.- 1980.- MTT.- p.28.
23. Statz H., Newman P., Smith I. W., Pusel R. A., Haus H. A. Ga As FET devis and circuit simulation in SPISE/ЛЕЕЕ Transactions of Microwave theory and techniques.- 1984.- MTT - 32.- p,471 - 473.
24. Microsim Pspice A/D Circuit Analysis References Manual. Ver. 6.2 Microsim Corporation.- California, 1995.-431 p.
25. Мирошник И. А., Рындин А, А., Шкурина Н. А., Шуткин В. С. Методика формирования транзистора для автоматизированного проектирования сигналов РЭА // Методы и устройства передачи информации по каналам связи: Межвуз. сб. науч. тр.- Воронеж. ВПИ, 1979.- с.115 - 119.
26. Мирошник И. А., Ершов Л. В., Жеребцов В. М. Некоторые результаты исследования волновых параметров интегральных схем в радиодиапазоне// МЗС серия: ЭЗ №13, 1979. ВИМИ. Спр. депон. №3 - 5965, НИИЭИР.
27. Мирошник И. А., Ершов Л. В., Жеребцов В. М., Жалнина Г. М. К вопросу исследования катушек индуктивности в зависимости от частоты, температуры и режима питания // РЖ Военная техника и экономика, сер. общетехн., №4, 1978. ВИМИ. Спр. о депон. №3 - 5478. НИИЭИР.
28. Мирошник И. А., Ершов Л. В., Жеребцов В. М., Жалнина Г. М. Формирование статических моделей индуктивных элементов электрических цепей // Радиотехнические устройства: Межвуз. сб. науч. тр.- Воронеж. ВПИ, 1978.-с. 98-102.
29. Мирошник И. А., Ситников В. Г., Чургомов В. А. Автоматизация формирования аналитических моделей линейных микросхем // Модели и алгоритмы сложных систем: Межвуз. сб. науч. тр.- Воронеж. ВПИ, 1985.- с. 131-136.
30. Мирошник И. А., Ершов Л. В., Жеребцов В. М., Никитин В. В. Исследования волновых параметров интегральных схем в радиодиапазоне // Средства связи, 1976.- Вып. 1-2.- с. 27 - 30.
31. Мирошник И. А., Ершов Л. В., Жеребцов В. М. Моделирование катушек индуктивности при проектировании RLC фильтров // Средства связи. 1978.- Вып. 3.- с. 36 - 37.
32. Мирошник И. А., Рындин А. А., Шкурина П. А. Расчет и анализ погрешности идентификации модели транзистора // ВИНИТИ Дипломированные научные работы, 1983.- №3.- Др №2018 - А.
33. Мирошник И. А., Рындин А. А., Шкурина Н. А. Програмно - технические средства определения параметров динамических модулей компонентов САПР РЭА // Известия Ленинградского ордена Ленина электротехнического института имени В. И. Ульянова (Ленина): Сб. научи, тр., Вып. 347, Автоматизированное проектирование в радиотехнике и приборостроении.- Л.: ЛЕТИ, 1984.- с. 42 -49.
34. Бутырин А. А., Мирошник И. А. К методике измерения Y - параметров микропомошников с учетом паразитных параметров измерительных цепей / В сб - «Элементы и устройства микроэлектронной аппаратуры» // Межвуз. сб. науч. трудов.- Воронеж, ВГТУ, 1995.- с. 55 - 60.
35. Бутырин А. А., Исаев И. В., Мирошник И. А. Машинно- ориентированные методы и технические средства измерения параметров моделей двухпомослых радиоэлементов // В сб. научных трудов.- Воронеж ВГТУ, 1995.-с. 61-67.
36. Мирошник И. А., Цветов Д. В., Богачев А. Н. Алгоритмические методы и технические средства идентификации параметров моделей аналоговых микросхем «Элементы и устройства микроэлектронной аппаратуры» // Межвуз. сб. науч. трудов.- Воронеж, 1997.- с. 112-116.
37. Мищериков С. А., Прокакпьев А. И., Мирошник И. А. Влияние поверхностных состояний на пороговое напряжение МОП структуры // Вестник Воронежского государственного технического университета. Серия «материаловедение» вып. 1.1- Воронеж, ВГТУ, 1996.- с. 170 - 171.
38. Богачев А. Н., Мирошник И. А., Цветов Д. В. Оптимизация активного векторного эксперимента при измерении вольтамперных характеристик биполярных транзисторов // Элементы и устройства микроэлектронной аппаратуры: Межвуз. сб. науч. трудов.- Воронеж, 1999.- с. 106-110.
39. Мирошник И. А., Калюжный А. Н. Исследование точностных характеристик малосигнальных моделей биполярных транзисторов // Элементы и устройства микроэлектронной аппаратуры: Межвуз. сб. науч. трудов.-Воронеж, 1999.-с. 116-122.
40. Калюжный А. Н., Мирошник И. А. Определение оптимального режима измерения двухпомостников в схемах обеспечения надежности и качества приборов. Воронеж, 2000. с. 138 - 145.
41. Мирошник И. А. Измерения волновых параметров рассеяния многополосных радиоэлементов в радиодиапазоне / Изв. вуз. Радиоэлектроника, 1977, т.20, №5. с. 86 - 89. Машинно – ориентированные способы определения параметров линейных многополосников на высоких частотах. Воронеж. Политехи. Инст. 1988. 31с.: ил 11, Библиогр. 11 назв. - Рус. Деп. в ВИНИТИ 25.01.89, № 609 - 1389.
42. А. с. 601638, кл. G 01 R 31/32. Устройство для измерения параметров рассеяния транзистора / И. А. Мирошник, Л. В. Ершов и др. (СССР). №2338392, заявлено 22.03.1976; Опубл. 05.04.78. Бюл. №3,1978. 1с,
43. А. с. 741195, кл. G 01 R 27/28. Устройство для измерения параметров рассеяния четырехполюсника / П. А. Ионкин, В. М. Жеребцов, В. Г. Миронов, И. А. Мирошник (СССР). №262757, Заявлено 14.06.78; Опубл. 15.06.80. Бюл. №2, 1980. 1с.
44. А. с. 748287, кл. G 01 R 27/28. Устройство для измерения линейных параметров рассеяния четырехполюсников в радиодиапазоне / Л. В. Арапчеева, Л. В. Ершов, В. М. Жеребцов, И. А Мирошник, В. В. Никитин (СССР). №2172144, Заявлено 15.07.80. Бюл. №26, с. 1.
45. А. с. SU 1084709 А, кл. G 01 R 31/26. Устройство для измерения параметров рассеяния транзистора / И. А. Мирошник, Н. А. Шкурина и др. (СССР). №3488414, Заявлено 3.09.1982; Опубл. 07.04.84. Бюл, №13, 1984. с.
46. А. с. SU 1317370 А, кл. G 01 R 27/32. Способы определения линейных параметров многополюсника / И. А. Мирошник, Н. А. Шкурина и др. (СССР), №3578025, Заявлено 6.01.1983. Опубл.
47. А. с. SU 1561693 А1, кл. G 01 R 31/26. Устройство для измерения динамических параметров транзисторов / И. А. Мирошник, Ю. М. Белоцерковский и др. (СССР). №4357509, Заявлено 3.09.1988.
48. А. с. SU 150282, вел. G 01 R 27/00. Устройство для измерения комплексных параметров двухполюсников / И. А. Мирошник, М. И. Хмолевский и др. (СССР). №4149042, Заявлено 19.11.1986, Опубл. 23.07.90. Бюл. №17. с.
49. А. с. SU 1619209 А1, кл. G 01 R 31/28. Устройство для измерения динамических параметров четырехполюсных микросхем / И. А. Мирошник №4910609, Заявлено 15.04.1988, Опубл. 07.01.91 Бюл. №1, с.
50. Методические указания по выполнению организационно - экономической части дипломных проектов для студентов специальностей 230100 «Радиотехника» и 230300 «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» всех форм обучения / Воронеж. Гос. Техн. ун-т; Сост. И.Г. Орлова, Б.Г. Преображенский. Воронеж, 1994.
51. Калюжный А.Н, Аттестация образцовых мер при измерениях в схемах с конечными нагрузками // Элементы и устройства микроэлектронной аппаратуры: Межвуз. Сб. научи, тр. Воронеж: ВГТУ, 1999. с. 111-115.
52. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: - М. : ИНФРА - М., 2001-672с.
53. Санитарные правила и нормы 2.2.2.542 — 96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персонал ЭВМ, и организация работы.— М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996