**Чувашский государственный университет**

**им. И. Н. Ульянова**

**НИКИФОРОВ Игорь Кронидович**

**ДИАГНОСТИКА ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ И**

**УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО**

**УПРАВЛЕНИЯ.**

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

**Реферат**

Научный руководитель

д.т.н. профессор

**Пряников В.С.**

**Чебоксары 1998**

**Содержание**

1. Понятие надежности. ..............................................................................................3

1. Отказ. Виды отказов. Дефекты. ..............................................................................7
2. Обзор неразрушающих методов испытания элементов радиоэлектронной аппаратуры. ...................................................................................................................10
3. Прогнозирование надежности полупроводниковых приборов по уровню собственных шумов. .......................................................................................................13
4. Методы измерения НЧ шумов. .............................................................................15
5. Автоматизация измерения НЧ шумов полупроводниковых приборов и интегральных схем. ......................................................................................................17
6. Список литературы. ..............................................................................................18

**1.Понятие надежности.**

Прогресс современной техники, высокие требования к точности, помехозащищенности, быстродействию привели к усложнению электронных узлов и блоков радиоаппаратуры и оборудования.

Усложнение аппаратуры резко снижает надежность современного радиоэлектронного оборудования. Низкая надежность приводит к тому, что стоимость эксплуатации такого оборудования в течение одного года превышает в несколько раз стоимость самого оборудования, что приводит к огромным экономическим потерям и резко снижает эффективность использования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Возникновение проблемы надежности по [1] обусловлено, главным образом, следующими причинами:

* ростом сложности электронной аппаратуры;
* отставанием качества элементов радиоэлектроники от их количественного определения;
* повышением ответственности функций, выполняемых аппаратурой (цена отказа); исключением человека-оператора (полным или частичным) при выполнении аппаратурой своих функций;
* сложностью условий. В которых эксплуатируется РЭА.

Основное противоречие современной техники состоит в том. Что если не приняты специальные меры по повышению надежности и чем сложнее и точнее аппаратура управления, тем менее она надежна. Особую остроту приобретает требование безопасной работы РЭА в системе комплексной автоматизации процессов управления с применением сложных многосвязных систем. Отказ подобных систем может привести к катастрофическим последствиям.

Проблема обеспечения надежности элементов и устройств автоматического управления включает в себя множество этапов: от создания элементов и аппаратуры, до ее практического использования. Поэтому все факторы, влияющие на надежность РЭА, условно принято рассматривать применительно к трем этапам: проектирования, изготовления, эксплуатации.

При проектировании учитывают следующие факторы:

* качество и количество применяемых элементов и деталей;
* режимы работы элементов и деталей;
* стандартизация и унификация;
* доступность деталей узлов и блоков для осмотра и ремонта.

К производственным факторам, отрицательно влияющим на надежность относятся:

* отсутствие качественного контроля материалов и комплектующих изделий, поступающих от смежных предприятий;
* нарушение сортности и недоброкачественная замена материала при изготовлении деталей;
* установка в приборах элементов, подвергающихся длительному хранению в неблагоприятных условиях, без предварительной проверки;
* недостаточное внимание к чистоте оборудования, рабочего места, воздуха и т.д. (что особенно важно в производстве микросхем и сборке точных элементов и устройств);
* íĺďîëíűé ęîíňđîëü çŕ őîäîě îďĺđŕöčé č ďđč âűďóńęĺ ăîňîâîé ďđîäóęöčč;
* нарушение режима сложных технических процессов.

К эксплуатационным факторам, влияющим на надежность, относятся следующие:

* квалификация обслуживающего и ремонтного персонала;
* воздействие на приборы и механизмы внешних условий (климатических; механических и т.п.) и факторы времени.

 На основе вышеизложенного дается определение надежности по [1].

«Надежность - свойство изделия сохранять способность к выполнению своих Функций в заданных условиях эксплуатации».

 К основным фундаментальным понятиям теории надежности относятся надежность и отказ.

Большинство специалистов по теории надежности разделяют характеристики надежности на две группы: количественные и качественные. Количественное определение надежности не может быть принято по тому, что надежность определяется множеством количественных характеристик и ни одна из них не может в полной мере выражать это понятие. Поэтому таким может быть только качественное определение, характеризующее определенные свойства конкретного изделия. Чаще всего же стремятся использовать количественные характеристики, так как качественное определение надежности не позволяет выразить надежность математически (числом). Это вызвало необходимость создать основные критерии, с помощью которых можно было бы количественно оценить надежность различных элементов, дать сравнительную оценку надежности различных изделий. К числу широко применяемых критериев надежности по [1], [3] относятся:

* вероятность безотказной работы за время t

 (1)

определяется как вероятность события, когда время безотказной работы T меньше, чем время t;

* вероятность отказов

 (2)

представляет собой интегральную функцию распределения случайной величины F(t). Плотность распределения случайной величины определяется как производная от функции распределения

(3)

* среднее время безотказной работы

(4)

понимается как математическое ожидание времени работы изделия до отказа;

* среднее время между соседними отказами (наработка на отказ)

(5)

где tcpi - среднее время исправной работы между двумя соседними отказами i-того образца аппаратуры, М - число испытываемых образцов. Понимается как среднее время ремонтируемого изделия между двумя соседними отказами;

* Интенсивность отказов (опасность отказов)

(6)

Показывает какая доля от работающих в момент времени t элементов отказывает в единицу времени;

* частота отказов

(7)

Понимается плотность вероятности времени работы изделия до первого отказа, статистически оно определяется как отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий, при условии, что все вышедшие из строя элементы не восполняются;

* средняя частота отказов

(8)

Понимается отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются новыми.

 Критериями надежности могут быть также и коэффициенты, характеризующие различные показатели надежности РЭА, как то:

* коэффициент готовности

(9)

где tp - время исправной работы РЭА,

 tn - время вынужденного простоя,

 n - число перерывов в работе за определенный календарный срок.

Кг показывает вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени;

* коэффициент вынужденного простоя

(10)

Показывает вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени;

* коэффициент профилактики

(11)

Показывает отношение числа часов, потраченных на профилактику и ремонт аппаратуры, ко времени ее исправной работы, взятых за один и тот же календарный срок;

* частота профилактики

(12)

где n - число ремонтов РЭА,

 m - число профилактических осмотров.

Понимается как отношение числа осмотров и ремонтов РЭА ко времени ее вынужденного простоя и времени ее исправной работы в течение определенного календарного срока;

* коэффициент отказов

(13)

где ni - число отказов РЭА вследствие выхода из строя данного типа элементов (например, диодов, конденсаторов и т.д.);

n - число отказов РЭА, вызываемых выходом из строя любых элементов, входящих в ее состав.

Понимается как отношение числа отказов РЭА из-за выхода из строя данного типа элементов к общему числу отказов РЭА, т.е. отмечает наиболее часто выходящие из строя элементы РЭА;

* относительный коэффициент отказов

(14)

где Ni - число элементов i-того типа РЭА,

 N - общее число элементов в РЭА;

* коэффициент расхода элементов

(15)

где ai - число вышедших из строя элементов i-того типа,

 вi - число вышедших из строя элементов i-того типа, изъятых в процессе профилактических осмотров и ремонта,

 t - время, в течение которого проводится испытание РЭА;

* коэффициент стоимости эксплуатации

(16)

где Cэ - эксплуатации РЭА в течение одного года;

 Cи - стоимость изготовления РЭА.

Понимается как отношение одного года эксплуатации к стоимости ее изготовления;

* прочие коэффициенты.

Критериями надежности могут быть и различные отношения действительной и идеальной характеристик работы РЭА. Характеристикой надежности называют количественное значение критерия надежности для конкретной детали, узла, системы и т.д. Количественная оценка надежности позволяет: производить расчет надежности; сформулировать требования, предъявляемые к надежности вновь разрабатываемой РЭА; рассчитать предполагаемые сроки службы РЭА, сроки планового ремонта и профилактических работ.

**2. Отказ. Виды отказов. Дефекты.**

Вторым фундаментальным понятием теории надежности является понятие отказа.

«Отказ - это событие, после возникновения которого изделие утрачивает способность выполнять заданные функции». Отказы по [2] классифицируют по следующим признакам:

* по степени влияния на работоспособность изделия (полные и неполные);
* по физическому характеру непосредственного проявления (катастрофические (внезапные) и параметрические));
* по связи с другими отказами (зависимые и независимые);
* по времени существования (устойчивые (необратимые), временные (обратимые, устранимые) и перемежающиеся (мерцающие)).

 Основным является разделение отказов на внезапные и постепенные.

Внезапным отказом **НАЗЫВАЕТСЯ ТАКОЙ ОТКАЗ, КОТОРЫЙ ВОЗНИКАЕТ В РЕЗУЛЬТАТЕ СКАЧКООБРАЗНОГО** **ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЯ.**

Постепенный отказ - это отказ, возникший в результате постепенного изменения характеристик изделия. Отказ вспомогательных элементов, не влияющих на надежность, называют второстепенной неисправностью. Второстепенные неисправности подразделяют на дефекты и неисправности. Дефектами называются неисправности, которые в момент их обнаружения не приводят к повреждению или нарушению работы и регулировке прибора, но могут в будущем вызвать подобные явления.

Неполадками называются неисправности в работе прибора, не оказывающие влияние на выполнение им основных функций.

Отказы полупроводниковых приборов (ППП) по [3] по их внешним проявлениям разделяются на короткие замыкания, обрывы и изменения параметров. Первые два типа отказов относятся к «катастрофическим», последний - к «деградационным» отказам.

Основным механизмом коротких замыканий в ППП-структурах является теплоэлектрический пробой, который условно делится на три стадии:

* Электрический пробой, т.е. туннельный либо лавинный. Первая стадия считается обратимой;
* «Второй пробой» - стадия мощного, резкого увеличения тока через ППП, что приводит к сильному локальному разогреву одного из участков ППП;
* Необратимая трансформация ППП за счет сильного локального разогрева, протекающим через ППП электрическим током. Образуется либо проплавленные структуры, либо обрыв внутреннего соединительного проводника, либо образование проводящего канала между разными структурами ППП.

Перечислимосновные дефекты, приводящие к короткому замыканию в результате теплоэлектрического пробоя:

* плохое (неполное)соединение кристалла с корпусом;
* неравномерное распределение тока в структуре. Сравнительно редко короткие замыкания возникают в результате случайного попадания внутрь корпуса ППП токопроводящих частиц. Замыкания электродов структуры с кристаллом возникают иногда из-за провисания внутренних проводников вследствие их избыточной длины.

Основными механизмами обрывовв цепях электродов ППП являются следующие:

* механические разрушения соединений кристалла с корпусом или сварных соединений внутренних проводников с другими элементами конструкций при воздействии вибрации, ударов, больших линейных ускорений;
* химические и электрохимические разрушения соединений и металлических пленок;
* рост интерметаллической базы в местах соединения разных металлов и «расслоение» структуры. Специфические обрывы возникают иногда вследствие значительных напряжений в проводниках прибора, залитых пластмассой. Температурные коэффициенты линейного расширения металла проводника и пластмассы различны, из-за чего при больших изменениях температуры на Т в проводнике возникает достаточное напряжение

где Е - модель упругости проволоки,

 - температурные коэффициенты расширения пластмассы и проводника.

Часто обрывы по этой причине оказываются перемежающимися и проявляются вблизи некоторой критической температуры.

 В планарных ППП обрывы могут возникать из-за дефектов алюминиевой металлизации токопроводящих дорожек и контактных площадок.

 Основными механизмами отказов при изменении и нестабильности характеристик ППП являются генерация и перемещение электрических зарядов на поверхности кристалла ППП, что ведет к изменению концентрации подвижных носителей рекомбинации. Некоторые причины появления и движения поверхностных зарядов следующие:

* появление ионов на поверхности кристалла. Зависит от способа обработки кристалла, влажности и свойств окружающей среды. Общим свойством зарядов этого типа является их предрасположенность к «расползанию» по поверхности, а скорость расползания зависит от значения поверхностного сопротивления и удельной емкости диэлектрического слоя относительно полупроводника. Само поверхностное сопротивление сильно зависит от температуры и влажности и время расползания рядов уменьшается с ростом температуры и влажности
* появление заряда, образованного ионами внутри пленки окисла. Как правило, даже при тщательно разработанном техпроцессе, всегда имеются положительные ионы натрия, которые перемещаются при высоких температурах (100-200оС) и наличии притягивающего электрического поля к границе кремний-окисел. Для защиты от перемещения ионов натрия, в окисле создают тонкую пленку фосфорно-силикатного стекла (SiO2\*P2O5), которая захватывает эти ионы. Кроме ионов натрия внутри пленки окисла могут перемещаться и ионы других элементов (так, ионы золота создают отрицательный заряд). Надо отметить, что при перемещении ионов имеет значение направление поля, поэтому при перемене направления поля ионы двигаются в противоположную сторону, поэтому этот процесс считается обратимым;
* появления заряда, образованного избыточными атомами кремния в окисле около границы с кристаллом. Из-за того, что атомы кремния находятся в избытке при механизме образования окисла кремния, образуется положительный заряд, созданный оставшимися атомами кремния. При нормальной температуре этот заряд практически неподвижен, при очень высокой температуре и наличии сильного поля этот заряд перемещается в направлении к внешней поверхности окисла пленки (SiO2);
* появление заряда, образованного е, находящимися на поверхностных уровнях. При обрыве кристаллической решетки на границе появляются атомы полупроводника с нарушенными электронными связями, т.е. е занимают энергетические (поверхностные) состояния, лежащие внутри запрещенной зоны энергий для данного полупроводника. Из-за этого е с такой энергией не могут проникать в глубь кристалла и остаются только вблизи поверхности. При заполнении и освобождении соответствующих энергетических состояний носители заряда - е и дырками возникают и исчезают поверхностные заряды. Чем дальше от полупроводника локализован поверхностный энергетический уровень, тем больше время его заполнения или освобождения. Этот процесс вызывает, с одной стороны, низкочастотный (НЧ) шум и является причиной нестабильности основных параметров ППП;
* появление и образование каналов проводимости вдоль поверхности кристалла. Этот процесс, как правило, приводит к изменению коэффициента усиления в биполярных транзисторах и изменению многих характеристик полевых транзисторов (ток инжекции и «паразитного» перехода снижает эффективность эмиттера дополнительный обратный ток или ток через канал уменьшает усиление и крутизну транзисторов в режиме малых токов).

 Эксперименты многих исследователей показали существенные изменения параметров ППП в процессе испытаний, если к переходам ППП приложено большое напряжение в комбинации с высокой температурой окружающей среды. Было доказано, что при таких напряжениях в электрическом поле происходит разделение и группировка положительных и отрицательных ионов на поверхности, дрейф этих ионов по направлению к электродам, имеющим соответствующий знак заряда. Было доказано, что эти процессы являются источником НЧ шума и ответственны за изменение основных параметров ППП во времени.

**3. Обзор неразрушающих методов испытания**

**элементов РЭА.**

 Наиболее частой причиной, по мнению многих специалистов, снижающей качество готовой продукции являются скрытые дефекты и важную роль в проблеме повышения качества и надежности изделий электронной техники (ИТЭ) отводят неразрушающим испытаниям (НРИ) - дефектологии, науке о принципах, методах и средствах обнаружения дефектов.

 Для контроля дефектов в ИТЭ разделяют две группы НРИ. Первую группу составляют методы интегральной диагностики, наиболее эффективными из них являются методы, основанные на измерении шумовых характеристик, в том числе электрических и акустических шумов. Вторую группу составляют методы локальной диагностики. В настоящее время для контроля ИЭТ применяются общие и специальные методы НРИ. К общим относятся: визуальный контроль, испытание давлением, акустическая и магнитная дефектоскопия, метод капиллярной дефектоскопии, радиография и метод вихревых токов.

 К специфическим методам НРИ относятся: рентгеновские, голографические, тепловые, оптические и электрические методы.

 Визуальный контроль наиболее широко распространенный метод НРИ. Используется для исследования поверхностных характеристик (повреждения, посторонние включения, расположение элементов и пр.). Метод прост, требует малых затрат времени и недорог [3].

 При испытании давлением дефекты обнаруживаются по проникновению газов или жидкости в полости дефектов или через эти дефекты [3].

 Под акустическими испытаниями понимают звуковые и ультразвуковые испытания. Наиболее широко используется ультразвуковая спектроскопия. Метод основан на использовании явлений, связанных с дифракцией света. Метод звуковой спектроскопии используется для формирования изображения путем сканирования эхоимпульсом. Недостатком является то, что объекты контроля сравнимы по размерам с пределами разрешения, из-за чего, как правило, получается некачественное изображение. Также, большинство объектов контроля взаимодействует с ультразвуком сложным образом, из-за чего полученные изображения нуждаются в дополнительной расшифровке. [3], [6]

 Метод капиллярной дефектоскопии основан на использовании проникающих красящих или люминесцентных жидкостей, которые светятся под действием ультрафиолетового излучения. [3], [6]

 Метод магнитной дефектоскопии основан на явлении искажения магнитного поля ферромагнитного испытуемого образца при наличии в нем дефектов. [3], [6]

 Метод радиографии основан на способности рентгеновских лучей ( - лучей) проникать сквозь непрозрачные вещества и «высвечивать» неоднородности и дефекты структуры исследуемого объекта. [3], [6]

 Метод вихревых токов применяется для обнаружения аномалий электрической или магнитной проводимости, обусловленные различными механическими дефектами, неоднородностями. Изменениями структуры и неправильной кристаллизации (отклонение в режиме термообработки). Все эти аномалии электропроводности, магнитной проводимости обнаруживаются по изменениям полного сопротивления катушки, питаемой переменным током, электромагнитное поле которой служит источником вихревых токов, наводимых в испытуемом образце. [3], [6]

 Голографические методы используются в качестве как общих, так и специфических методов НРИ. Метод базируется на глубоком знании физических процессов, протекающих в исследуемых образцах. Метод очень дорогостоящий, основан на применении компьютерной техники. [3], [7]

 При тепловых методах НРИ получают информацию о параметрах и качестве изделий по распределению температуры на их поверхности в виде термограмм, которые позволяют судить о наличии скрытых дефектов. Метод основан на излучении электромагнитной энергии в инфракрасной области спектра любым телом, имеющим температуру, отличную от абсолютного нуля. Тепловые методы подразделяются на пассивные и активные.

 Пассивные - это методы, позволяющие определять распределение температуры на поверхности изделия без применения специальных источников тепловой энергии (т.е. осуществляют контроль качества изделия без искажения электрических и тепловых характеристик изделия). При активных методах имеется источник искусственного тепла, который воздействует на проверяемое изделие. Тепловые методы делятся так же на контактные и бесконтактные. В основном применяют контактные методы, к которым относится большинство методов НРИ. В этой области, как то:

* **методы измерения температуры с помощью термопар**;
* **люминесцентные методы**, основанные на измерении интенсивности свечения некоторых люминофоров под действием ультрафиолетового излучения;
* **методы измерения температур** **с помощью температурно-чувствительных красок**, изменяющих свой цвет при определенных температурных режимах;
* **жидкокристаллические методы**, основанные на использовании свойств холестерических жидкокристаллических соединений изменять окраску под воздействием температуры и позволяющие определять разность температур до 0.1оС.

 Бесконтактные методы измерения температуры являются более перспективными и универсальными, они не вызывают искажения температурного поля изделий, мало инерционны, обладают высокой разрешающей способностью. Здесь наиболее перспективным является метод, сущность которого состоит в регистрации каким-либо способом инфракрасного излучения, исходящего от исследуемого объекта, без непосредственного механического контакта термоприемника с ним (фотография, приборы разного назначения).[3], [6], [8]

 Электрические методы относятся к методам интегральной диагностики. Основаны на возможности оценки и прогнозирования работоспособности и величине характерных электрических параметров. Например, для контроля качества ППП измеряют параметры вольтамперной характеристики.

 Резисторы проверяют по уровню третьей гармоники. Тонкопленочные конденсаторы (ТПК) проверяют на пробой диэлектрика, используют параметры, характеризующие надежность внутреннего поля в диэлектрике, рассматривают плотность объемного заряда, накапливаемого при приложении к ТПК постоянного напряжения вблизи микровыступов, т.е. в областях локализации поля.

 К электрическим методам также относится метод контроля шумовых характеристик. [3], [4], [6]

**4. Прогнозирование надежности ППП по уровню**

**собственных шумов.**

Многие исследователи, занимающиеся надежностью РЭА, в ряде своих работ, показали, что собственные шумы ППП, электровакуумных приборов, резисторов, штепсельных разъемов, контактов реле и других элементов РЭА несут информацию об их надежности.

По [3] физической основой метода прогнозирования отказов ППП по их низкочастотным шумам является зависимость уровня шума от наличия дефектов структуры и контактов прибора. Основными источниками шума в электрических цепях и активных элементах по [3], [6], [9], [10] являются:

* **тепловой шум.** Существует в любом проводнике или полупроводнике. Среднеквадратичное значение напряжения теплового шума определяется по формуле Найквиста:

(18)

где к - постоянная Больцмана;

 Т - постоянная температура;

 R - активное внутреннее сопротивление прибора;

 f - эквивалентная шумовая полоса.

Этот шум вызывается хаотическим тепловым движением носителей заряда;

* **дробовый шум.** Этот шум возникает вследствие флуктуации концентрации носителей заряда за счет случайности процессов генерации и рекомбинации. Чаще всего для его определения пользуются формулой Шоттки и среднеквадратичное значение шумового тока определяется как

(19)

где q - заряд e;

 I - ток, протекающий через компенсаторный переход.

 Для ППП с p-n переходами учитывают, что ток через переход является суммой прямого и обратного токов, причем каждому их них присущ дробовый шум. Поэтому в транзисторах дробовые шумы возникают в эмиттерном и коллекторном переходах:

(20)

(21)

где Гэ, Гк - дифференциальные сопротивления эмиттерного и коллекторного переходов;

 Iэбо, Iкбо - их обратные токи;

 Iэ - прямой ток эмиттерного перехода.

 Многими исследователями отмечено, что тепловой и дробовый виды шумов прямо не связаны с дефектами приборов и не содержат дополнительной информации о потенциальной надежности исследуемого прибора.

 **НЧ шумы.** В литературе по надежности РЭА нет еще единой терминалогии для данного вида шума. Встречаются названия: фликкер-шум, шумы мерцания, шумы типа 1/f, избыточные шумы и НЧ шумы.

 Причиной возникновения этого шума являются различные дефекты в структурах ППП. Для этого вида шума обычно рассматривают спектральную плотность мощности этого шума, которая пропорциональна величине , где коэффициент характеризует вид спектра. Энергетический спектр шума зависит от источника флуктуации, а так же от полосы пропускания цепей, через которые проходит сигнал. Спектральная плотность мощности шума равна усредненной по времени мощности. Приходящейся на единицу полосы частот, и характеризует распределение мощности в спектре частот. [3]. Спектральная плотность G(f) измеряется следующим образом

(22)

Используется также часто коэффициент шума

(23)

где U2ш.п.- квадрат эффективного напряжения шума, приведенного на вход;

 Rг - сопротивление источника сигнала.

 Отмечено, что коэффициент шума сильно зависит от сопротивления источника сигнала, что является недостатком этого параметра.

 Многие исследователи отметили, что основные виды отказов ППП и интегральных схем (ИС) прогнозируются по уровню их НЧ шумов, поэтому считается, что чрез характеристики НЧ шума можно получить показатели надежности ППП и ИС. В качестве прогнозирующего характера можно использовать любую из рассматриваемых характеристик: Эффективное напряжение шума, коэффициент шума, спектральную плотность мощности, функцию автокорреляции.

Отмечено, что функция автокорреляции и спектральная плотность мощности любого случайного процесса тесно взаимосвязаны и для получения данных об этом процессе ( где отражаются наиболее полно физическая сущность и параметры эт000ого процесса) достаточно измерить одну из этих характеристик. Но, с точки зрения удобства измерений в производственных условиях предпочтение. отдается спектральной плотности мощности шума.

**5. Методы измерения НЧ шумов.**

По [3] при измерении электрических шумов применяют следующие методы:

**метод сравнения.** Исследуемый шум сравнивается с эталонным сигналом или шумом. В этом методе измеряются относительные величины и чаще всего метод применяют при измерении коэффициента шума;

**компенсаторный метод;**

**модуляционный метод.**

Оба метода дают высокую чувствительность и точность измерений, но реализуются только на высоких частотах. Применяют эти методы при исследовании тепловых и дробовых шумов;

**метод непосредственного измерения НЧ шума.** Метод основывается на получении спектральной плотности мощности шума на некоторой частоте через измерение эффективного напряжения шума при помощи высокочувствительного измерителя с известной полосой пропускания. Измеритель в общем случае должен содержать: линейный полосовой фильтр (с достаточно узкой полосой пропускания f), квадратичный детектор, интегратор, регистрирующее устройство. В настоящее время наиболее целесообразным считается импульсный режим измерения НЧ шума. Это связано с трудностью установления стационарного теплового режима ППП и ИС, так как доказано, что температура оказывает сильное влияние на основные электрические параметры ППП и ИС.

Рассмотрим по [3] практические схемы, реализующие измерение НЧ шумов ППП.

Структурная схема установки для измерения шумов транзисторов по [3] приведена на рис. 1. Путем измерения питающих напряжений имеем возможность менять режим работы транзистора в широких пределах. При известных режимах [3] (ток эмиттера Iэ>1 mA, напряжение коллектора Uк>3 В), имеем возможность выявления постепенных отказов за счет изменения состояния поверхности, так и внезапных оотказов за счет объемных дефектов и дефектов контактных соединений. Для маломощных транзисторов используют режим измерения коэффициента шума, указанный техническими условиями. Описание работы подробно дается [3]. Измеряют эффективное напряжение шума, приведенное к базе транзистора Uш.б.через коэффициент усиления измерительной установки по напряжению Ки

(24)

где Uс.вых - калибровочное напряжение, измеренное на выходе установки;

 Uс.вх - калибровочное напряжение на ходе исследуемого транзистора.

 Для более точного измерения спектральной плотности шума измеряют ширину пропускания фильтра, которая определяет ошибку измерения.

(25)

где К(f), К(f0) - значения коэффициентов передачи линейного фильтра на некоторой частоте f и на резонансной частоте f0 соответственно. Коэффициент Ки по [24] можно также определять следующим образом по [3]

(26)

где Кп.у.,Ки.т - коэффициенты усиления предварительного усиления и усилительной схемы на исследуемом транзисторе.

 Надо отметить, что для стабильности Ки.т применяется отрицательная обратная связь по току. В общем виде принципиальная схема включения исследуемого транзистора по [3] показана на рис.2.

Малошумящий усилитель - наиболее важная часть установки, определяющей уровень собственных шумов. В настоящее время разработано достаточное количество схем малошумящих усилителей.

Структурная схема для измерения шумов диодов приведена по [3] на рис.3.

Чтобы исключить заметный разброс значений дифференциального сопротивления при заданном токе соблюдают условия Rн<<Rдиф, тогда напряжение шума исследуемого диода определяется по формуле:

(27)

где Uш.изм. - напряжение шума, измеренное на выходе предварительного усилителя.

 Следует отметить, что погрешность измерения шума диода в сильной степени зависят от нестабильности коэффициента Кп.у., поэтому его необходимо периодически проверять. Также следует отметить, что уровень шумов диодов значительно меньше транзисторных.

 Некоторые особенности имеются при измерении шума мощных транзисторов. Как правило, здесь используется импульсный метод измерения. Схема включения мощных транзисторов по [3] приведена на рис.4. Описание схемы и процедуры измерения шума подробно дается в [3]

 Разработаны измерители шумов ИС, в частности, структурная схема одного из них по [3] имеет следующий вид.(рис.5)

 Описание работы данной структурной схемы приводится в [3].

 **6. Автоматизация измерения НЧ шумов**

**полупроводниковых приборов и**

**интегральных схем.**

Исследования НЧ шумов различных элементов РЭА проводится давно. Но с каждым годом разрабатываются все новые элементы РЭА. Меняется подчас элементная база РЭА, создаются новые технологии производства и контроля РЭА. В настоящее время считается целесообразным автоматизировать процесс измерения и контроля параметров элементов РЭА для отбраковки непригодных элементов и сокращения времени контроля.

 По [3] предлагается в целях повышения качества выпускаемой продукции предприятий электронной промышленности разработать и внедрить автоматические системы управления технологическим процессом (АСУТП). В качестве одной из подсистем АСУТП использовать контроль технологического процесса производства ППП (диоды, транзисторы, тиристоры, интегральные сборки и т. д.) по уровню НЧ шума. Считается, что этот метод универсален именно для ППП, т.к. все они состоят из различных структур с одним и более p-n переходами. В настоящее

время широкое внедрение и распространение получили АСУТП с применением компьютерных технологий и компьютерной техники.

 Предлагается следующая функциональная схема для одноразового измерения НЧ уровня шумов ППП.

 От звукового генератора подается напряжение Uг определенной частоты (от 20 Гц до 1 кГц), которое коммутируется через переключающий блок на одну из схем включения образцов. Для каждого подвида ППП (диод, транзистор, тиристор, интегральная сборка) своя схема включения. Переходной блок определяет от какой из схем включения идет сигнал и на выходе выдает напряжение Uх, которое проходит через узкополосный селективный усилитель, на выходе которого получаем напряжение шума Uш на частоте, заданной звуковым генератором. Величина напряжения шума фиксируется на табло цифрового вольтметра, который связан с компьютером шиной данных. В компьютере заложены данные по среднему значению шума Gср и дисперсии D на каждый тип ППП, проходящий контроль. При этом учитывается, что Gср определяется по (22) и уровень отбраковки потенциально ненадежных ППП определяется статистической обработкой данных.

 Исполнительное устройство работает от команд компьютера. При обнаружении потенциально ненадежного ППП, в процессе контроля, компьютер дает команду на «изъятие» исполнительному устройству элемента из выборочной партии. На компьютер так же поступает информация от переключающего блока, которая автоматически (программой в компьютере) устанавливает данные для контроля каждого из подвидов ППП. Малошумящий источник питания необходим для наиболее важных узлов: схемы включения образцов и узкополосного селективного фильтра. От качества напряжения малошумящего источника питания зависит качество полученных результатов измерения и в конечном итоге качество контроля ППП.

**7. Список литературы.**

1. **Маликов И.М.** Надежность судовой электронной аппаратуры и систем автоматического управления. Ленинград: Судостроение, 1967 - 316с.
2. Физические основы надежности интегральных схем. Под редакцией **Ю.Г. Миллера.** М.: Советское радио, 1976 - 320с.
3. **Пряников В.С.** Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов. М.: Энергия 1978 - 112с.
4. Испытания элементов радиоэлектронной аппаратуры (Физические методы надежности). **Некрасов М.М., Платонов В.В., Дадеко Л.И.** Киев: Вища школа, 1981 - 304с.
5. **Перроте А.И., Карташов Г.Д., Цветаев К.Н.** Основы ускоренных испытаний радиоэлементов на надежность. М.: Советское радио, 1968 - 224с.
6. Неразрушающий контроль элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры. Под редакцией Б.Е. **Бердичевского** М.: Советское радио, 1976 - 296с.
7. **Гинзбург В.М., Власов И.Г.** Голография в измерительной технике. М.: Советское радио, 1974 - 120с.
8. **Кузнецов Ф.К.** Тепловые параметры транзисторов и их изменение. Киев: Технiка, 1966 - 80с.
9. **Придорогин В.М.** Шумовые свойства транзисторов на низких частотах. М.: энергия, 1976 - 160с.
10. **Жалуд В., Кулешов В.Н.** Шумы в полупроводниковых устройствах. Под общей редакцией **А.К. Нарышкина**. Совместное советско-чешское издание. М.: Советское радио 1977 - 416с.