**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение

1.Общие сведения о влагозащите элементов и конструкций РЭС

1.1.Воздействие влаги на материалы и электрорадиоэлементы

1.2.Способы защиты элементов и узлов РЭС

1.3.Влагозащита компонентов и блоков РЭС

2.Методы определения степени влагозащиты РЭС

2.1.Экспериментальные методы определения герметичности

2.2.Оценочные расчеты степени герметичности блока РЭС

2.3.Расчет времени влагозащиты гермооболочки РЭС

Список литературы

**Введение**

Надежная работа радиоэлектронных средств (РЭС) в условиях повышенной влажности обеспечивается на стадии их проектирования использованием влагоустойчивых электрорадиоэлементов, материалов, покрытий и специальных конструкторско-технологических приемов. Если при конструировании РЭС не предприняты специальные меры, то воздействие повышенной влажности будет сильно влиять на параметры РЭС или даже приводить к полному выходу ее из строя.

**1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЛАГОЗАЩИТЕ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ РЭС**

**1.1. Воздействие влаги на материалы и электрорадиоэлементы**

В процессе производства, хранения и эксплуатации РЭС могут подвергаться воздействию влаги, содержащейся в окружающем пространстве, внутренней среде гермоблоков, материалах конструкции, а также в используемых при изготовлении РЭС материалах.

Наличие влаги во внутренней среде гермокорпуса РЭС обусловлено следующими причинами:

1) проникновением ее через микропоры из внешней среды;

2) невозможностью полной осушки (без влагопоглотителя) среды заполнения (например, точка росы газообразного азота после централизованной осушки составляет -70С);

3) наличием влаги в конструкционных материалах гермокорпуса.

Значительно увеличивают содержание влаги полимерные материалы, использование которых в конструкции РЭС обусловлено экономическими соображениями (уменьшение трудоемкости сборки, расхода материалов и энергии). В процессе производства и хранения полимерные материалы поглощают влагу из окружающей среды, а при нагреве эта влага выделяется во внутреннюю среду гермокорпуса.

Полимерные материалы применят для герметизации соединителей, контровки резьбовых соединений, в качестве демпфирующих и виброизолирующих слоев, для маркировки, выполнения неразъемных соединений при сборке узлов из деталей и компонентов, изготовленных из различных материалов (металлов, сплавов, керамики, ферритов, резин, пластмасс и т.д.) и различного конструктивного исполнения (печатные платы и шлейфы, объемные проводники, экраны, влагозащитные и теплоотводящие конструкции и т.д.). Полимеры входят в состав таких конструкционных материалов, как стеклотекстолит, гетинакс, лакоткань.

Вода (сконденсированная влага) - полярное, химически активное вещество, легко вступающее в соединение с различными металлами и неметаллами (газами, жидкостями, твердыми веществами, инертными газами). При этом образуются гидраты, устойчивые при низких температурах. Еще более активно вода окисляется кислородом; она реагирует с фтором, хлором, соединениями углерода. Щелочные и щелочноземельные металлы разлагают воду уже при комнатной температуре. Вода является активным катализатором. Она обладает высокими диэлектрической проницаемостью в жидкой фазе ( = 79...84) и потерями (tg): при частоте f=50 Гц tg весьма велик; при f=105 Гц tg = 1,6; при f=107 Гц tg = 0,3; при f=109 Гц tg = 0,03. При наличии примесей ионного типа вода имеет высокую проводимость (удельное сопротивление водопроводной воды составляет 106...107 Омм; дважды дистиллированной на воздухе воды - 108 Омм; перегнанной в вакууме - 1010 Омм).

Воздействие влаги на материалы и компоненты может привести к постепенным и внезапным отказам РЭС. Увлажнение органических материалов сопровождается следующими явлениями: увеличением диэлектрической проницаемости () и потерь (tg); уменьшением объемного сопротивления, электрической и механической прочности; изменением геометрических размеров и формы (короблением при удалении влаги после набухания); изменением свойств смазок. Это приводит к увеличению емкости (в том числе паразитной), уменьшению добротности контуров, снижению пробивного напряжения и появлению отказов РЭС. Постепенные отказы систем радиолокации и навигации проявляются в ухудшении точности определения координат и снижении дальности действия РЛС. У радиовещательных и телевизионных приемников снижается чувствительность и избирательность, снижаются диапазоны рабочих частот (в сторону более низких), появляется неустойчивость работы гетеродина. Внезапные отказы систем радиолокации и навигации обуславливаются электрическим пробоем, расслоением диэлектриков и т.д. При увлажнении отказы могут произойти из-за коррозии, приводящей к нарушению паяных и сварных герметизирующих швов, обрыву электромонтажных связей, увеличению сопротивления контактных пар, что ведет к увеличению шумов неразъемных и обгоранию разъемных контактов); уменьшению прочности и затруднению разборки крепежа; потускнению отражающих и разрушению защитных покрытий; увеличению износа трущихся поверхностей и т.д.

Попадание влаги на поверхность тонкопленочных резистивных элементов может привести к изменению их сопротивления (уменьшению при шунтировании влагой, увеличению при коррозии); влага в диэлектриках пленочных конденсаторов увеличивает их емкость и приводит к пробою диэлектрика; влага на поверхности полупроводниковых элементов ИС способствует скоплению на границе Si-SiO2 положительных ионов (Na+ и др.), образованию слоя накопленных зарядов в полупроводнике под влиянием поверхностных ионов и изменению параметров полупроводниковых приборов (дрейфу обратных токов, пробивных напряжений, коэффициента усиления биполярных транзисторов, порогового напряжения и крутизны передаточной характеристики МДП-транзисторов).

Все это, как правило, приводит к полному отказу РЭС, как негерметичных, так и герметичных, но в первом случае воздействие оказывает внешняя среда, а во втором - и внутренная.

**1.2. Способы влагозащиты элементов и узлов РЭС**

Для обеспечения надежности функционирования РЭС при воздействии влаги требуется применять влагозащитные конструкции, которые разделяют на две группы: монолитные и полые. Монолитные оболочки составляют неразрывное целое с защищаемым узлом. Монолитные оболочки выполняются из органических материалов. Обычно компоненты с такой защитой предназначены для использования в негерметичных наземных РЭС, и в этом случае приходится принимать дополнительные меры для обеспечения влагозащиты электрических соединений (например, лакировать печатные платы).

Полые влагозащитные оболочки позволяют освободить защищаемые компоненты от механического контакта с оболочкой, что обеспечивает работу в более широком диапазоне температур и исключает химическое взаимодействие оболочки и защищаемого компонента. Полые оболочки, особенно из неорганических материалов, обеспечивают более высокую надежность влагозащиты, но имеют значительные габариты, массу, стоимость. Наиболее эффективно использование полых оболочек для групповой герметизации бескорпусных компонентов в составе блока.

Для защиты от влаги компонентов и узлов с помощью монолитных оболочек, являющихся одновременно несущей конструкцией для внешних выводов, используются пропитка, заливка, обволакивание и опрессовка.

Пропитка нашла наибольшее применение для защиты от влаги обмоток электродвигателей, катушек трансформаторов и т.д. При пропитке из полостей и пор вытесняется воздух, и они заполняются лаком или компаундом. Это приводит к увеличению электрической и механической прочности, улучшению теплопроводности, но одновременно увеличиваются масса, паразитная емкость.

Заливка - это сплошная упаковка компонента или узла в изоляционную массу путем заполнения ею свободного промежутка между изделием и стенками корпуса или между изделием и заливочной формой. Для улучшения теплопроводности в заливочный компаунд иногда добавляют кварцевую пудру или прокаленный порошок оксида аллюминия, а для улучшения влагозащитных свойств можно добавлять порошок цеолита, поглощающий влагу. При выборе заливочного материала особое внимание следует обращать на близость ТКЛР материала заливки и защищаемого компонента или узла (это влияет на внутренние напряжения в компаунде), а также ТКЛР материала заливки и внешних выводов (это влияет на образование каналов проникновения влаги при изменении температуры).

Обволакивание - применяют для защиты от влаги печатных плат, дискретных ЭРЭ, бескорпусных полупроводниковых приборов, микросборок. Основным преимуществом обволакивания является высокая экономичность, недостатками – довольно толстый и неконтролируемый слой покрытия, возможность использования только для нежестких условий эксплуатации (как и для всех видов полимерной защиты от влаги), сложность удаления попавшей под защитный слой влаги. Обволакивание печатных плат лаками и компаундами позволяет повысить пробивное напряжение работающей в наземных условиях аппаратуры.

Опрессовка - это защита изделия от влаги толстым слоем полимерного материала (термореативная или термопластическая пластмасса) методом литьевого или трансферного прессования в специальных формах. Этот вид влагозащиты используют в основном для малогабаритных компонентов (ИС, ЭРЭ, микросборок), что позволяет надежно укрепить внешние выводы и создать несущую конструкцию, которая способна выдерживать механические перегрузки и пригодна для автоматизации установки компонентов на плату. При выборе материала для опрессовки необходимо учитывать его параметры , tg, электрическую прочность.

Для защиты от коррозии несущих корпусных конструкционных узлов из металлов и сплавов широко применяют монолитные пленочные металлические покрытия, нанесенные горячим способом, гальванически, путем диффузии. Толщина таких покрытий единицы – десятки микрометров.

В ряде случаев защитное покрытие делают многослойным, например слой меди толщиной 6…10 мкм (высокая адгезия к стали), слой никеля толщиной 3…6 мкм (высокая твердость), слой хрома толщиной 0,5 мкм (антифрикционность, гидрофобность). Для защиты корпусов из алюминиевых сплавов используют многослойные покрытия, например Cu – Ni – (Sn – Bi).

1.3. Влагозащита компонентов и блоков РЭС

Полые влагозащитные оболочки применяют для защиты компонентов, блоков РЭС, ИС, микросборок, в качестве дополнительной защиты от влаги наземных РЭС на корпусированных элементах, для бортовых РЭС на бескорпусных элементах, для аппаратуры диапазона СВЧ. Применение корпусных оболочек позволяет исключить механический контакт их с защищаемым изделием, что позволяет исключить передачу изделию механических напряжений, которые могут возникнуть в них. Кроме того, устраняется химическое взаимодействие оболочки с защищаемым изделием. Одновременно часто улучшается теплоотвод (при использовании оболочек, теплопроводность которых выше теплопроводности полимеров), повышается надежность влагозащиты и обеспечивается электромагнитное экранирование (при использовании оболочки из металла или металлизированной керамики), ослабляются паразитные связи ввиду уменьшения  при замене полимера воздухом.

Для наземных РЭС, работающих в отапливаемых помещениях можно использовать дешевые полимерные полые оболочки к пластмассовому основанию которых приклеивается пластмассовая крышка. Основной недостаток подобных оболочек заключается в возможности проникновения влаги в результате диффузии через полимерную оболочку, а также по границе вывод – пластмасса при образовании каналов из-за различия ТКЛ материала вывода и пластмассы.

Более дорогим, но и более надежным являются полые неразъемные металлополимерные оболочки. Наличие металлических крышек уменьшает площадь, через которую может диффундировать влага, однако по границе вывод – полимер влага может проникать (как в монолитных, так и в полых полимерных оболочках). Обычно время влагозащиты подобных оболочек при влажности окружающей среды 98% не превышает 10…30 сут. В условиях космоса это время может быть значительно больше. Из-за низкой теплопроводности полимеров часто для обеспечения отвода тепла используют теплоотводящие шины. Металлостеклянными полыми оболочками можно герметизировать не только компоненты, но и блоки РЭС, например бортовое РЭС одноразового действия. Для улучшения теплоотвода от бескорпусных компонентов оболочка заполнена фторсодержащим веществом. Внешние выводы изолированы от металлического корпуса с помощью стеклянных изоляторов. Соединение крышки с основанием осуществлено неразъемным паянием или сварным швом. Для блоков объемом менее 3 дм3 при необходимости обеспечения небольшого (до 3…5 раз) числа разгерметизаций и повторных герметизаций (на этапе производства при настройке или на этапе эксплуатации при ремонте) используется регенерируемый паяный или сварной шов. Такой вид герметизации обеспечивает работоспособность блоков в течении 8…12 лет.

Для блоков, объем которых превышает 3 дм3, целесообразно использовать разъемные полые оболочки с прокладками, что допускает большее истечение (натекание) газа ввиду большего объема блока (для прокладок из лучших эластомеров течь составляет 10-3…10-7 дм3 Па/с на метр прокладки) и позволяет значительно снизить массу блока по сравнению с массой блока, герметизированного паяным швом (при объеме блока, меньшем 3 дм3, этому мешает большая масса стягивающих болтов).

Использование прокладок упрощает герметизацию и разгерметизацию блока, что актуально как на этапе производства (при регулировке и настройке), так и на этапе эксплуатации (при ремонте). На этапе производства это особенно актуально для сложных блоков, в которых необходимо заменять компоненты при регулировке или при выходе их из строя на испытаниях. При эксплуатации герметизация с помощью прокладок наиболее эффективна для блоков многоразового пользования, конструкция которых должна быть ремонтопригодна. В качестве материала уплотняющих прокладок можно использовать полимеры (резина, пластмасса), металлы (медь, алюминий, свинец, индий).

**2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ВЛАГОЗАЩИТЫ РЭС**

**2.1. Экспериментальные методы определения герметичности**

Получить в производстве абсолютно герметичный блок не представляется возможным. Поэтому необходимо оценивать степень герметичности, которая характеризуется течью: большой (больше 10-3 дм3 Па/с), средней (10-3…10-4 дм3 Па/с), малой (менее 10-5…10-8 дм3 Па/с). Большие течи можно определить, помещая герметизированный блок в нагретый этиленгликоль или керосин на глубину не менее 2,5 см. Воздух при нагревании расширяется и выходит в виде пузырьков; чувствительность этого метода 2•10-3 дм3•Па/с. Можно подавать в испытываемый гермоузел воздух под давлением (10…12) •105 Па. По скорости образования пузырьков и их размерам можно ориентировочно определить место и течь. Средние течи можно определить с помощью индикаторной жидкости, в которую погружается предварительно опрессованный во фреоне (2…6) •105 Па гермоузел.

Малые течи определяются масс-спектрометрическим или радиационным методом. При масс-спектрометрическом методе течь определяется с помощью гелиевых течеискателей типа ПТИ-7, СТИ-11, имеющих чувствительность 2•10-12 дм3•Па/(с•мВ). Полимерные оболочки этим методом не проверяются, так как они под давлением могут сорбировать гелий, находящийся в атмосфере. Недостатком метода является низкая производительность, особенно в случае малых течей, что требует увеличения времени измерения. Радиационный метод (чувствительность 10-13 дм3 Па/с) состоит в предварительной опрессовке гермоблока в изотопе Kr85 и индикации степени истечения изотопа счетчиком Гейгера. Так как получить абсолютно герметичный шов практически невозможно, то после герметизации блок заполняется каким-либо осушенным инертным газом (азотом, аргоном, гелием) под избыточным давлением (0,03…0,06 Мпа). Выравнивание давления в гермокорпусе и наружной среде происходит в течение 8…10 лет, что препятствует натеканию влаги из внешней среды внутрь гермокорпуса (при наличии снаружи парцианального давления паров влаги, большего, чем внутри гермокорпуса, и при размере микропор, большем диаметра молекул влаги, влага может натекать из внешней среды внутрь гермокорпуса даже при наличии в нем избыточного давления осушенного инертного газа). Увеличение давления заполняющего гермокорпус газа способствует увеличению времени защиты от внешней среды, но оболочка корпуса должна быть более прочной и, следовательно, более массивной.

**2.2. Оценочные расчеты степени герметичности блока РЭС**

Допустимое истечение из гермокорпуса (дм3 Па/с) может быть определено по формуле Q=VP/t, где P – начальное избыточное давление газа внутри гермоблока, Па; t – время хранения и работы блока, с; V – объем блока, дм3 . Если, например, V=0,5 дм3, P=0,3105 Па, t=2,5108 с (8 лет), то Q=0.610-4 дм3Па/с. Если мал объем, заполненный газом, или велико истечение, то гермокорпус не обеспечит надежной работы в течение заданного времени. В этом случае надо либо отрабатывать технологический процесс герметизации с целью уменьшения течи, либо увеличивать объем оболочки, либо повышать начальное давление в ней. Второй и третий пути не являются эффективными, так как ведут к увеличению габаритов либо массы гермоблока. Приемлемыми считаются следующие течи для блоков с различным свободным объемом: 10-7 дм3 Па/с (объем 0,1…0,4 дм3), 10-4…10-5 дм3 Па/с (объем 0,5…5 дм3), 10-3…10-4 дм3 Па/с (объем более 5 дм3). Течь для разъема типа РПС-1 не должна превышать 10-10 дм3 Па/с.

**2.3. Расчет времени влагозащиты гермооболочки РЭС**

Время влагозащиты  определяет способность гермокожуха или гермооболочки сохранять работоспособным находящееся внутри РЭС или его отдельный компонент и находится в зависимости от физических характеристик материала и конструктивно-технологических особенностей изделия. Основным физическим параметром, определяющим  является коэффициент влагопроницаемости материала оболочки, значение которого зависит от состава материала и температуры. Коэффициент влагопроницаемости - В определяется уравнением диффузиозной проницаемости и выражается массой паров воды, прошедшей в единицу времени через единицу площади при единичном градиенте концентрации или давления. Единица измерения [кг/(мсн/м2)] или, упрощая эту размерность, ее можно получить как [c].

Влагопроницаемость металлических оболочек РЭС при одинаковых геометрических размерах существенно ниже, чем полимерных, поэтому далее будут рассматриваться лишь последние. Для ряда систем полимер-вода диффузия, являющаяся основным механизмом переноса влаги через стенку гермооболочки, может быть записана в случае применения закона Фика в форме

(1)

где D – коэффициент диффузии, являющийся функцией концентрации, если у поверхности полимера поддерживается постоянная концентрация с водяных паров.

Для описания концентрационной зависимости применяется полуэмпирическое выражение вида

(2)

где  - константа, DC=0 – коэффициент диффузии, экстраполированный к нулевой концентрации влаги. Коэффициент D наиболее резко меняется в области малых концентраций влаги.

Температурная зависимость коэффициента влагопроницаемости выражается уравнением вида

(3) где B0, E и R – константы (при с=const), T – абсолютная температура.

Решение уравнения диффузии дает время влагозащиты оболочки выраженное через ее геометрические параметры и условия внешней и внутренней сред. Основными величинами, которые определяют необходимый срок службы изделия при заданных условиях, являются коэффициент влагопроницаемости материала приведенный ниже в таблице и толщина стенок оболочки. Для случая если влагозащита осуществляется заливкой или опрессовкой герметизирующего материала расчетное время в с защиты оболочки можно определить по формуле

(4) где d – толщина оболочки, м; D – коэффициент диффузии, м2/с; р0 – давление паров окружающей среды; ркр –давление паров влаги, соответствующее ее критической концентрации, после достижения которой появляются отказы. Расчетное время влагозащиты не является определяющим при выборе материала, так как надо оценить внутренние напряжения после полимеризации и в диапазоне температур, адгезию оболочки к компоненту,  и tg, электрическую и механическую прочность, токсичность и т. д.

При использовании полого полимерного корпуса время влагозащиты (с) определяется временем задержки проникновения влаги через слой полимеров и временем накопления влаги внутри корпуса до наступления критического давления паров (ркр):

(5) где V –внутренний объем оболочки, м3; h – коэффициент растворимости влаги в материале оболочки, с2/м2; d – толщина стенки оболочки, м; S – площадь проникновения влаги через оболочку, м2; р0 – давление окружающей среды, Па; D – коэффициент диффузии материала оболочки, м2/с; В – коэффициент влагопроницаемости оболочки, с. Влажностные параметры некоторых герметизирующих полимерных материалов

№ Материал В, с D, м2/с h, c2/м2 Назначение материала

1 Фторопласт-4 1,010-16 8,3410-13 1210-5 Герметизирующие прокладки

2 Полиэтилен 6,2710-16 6,410-13 9,810-4 Элементы конструкции высокочастотных узлов

3 Полистирол 4,2210-15 3,3210-11 12,610-5 То же

4 Пресс-материал ЭФП-63 1,8310-16 6,110-13 310-5 Монолитный пластмассовый корпус

5 Порошковый компаунд ПЭП-17 8,010-16 1,1410-12 710-4 Герметизация узлов вихревым напылением

6 Клей ВК-9 3,310-16 6,510-13 5,6310-4 Крепление элементов на плату

7 Лак ФП-525 4,510-16 1,1810-12 3,810-4 Бескорпусная герметизация ИС

8 Компаунд ЭК-16Б 2,0810-16 6,410-13 3,2510-4 Заливка элементов и узлов РЭС

9 Пластмасса

К-124-38 1,6610-16 8,3410-14 2,010-3 Полый пластмассовый корпус

10 Компаунд ЭКМ 4,110-16 7,110-13 5,7710-4 Герметизация полупроводниковых ИС

11 Кремнийорганический эластометр СКТН 8,210-15 8,210-12 1,010-3 Заливка ферритовых элементов

12 Компаунд ПЭК-19 7,810-16 2,110-12 3,710-3 Заливка узлов РЭС

13 Лак УР-231 5,210-16 3,510-12 1,4810-4 Обволакивание печатных плат

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Волков В.А. Сборка и герметизация микроэлектронных устройств. – М.: Радио и связь, 1992. – 144 с.

2. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1990 – 432 с.

3. Конструирование радиоэлектронных средств: Учеб. для вузов / В.Б. Пестряков, Г.Я. Аболтинь-Аболинь, Б.Г. Гаврилов, В.В. Шерстнев; Под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Радио и связь, 1992. – 432с.

4. СТП ВГТУ 001-98. Курсовое проектирование. Организация, порядок проведения, оформление расчетно-пояснительной записки и графической части. Методические указания №186-98