

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

ИСПЫТАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ
ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2003

Составители: *В.А. Медников, В.В.Щёголев*

УДК 621.396.6.001.4 (075)

Испытание РЭА на воздействие повышенной влажности: Метод. указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *В.А. Медников, В.В. Щёголев*. Самара, 2003. 20 с.

Методические указания содержат подробное описание лабораторной работы. Лабораторная работа рассчитана на два академических часа.

Предназначены для студентов дневного и вечернего отделений специальности 2008. 00 для изучения методов проведения испытаний, ознакомления с испытательным оборудованием и принципами его действия, а также для получения студентами практических навыков в проведении испытаний и анализе их результатов.

Подготовлены на кафедре микроэлектроники и технологии радиоэлектронной аппаратуры.

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

Рецензент А. В. З е л е н с к и й

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Цель работы: выявить влияние влажности на свойства РЭА, ознакомиться с методами измерения влажности, получить навыки работы с испытательным оборудованием.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

1.1. Влияние влажности на РЭА

В состав воздуха входят водяные пары, которые и создают его влажность. Количество водяных паров по объему воздуха в зависимости от климатических условий изменяется в широких пределах - от 4% в тропиках до 1% в средних широтах и 0,01% в холодных зонах в зимнее время. Хотя доля водяных паров в общей массе воздуха и невелика, однако и такое относительно небольшое количество водяных паров в общей смеси воздуха как газа придает влажному воздуху особые свойства.

Многие свойства РЭА зависят от влажности ее составляющих элементов. При этом влага в каждом элементе в общем случае может присутствовать в газообразном, жидком или твердом состоянии и находиться как на поверхности элемента, так и в его объеме. Наибольшее ухудшение свойств элементов вызывает жидкая фаза - вода. Поэтому влияние влажности на элементы конструкции и свойства РЭА определяется в первую очередь свойствами воды. В случае контакта твердого тела с влажным воздухом, представляющим собой смесь газов, на поверхности тела из этой смеси адсорбируются преимущественно пары воды, так как из всех составных частей воздуха вода имеет наиболее высокую температуру кипения. Поэтому для РЭА в области рабочих температур $-50...+60^{\circ}\text{C}$ вода устойчиво существует в твердой и жидкой фазах, а все другие составные части

воздуха устойчиво существуют только в газообразной фазе. Адсорбированные (поглощенные поверхностью) частицы пара образуют на поверхности элементов РЭА слои, которые уплотняются под действием сил молекулярного притяжения, наращиваются при некоторой влажности и переходят в капельки жидкости. Если в теле элемента РЭА имеются капиллярные и крупные поры, зазоры и трещины, сообщающиеся с поверхностью, то по ним адсорбированные частицы или капельки воды проникают внутрь тела и таким образом происходит абсорбция (поглощение объемом). В рабочем интервале температур $-50...+60^{\circ}\text{C}$ даже при очень малой влажности воздуха образуется пленка влаги, толщина которой растет с увеличением влажности воздуха. Хотя объемное сопротивление абсолютно чистой воды велико и составляет величину порядка 20 МОм/см , однако, легко загрязняясь, она становится электролитом и изменяет сопротивление в $10...10000$ раз. Это особенно заметно для поверхностных пленок влаги. Диэлектрическая постоянная воды имеет высокое значение порядка 81 и практически не зависит от частоты, однако с ростом температуры несколько уменьшается. Тангенс угла потерь недистиллированной воды зависит от температуры и от частоты. На частотах выше 10 МГц молекула воды вследствие ее полярности начинает поглощать энергию колебаний, и это поглощение увеличивается с ростом частоты, поэтому тангенс угла потерь резко увеличивается на частотах выше 10 МГц . Кроме того, влага является одним из необходимых условий для возникновения и развития плесневых грибов. Вредное воздействие плесневых грибов на РЭА заключается в том, что сами грибы и продукты их жизнедеятельности, представляя собой электролит, резко ухудшают электроизоляционные свойства материалов, приводят даже к коротким замыканиям, вызывают электрохимическую коррозию металлов и полупроводниковых структур.

К важным физическим характеристикам воды в парообразном состоянии относится вязкость, проницаемость, давление паров и

кислотность. Вязкость является мерой внутреннего трения при перемещении одного слоя относительно другого. Проницаемость определяет количество паров, которое может быть перенесено через слой воздуха. Пары воды подчиняются основным газовым законам в отношении температуры, давления и объема. Давление, оказываемое парами воды, является парциальным давлением и в естественной атмосфере складывается с парциальными давлениями других газов, образуя атмосферное давление.

Для характеристики количества водяных паров во влажном воздухе используют следующие параметры: абсолютная влажность a , влажность насыщения A , относительная влажность φ , парциальное давление водяного пара P_n и максимальное парциальное давление $P_{n,m}$ (давление насыщения) водяного пара. Смесь паров воды и сухого воздуха в области нормальных давлений и в интервале температур - 50...+100°C обычно рассматривают как смесь идеальных газов, которая подчиняется уравнению состояния Менделеева - Клайперона и закону Дальтона.

Масса воды, содержащаяся в воздухе при насыщении, изменяется с температурой в соответствии с тем же законом, что и давление паров. Характер этого изменения показан на рис.1. Указанная зависимость характеризует абсолютную влажность насыщенных водяных паров в зависимости от температуры.

Для оценки степени влажности, наряду с понятием абсолютной влажности a , применяется понятие относительной влажности φ , равное отношению абсолютной влажности a к влажности насыщения A или отношению фактического давления паров воды P_n к давлению паров в насыщенном состоянии $P_{n,m}$:

$$\varphi = \frac{a}{A} \times 100 = \frac{P_n}{P_{n,m}} \times 100\% .$$

Если водяной пар при данной температуре t не насыщает влажный воздух, то в этом случае его абсолютная влажность $a < A$ и парци-

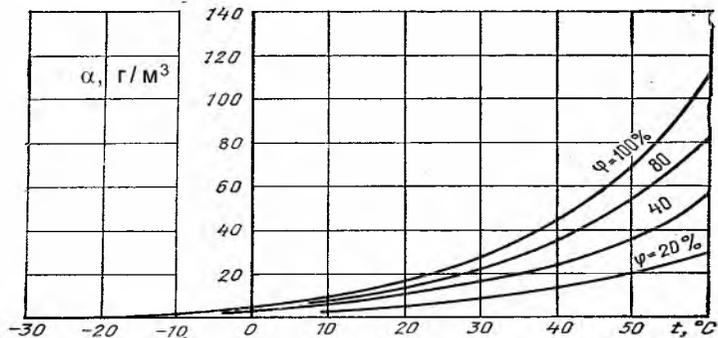


Рис. 1. Зависимость абсолютной влажности воздуха α от температуры t при различной относительной влажности φ и нормальном атмосферном давлении (психрометрическая диаграмма)

альное давление $P < P_{п.м.}$; величины a , P_n и t связаны между собой

зависимостью $\alpha = \frac{0,81 \cdot 10^{-2} P_n}{1 + \beta t}$, где a - абсолютная влажность

воздуха, $г/м^3$; P_n - парциальное давление пара, Па; $\beta = 1/273^\circ C^{-1}$ - температурный коэффициент объемного расширения; t - температура влажного воздуха, $^\circ C$.

Абсолютная влажность насыщенного воздуха A при нормальном атмосферном давлении в интервале температур $0 \dots +45^\circ C$ с погрешностью не более 6% можно определить с помощью

$$\text{эмпирической формулы } A \approx 0,15 \left(\frac{t+30}{10} \right)^3 \frac{г}{м^3} .$$

При понижении температуры насыщенного парами воздуха пар частично конденсируется и превращается в жидкость.

Высокая влажность окружающего воздуха, особенно в сочетании с повышенной температурой среды, способствует быстрому разрушению аппаратуры, при этом интенсивность отказов наземной радиоаппаратуры выше, чем при любых иных воздействиях. Циклические воздействия влажности в условиях высокой температуры дают еще более высокую интенсивность отказов.

При работе аппаратуры во влажной атмосфере влага обволакивает ее снаружи и проникает внутрь через поры, трещины и неплотности соединений. Поглощение энергии электромагнитных колебаний влажной средой вызывает дополнительные потери в индуктивных и емкостных элементах, то есть ведет к снижению КПД и добротности контуров. Образование пленок на деталях и материалах играет очень важную роль. Вследствие загрязнения поверхности увеличивается проводимость поверхности. Пленка способствует появлению проводящего канала и возникновению емкостного эффекта, обусловленного высоким значением диэлектрической постоянной. Эти эффекты при электрических измерениях проявляются в изменении сопротивления изоляции, поверхностного сопротивления, емкости и добротности, снижается сопротивление поверхностному пробое.

Под действием влаги параметры полупроводниковых структур изменяются, что приводит к дрейфу электрических параметров интегральных микросхем, уменьшению коэффициента усиления транзисторов, изменению пробивных напряжений полупроводниковых переходов. Особенно опасна для металлических частей и для микросхем электролитическая коррозия. Она представляет собой процесс растворения металла или полупроводникового материала в окружающем его электролите; в данном случае роль электролита выполняет пленка воды. Под действием электролитической коррозии образуются электроизоляционные слои, металлизация и резистивные слои обрываются в области положительного электрода. Если продукты коррозии растворимы в воде, то ионы металла могут переноситься в растворе от анода к катоду, образуя дендритные кристаллы¹, вызывающие короткие замыкания между дорожками металлизации.

Проникновение воды и паров в материалы органического происхождения вызывает изменение размеров, разбухание, понижение

¹ "Усы"

сопротивления изгибу и в некоторых случаях повышение сопротивления удару из-за увеличения вязкости материала. Для электроизоляционных частей элементов РЭА оптимальными по надежности значениями относительной влажности можно считать 30...60%. При влажности более 60% существенно увеличиваются токи утечек изоляционных материалов, а при влажности менее 30% происходит интенсивное осушение органических изоляционных материалов по объему; из них выделяется не только влага, находящаяся в капиллярах, но и структурно связанная влага, что приводит к потере эластичности, уменьшению механической прочности этих материалов, при длительном (свыше 3 мес.) пребывании в такой среде органические изоляционные материалы становятся хрупкими, теряют эластичность, на них появляются поверхностные трещины.

Изменение влажности воздуха ведет к изменению его плотности; в нормальных условиях зависимость плотности воздуха ρ_v от влажности (кг/м^3) описывается уравнением

$$\rho_v = \frac{1}{273 + t} \left(353 - 1,32 \cdot 10^{-5} \varphi P_{н.м} \right).$$

Анализ показывает, что изменение относительной влажности φ ведет к небольшому (доли процента) изменению плотности влажного воздуха, но и этого небольшого изменения достаточно, чтобы в поле силы тяжести из общей массы влажного воздуха более влажные слои поднимались вверх, а менее влажные слои опускались вниз.

1.2. Принципы получения испытательных режимов

Необходимая влажность воздуха может быть достигнута следующими способами:

- открытый - воздух соприкасается с открытой водной поверхностью;
- закрытый - влажность достигается путем циркуляции воздуха через закрытое увлажнительное устройство.

Способы увлажнения воздуха открытый

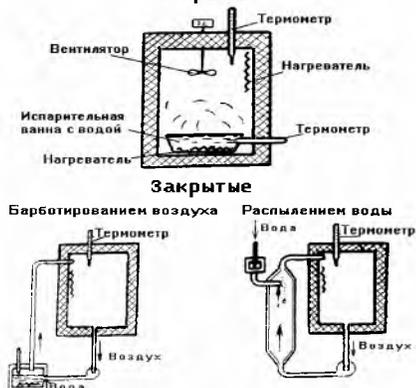


Рис. 2. Способы увлажнения воздуха в испытательных камерах

Открытый способ, воспроизводящий естественные природные условия увлажнения воздуха, хотя и прост, но его практическое применение ограничивается необходимостью строго поддерживать постоянство разности температур воздуха и воды, а также точности регулирования температуры в пределах психрометрической разности.

Понижение температуры более чем на 0.5°C при высокой относительной влажности и повышенной температуре может привести к выпадению росы, что является недостатком способа.

Камеры комнатного типа для увлажнения воздуха открытым способом

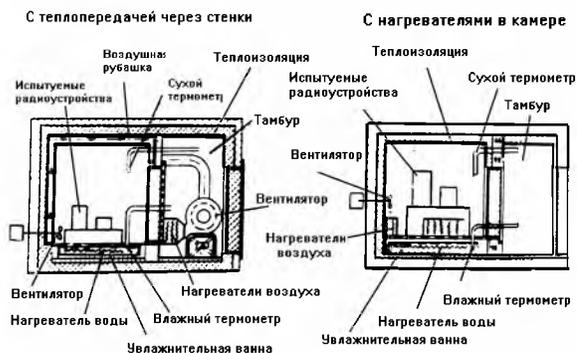


Рис.3. Устройство камеры для испытаний на воздействие повышенной влажности при увлажнении воздуха открытым способом

Камера Кюльавтома для увлажнения воздуха закрытым способом

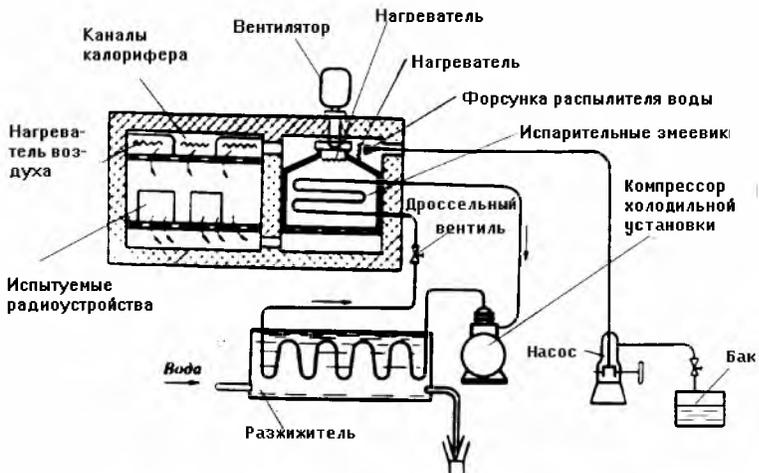


Рис.4. Устройство камеры для испытаний на воздействие повышенной влажности при увлажнении воздуха закрытым способом

Характерной особенностью закрытого способа увлажнения воздуха является наличие циркуляции воздуха через увлажнитель. В увлажнителе воздух либо смешивается с распыленной водой, либо барботируется через слой воды. Закрытый способ позволяет регулировать содержание влаги и температуру атмосферы камеры за счет изменения количества циркулирующего воздуха в замкнутом цикле и степени его подогрева.

1.3. Методы измерения влажности воздуха

К наиболее известным и часто применяемым методам измерения влажности воздуха относятся психрометрический, сорбционный, диффузионный, конденсационный, пьезометрический.

Психрометрический метод основан на измерении психрометрической разности между показаниями обычного сухого термометра

и мокрого термометра, на датчик или ртутный резервуар которого надет батист, пропитанный водой. Психрометрическая разность зависит от влажности окружающего воздуха. Чем интенсивнее испаряется вода в мокром термометре, тем эта разность больше. Измерители влажности, основанные на психрометрическом методе, применяются для измерения больших влажностей порядка 20j100% с небольшой точностью в жилых и служебных помещениях.

Сорбционный метод использует поглощение влаги каким-либо гигроскопичным веществом.

- Сорбционно-деформационный метод - о влажности судят по изгибу двухслойной структуры, один из слоев которой изменяет свой объем при поглощении влаги, или по изменению длины волокна или пленки гигроскопичного материала. Метод позволяет измерить большую относительную влажность 10j100% с небольшой точностью порядка $\pm 5\%$.

- Сорбционно-кулонометрический метод - влажность определяют по количеству электричества, затрачиваемого на электролиз влаги, поглощенной пленкой частично гидратированной пятиокиси фосфора. Применяется для измерения влажности в очень широком диапазоне абсолютной влажности 0.005j100 $мг/см^3$.

- Сорбционно-весовой метод - определяется масса влаги m , содержащаяся в известном объеме V , отношение m/V дает абсолютную влажность. Метод применяют в лабораторных условиях.

- Сорбционно-термический метод - измеряется количество тепла, выделяющегося при поглощении влаги гигроскопичным материалом. Применяется редко из-за большой сложности измерения тепла.

- Диффузионный метод - основан на диффузии газов через пористую перегородку. О величине влажности судят по разности давлений внешней среды и газа в измерительной камере.

- Конденсационный метод - определяется температура точки росы, при которой наступает перенасыщение среды водяным паром при

охлаждении, и на поверхностях конденсируется влага. Приборы, использующие этот метод, широко применяются при измерении очень малой влажности, при контроле влажности осушенного воздуха, причем метод применяется как в лабораторных, так и в полевых условиях.

- Объемный, пьезометрический метод - определение изменения давления взятой пробы газа при поглощении водяного пара сорбентом или вымораживанием. Метод применяется в лабораторных условиях.

1.4. Основные операции процесса испытаний

Технологический процесс испытаний РЭА состоит из ряда последовательных операций:

Операция 1. Предварительная выдержка РЭА в нормальных климатических условиях в течение заданного техническими условиями времени:

- температура $+20\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность $65\pm 15\%$;
- атмосферное давление $720\text{ j }780\text{ мм рт.ст.}$

Операция 2. Внешний осмотр РЭА и предварительные измерения ее параметров, устанавливающие работоспособность РЭА.

Операция 3. Проверка работоспособности испытательного оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры.

Операция 4. Установка изделия в камеру или на испытательный стенд, механическое крепление, подведение питающих напряжений, подключение контрольно-измерительной аппаратуры.

Операция 5. Первоначальное измерение параметров, определяющее состояние РЭА до внешних воздействий при испытании.

Операция 6. Установление заданного воздействия и выдержка РЭА под этим воздействием климатических факторов и факторов

других видов, которые определены нормативной документацией с целью определения их влияния на параметры РЭА.

Операция 7. Измерение параметров РЭА для определения ее состояния в процессе воздействия на нее заданных факторов.

Операция 8. Установление нормальных климатических условий, выдержка в течение заданного техническими условиями времени. Заключительные измерения по окончании испытаний² для установления количественных и качественных зависимостей характеристик РЭА от проведенных испытаний. Проведение внешнего осмотра РЭА.

Оценка влияния испытаний выполняется путем сравнения результатов заключительных измерений с результатами первоначальных измерений.

Первые пять операций являются общими для всех видов испытаний. Основной целью этих операций является исключение ошибок, которые могут быть вызваны следующими причинами:

- влияние предшествующих испытаний, условий хранения и транспортирования;
- постановка на испытания бракованной РЭА;
- проведение испытаний на неисправном испытательном оборудовании;
- проведение контроля испытательных режимов неисправной КИА;
- нарушение работоспособности аппаратуры при ее установке на стенде и подключении КИА.

Общей для всех видов испытаний является также и восьмая операция, так как она служит для оценки результатов испытаний. Содержание остальных операций определяется типом испытаний и методикой их проведения.

² В камере или вне камеры

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

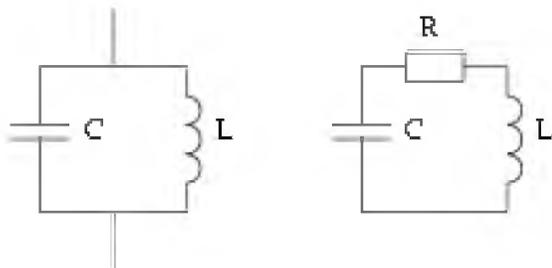


Рис. 5. Принципиальная и эквивалентная схемы колебательного контура

В лабораторной работе в качестве испытуемой РЭА используется конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком и колебательный контур, который состоит из катушки индуктивности L , намотанной с шагом на керамическом основании, и воздушного конденсатора C . Как известно, резонансная частота параллельного колебательного контура определяется формулой

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

а добротность контура

$$Q = \frac{W_p}{W_a} = \frac{\rho}{r} = \frac{\sqrt{L/C}}{r} = \frac{1}{2\pi f_0 C r},$$

где r - эквивалентное активное сопротивление элементов колебательного контура;

W_a - энергия, рассеиваемая в контуре за один период колебаний;

W_p - реактивная энергия контура.

Как видно из приведенных формул, резонансная частота f_0 и добротность Q являются функциями параметров контура L , C и r . При изменении влажности окружающей среды эти параметры изменяются, в результате чего изменяются и выходные параметры колебательного контура. Процесс изменения этих параметров необходимо исследовать при выполнении данной лабораторной работы.

В качестве испытательного оборудования в лабораторной работе используется лабораторная камера влаги, состоящая из основания, стеклянного колпака и испарителя. Испаритель состоит из резервуара с водой, нагревательного элемента и вентилятора для обеспечения равномерной влажности воздуха по объему камеры. На основании закреплены катушка, конденсатор и волосяной психрометр для измерения влажности воздуха в камере.

Для измерения емкости переменного конденсатора и его диэлектрических потерь используется измерительный прибор типа Е7-8. Для измерения выходных параметров колебательного контура в процессе испытаний используется лабораторный Q-метр типа УК-1. С помощью Q-метра измеряются резонансная частота, добротность колебательного контура и изменение собственной емкости.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

1. Цель работы.
2. Основные физико-химические свойства воды.
3. Вредные последствия для конструкции РЭА, вызываемые повышенной влажностью окружающей среды.
4. Изменения механических и электрических свойств материалов при повышенной влажности.
5. Причины постепенных и внезапных отказов, вызванных повышенной влажностью.
6. Методы получения повышенной влажности в испытательных камерах.
7. Методы измерения влажности:
 - психрометрический;
 - сорбционный;
 - диффузионный;
 - конденсаторный.

8. Методы измерения влажности, наиболее удобные для использования в САУ камер влажности.

9. Состав лабораторной установки, назначение составных частей.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ

1. Включить цифровой измеритель емкости. Включить Q-метр, выполнить его начальную настройку, для чего ручку диапазона частот выставить в положение 30-60; ручку "множитель Q" поставить в крайнее левое положение; левой ручкой "установка нуля" выставить нуль на приборе "множитель Q"; правой ручкой "установка нуля" выставить нуль на приборе "Q"; верньер выставить на отметку 10 пФ.

2. Произвести измерение емкости и тангенса диэлектрических потерь воздушного конденсатора и резонансной частоты и добротности колебательного контура в нормальных условиях. Для этого поворотом вправо ручек "множитель Q" добиться того, чтобы стрелки приборов "множитель Q" и "Q" находились в рабочей части шкал, затем медленным поворотом ручки "частота" добиться максимального отклонения вправо стрелки прибора "Q". При этом по приборам "множитель Q" и "Q" определить добротность контура перемножением показаний этих приборов и резонансную частоту по шкале частоты. Полученные значения частоты, емкости и добротности занести в таблицу. Записать показания волосяного психрометра.

3. Убедиться, что в резервуарах испарителя и психрометра налита вода. Установить колпак, включить вентилятор. Частоту Q-метра установить равной резонансной частоте контура для нормальных условий и верньером "емкость" добиться резонанса контура по максимальному отклонению индикатора "Q".

4. Нажать кнопку "испаритель" на 20±30 секунд. После выдержки

в течение 5 мин измерить параметры функционального узла РЭА и записать показания волосяного гигрометра и температуры сухого термометра.

5. Повторить п.4 до достижения относительной влажности 100%. По показаниям сухого и мокрого термометров определить влажности для всех циклов измерений и построить градуировочную характеристику волосяного психрометра.

Результаты испытаний функционального узла на воздействие повышенной влажности

№ экспериментальной точки	1	2	3	4	5	6
Температура «сухого» термометра, °С						
Температура «влажного» термометра, °С						
Относительная влажность, γ						
Показания волосяного гигрометра, α						
Емкость конденсатора С, пФ						
Диэлектрические потери конденсатора $\text{tg } \delta$						
Резонансная частота f_0 , МГц						
Добротность контура Q						
Ёмкость контура C_k , пФ						

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткое описание лабораторной установки.
3. Данные измерений: Табл., графики зависимостей $C(\gamma)$, $\text{tg } \delta(\gamma)$, $Q(\gamma)$, $f_0(\gamma)$, $C_k(\gamma)$, градуировочная характеристика волосяного гигрометра $\alpha(\gamma)$.
- 4) Выводы о характере полученных зависимостей и заключение о влагостойчивости функционального узла.

Библиографический список

1. Игумнов Н.И. Влагообмен в приборах и аппаратах. - М.: Машиностроение, 1989. - 136 с.
2. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС: Учебник для вузов.-М.: Высш.шк., 1991.-336 с.:
3. Малинский В.Д. Контроль и испытания радиоаппаратуры.- М.: Энергия, 1970. - 336 с.
4. Глудкин О.П., Черняев В.Н. Технология испытаний микросхем радиоэлектронной аппаратуры и интегральных микросхем: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергия, 1980. - 350 с.
5. Перельман В.Л., Сидоров В.Г. Методы испытаний и оборудование для контроля качества полупроводниковых приборов: Учебник для средн. проф.-тех. училищ. - М.: Высш. шк., 1979. - 215 с.
6. Испытательная техника: Справочник/ Под ред. В.В.Клюева. В 2 книгах. - М.: Машиностроение, 1982. Книга 1 - 528 с.; Книга 2 - 559 с.
7. Андерман Д.И., Воробьева Б.А. Методы и средства испытаний РЭА: Учебное пособие. Томск: изд-во Томского университета, 1987.
8. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной

аппаратуры и испытательное оборудование: Учебное пособие для вузов /О.П.Глудкин, А.Н.Енгальчев, А.И.Коробов, Ю.В.Трегубов; Под ред. А.И.Коробова. М.: Радио и связь, 1987. - 272 с.

9.Ошер Д.Н. и др. Регулировка и испытание радиоаппаратуры. М.: Энергия, 1978. - 384 с.

10.Глудкин О.П. и др. Статистические методы в технологии производства радиоэлектронной аппаратуры /Под ред. В.Н.Черняева. М.: Энергия, 1977. - 296 с.

11.Капцов А.В., Медников В.А. Методы и средства испытаний РЭА: Учебное пособие. - Куйбышев: КуАИ, 1989. - 78 с.

12. Кальман И.Г. Воздействие факторов внешней среды на аппаратуру и элементы. Методы климатических и механических испытаний М.: Энергия, 1971.

Учебное издание

**ИСПЫТАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ
ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ**

Методические указания к лабораторной работе

Составители: *Медников Валерий Александрович
Щёголев Виктор Викторович*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а
Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Подписано в печать 06.10.03. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ л. 1,16. Усл.кр.-отт. 1,24. Уч.-изд.л. 1,25.

Се?а?100 уе? Сее? А?а С-55/2003.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им.академика С.П.Королева.
443086 Самара , Московское шоссе, 34