

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

Булатов Р.В., Бабин С.А., Плотников В.Б., Пиганов М.Н.

Рост требований к качеству и надежности современной РЭА приводит к увеличению сложности и повышению точности технологического процесса ее производства. В последнее время при производстве ответственной РЭА на этапе входного контроля все чаще используется 100%-й диагностический неразрушающий контроль (ДНК) электрорадиоизделий (ЭРИ) с отбраковкой потенциально ненадежных ЭРИ. Введение 100%-го контроля при современном уровне в объеме производства приводит к необходимости использования измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), выполняющих измерения электрофизических параметров ЭРИ, вычисления критериев качества и принятия решения о потенциальной надежности ЭРИ.

Одним из методов, позволяющих добиться эффективного обнаружения потенциально ненадежных конденсаторов, является метод, основанный на определении параметров электрических схем их замещения. Логическим обоснованием эффективности метода является отражение физических процессов, происходящих в конденсаторе, на его схеме замещения. Физические процессы делятся на полезные и паразитные. Быстрая поляризация в диэлектрике является полезным процессом и отражается на схеме замещения геометрической емкостью. К паразитным процессам относятся все прочие процессы, протекающие в конденсаторе, например: объемная и поверхностная утечка заряда; абсорбция заряда, потери в проводящих частях. Наличие паразитных процессов приводит к появлению на схеме замещения дополнительных элементов, величины параметров которых характеризуют степень проявления соответствующих этим элементам процессов.

Параметр или критерий качества, вычисленный на основе нескольких параметров, является информативным, т.е. содержащим информацию о потенциальной надежности конденсатора, если доказана связь между его величиной и показателями надежности конденсатора. Для обеспечения эффективной отбраковки потенциально ненадежных конденсаторов важен правильный выбор информативного параметра. Выбор информативного параметра производится на основе анализа дефектов, приводящих к отказам конденсаторов в конкретных условиях эксплуатации или в процессе ресурсных испытаний.

Вид и характер дефектов, приводящих к отказу, зависит от типа конденсаторов, особенностей технологического процесса их изготовления

и условий их эксплуатации или испытаний. Исследованы возможности ДНК керамических конденсаторов типа К10-17 0,68 мкФ, 50В и конденсаторов с оксидным диэлектриком типа К52-1 100 мкФ±10%, 35В. Конденсаторы с оксидным диэлектриком подвергались ресурсным испытаниям при постоянном номинальном смещении 35В, температуре 85°С, влажности 40%. Преобладающим механизмом отказа при таких условиях является термополевая кристаллизация, приводящая к постепенному отказу по току утечки [1]. Керамические конденсаторы подвергались испытаниям в двух режимах: при частоте 80 кГц, токе 15 А, температуре 20°С, влажности 40% и при температуре 40°С, влажности 93±3%, постоянном смещении 2 В с развязкой каждого конденсатора от источника питания сопротивлением 10 кОм. Главным механизмом отказа в первом случае является выгорание обкладок конденсаторов, имеющих дефекты металлизированного слоя, приводящее к внезапному отказу по емкости и тангенсу угла диэлектрических потерь. Во втором случае преобладающим механизмом отказа является низковольтный отказ, обусловленный массопереносом материала обкладок через дефекты диэлектрика в виде пор и трещин, соединяющие разнополярные обкладки. Массоперенос приводит к внезапному отказу конденсатора по емкости или углу диэлектрических потерь в результате короткого замыкания обкладок проводящей дорожкой.

Известно, что склонность к термополевой кристаллизации оксидного слоя в электролитических конденсаторах сопровождается повышенным тангенсом угла диэлектрических потерь в диапазоне инфранизких частот. Поэтому схема замещения электролитического конденсатора будет включать емкость конденсатора C и сопротивление потерь R . Тангенс угла диэлектрических потерь: $\operatorname{tg} S = R / \omega C$, где ω частота на которой проводятся измерения, будет являться информативным параметром. Поскольку величина ω может быть выбрана постоянной, то величина $P=R/C$ также будет информативным параметром.

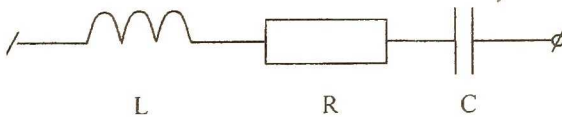


Рисунок 1.

Наличие дефектов металлизированного слоя сопровождается повышенной величиной активной составляющей полного сопротивления конденсатора по последовательной схеме замещения [2]. Последовательная схема замещения приведена на рис.1, где C - емкость конденсатора, R - активная составляющая полного сопротивления, L - индуктивность выво-

дов конденсатора и измерительной цепи. Величина сопротивления R является информативным параметром.

Низковольтный отказ обусловлен массопереносом материала обкладок посредством диффузии через дефекты диэлектрика. Диффузионные процессы в электрохимическом объекте отображаются на схеме замещения импедансом Варбурга [3]. Кроме диффузионного процесса на характере проводимости керамического конденсатора будет сказываться быстрая поляризация, абсорбция заряда, объемная и поверхностная утечка заряда. Схема замещения будет включать, соответственно, геометрическую емкость C , абсорбционную емкость C_a , абсорбционное сопротивление R_a , сопротивление утечки R_u и импеданс Варбурга Z_ω (рис. 2). Величина импеданса Варбурга является информативным параметром. Имеются сведения об использовании в качестве информативного параметра при ДНК на низковольтный отказ эффективного полного сопротивления конденсатора по последовательной схеме замещения.

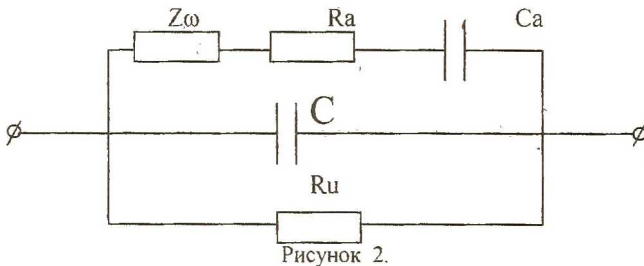


Рисунок 2.

Определение параметров схем замещения конденсаторов является частным случаем задачи определения параметров многоэлементных двухполюсников [4] и сводится к решению системы нелинейных уравнений, описывающих функцию сопротивления двухполюсника уравнениями ньютоновского или квазиньютоновского типа [5]. Однако эти методы требуют больших затрат времени, задания приблизительного значения решения в качестве начального приближения и не гарантируют получения решения в случае возможности несходимости итерационного процесса. Решение системы нелинейных уравнений способом, предложенным в [4] является более предпочтительным и предполагает последовательное решение системы линейных уравнений, коэффициенты и свободные члены которой являются функциями искомых параметров и систему нелинейных уравнений, составленную из упомянутых функций. Преимущество этого способа состоит в том, что система нелинейных уравнений может быть решена точными методами (например, путем подстановки одного уравнения в другое), а система линейных уравнений эффективно решается существующими методами (например, методом Гаусса и его модификациями).

Погрешности, возникающие при определении параметров схем замещения конденсаторов, зависят от погрешности измерения импеданса конденсатора на нескольких частотах и от обусловленности матрицы системы линейных уравнений. Вклад погрешности решения системы нелинейных уравнений в погрешность определения параметров схем замещения конденсаторов при решении путем подстановки пренебрежимо мал по сравнению с вкладом упомянутых факторов. Обусловленность матрицы системы линейных уравнений зависит от величин параметров схемы замещения и от значений частот, на которых осуществляется измерение импеданса конденсатора. Оптимизация значений измерительных частот подробно рассмотрена в [4]. Погрешности измерения импеданса конденсатора могут быть минимизированы путем правильного выбора измерительной аппаратуры и фильтрацией измерительного сигнала. Решение этой задачи возможно с помощью имитационного моделирования [6,7] и цифровой фильтрацией сигнала [8]. При использовании в качестве источника воздействия генератора с кварцеванной частотой и синтезированной синусоидой хорошие результаты совместно с простотой реализации показала узкополосная фильтрация сигнала на измерительной частоте посредством дискретного преобразования Фурье. Подавление случайной помехи, вызванной наводками, собственными шумами элементов измерительной цепи и шумами дискретизации АЦП, может быть оценено как $dP=2/\sqrt{N}$, где N - количество отсчетов измеряемого сигнала.

ДНК методом, основанным на определении параметров электрических схем замещения конденсаторов, был осуществлен для упомянутых выше типоминалов конденсаторов. Имитационное моделирование дало следующие результаты.

Тангенс угла диэлектрических потерь конденсаторов К52-1, К52-1Б определялся с относительной погрешностью не хуже 0,2% при уровне шума и помех до 3% от уровня измеряемого сигнала при использовании в качестве источника воздействия низкочастотного прецизионного генератора ГЗ-122, в качестве измерительного прибора - цифрового запоминающего осциллографа С9-8, обладающего восьмиразрядным АЦП, при измерении входного сигнала не менее чем в 100 точках.

Эквивалентное активное сопротивление конденсаторов К10-17 на резонансной частоте при тех же условиях определялось с относительной погрешностью не хуже 5%.

Величина импеданса Варбурга конденсаторов К10-17 определялась с относительной погрешностью не хуже 10% при уровне шумов до 0,01% от уровня измеряемого сигнала при использовании в качестве источника воздействия генератора ГЗ-122, в качестве измерительного прибора - 12-разрядного АЦП К572ПВ1А с кварцеванной тактовой частотой, при измерении входного сигнала не менее чем в 2048 точках.

Из партий конденсаторов, удовлетворяющих требованиям ТУ упомянутых типов, сформированы выборки объемом по 150 шт. для каждого типономинала. Были измерены значения информативных параметров. Для партии конденсаторов К52-1 измерены значения тангенса угла диэлектрических потерь на частоте 0,1 Гц. Для первой партии конденсаторов К10-17 были замерены значения эквивалентного активного сопротивления на резонансной частоте. Для второй партии конденсаторов К10-17 - значения импеданса Варбурга.

Конденсаторы с оксидным диэлектриком подвергались ресурсным испытаниям при постоянном номинальном смещении 50 В, повышенной температуре 85°C, влажности 40%. Первая выборка керамических конденсаторов испытывалась при частоте 80 кГц, токе 15 А, температуре 20°C, влажности 40%. Вторая выборка керамических конденсаторов испытывалась при температуре 40°C, влажности 93±3%, постоянном смещении 2 В с развязкой каждого конденсатора от источника питания сопротивлением 10 кОм.

Для конденсаторов с оксидным диэлектриком коэффициент парной корреляции тока утечки и значения тангенса угла диэлектрических потерь имел значение 0,71. Для первой выборки керамических конденсаторов коэффициент парной корреляции величин емкости и эквивалентного активного сопротивления на резонансной частоте имел значение 0,68, а тангенса угла диэлектрических потерь и эквивалентного активного сопротивления на резонансной частоте - 0,76. Для второй выборки керамических конденсаторов коэффициент парной корреляции величины емкости и импеданса Варбурга имел значение 0,63, а тангенса угла диэлектрических потерь и импеданса Варбурга - 0,72.

Результаты вскрытия керамических конденсаторов показали связь между величинами импеданса Варбурга и суммы площадей среза конденсатора, приходящейся на поры в единице площади среза с коэффициентом парной корреляции 0,74. Образцы с повышенным значением эквивалентного активного сопротивления на резонансной частоте проявили повышенное содержание дефекта (соединения электродов с торцевой металлизацией конденсатора).

Итак, диагностический контроль надежности конденсаторов, основанный на определении параметров схем замещения, подтвердил эффективность в определении потенциально ненадежных образцов, достаточную производительность и хорошую приспособленность к реализации на базе современной аппаратуры, предназначенной для комплектации ИВК. Это показывает его перспективность в решении задачи повышения качества электрических конденсаторов.

1. Брауде В.М., Гессен Г.В., Дьяконов М.Н. и др. Применение инфразвуковой спектроскопии для диагностики оксидного диэлектрика танталовых электролитических конденсаторов // Электронная техника. Сер. 5. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания. – 1984. – Вып. 2. – С. 10-13.
2. Ануфриев Ю.А., Гусев В.Н., Смирнов В.Ф. Эксплуатационные характеристики и надежность электролитических конденсаторов. – М.: Энергия, 1976. – 226 с.
3. Александрова Д.П., Сливка Р.А., Лейшк Д.И. Исследование многостадийного процесса разряда-ионизации индия методом измерения импеданса // Электрохимия. Т. 12. Вып. 6. – 1976. – С. 879-883.
4. Кнеллер В.Ю., Боровских Л.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.
5. Дэннис Дк. Мл., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 440 с.
6. Цветков Э.И., Хуснутдинов Г.Н. Соболев В.С. и др. Метрологический анализ процессорных измерительных средств с помощью имитационного моделирования: алгоритмы и требования к программному обеспечению // Измерения, контроль, автоматизация. – 1986. – №4. – С. 3.
7. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 222 с.
8. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192с.

МОНИТОРИНГ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ТИПА ФОТОН/БИОН

Шарафеев Н.В.

Прибор для мониторинга магнитного поля внутри космического аппарата конструктивно состоит из блока согласования и контроллеров магнитного поля, число которых может достигать до пятнадцати. В состав прибора также входит блок сопряжения с IBM PC совместимым персональным компьютером. Однако этот блок не устанавливается на космическом аппарате, а используется только во время наземных испытаний для гальванической развязки электрических цепей прибора и компьютера. Информационно контроллеры магнитного поля и блок согласования объединены между собой внутренней магистралью, которая подключена к входящим в их состав универсальным асинхронным передатчикам UART. Сигналы с выхода передатчика блока согласования поступают на входы приемников всех контроллеров магнитного поля. С помощью этой линии связи на контроллеры передаются с блока согласования управляющие команды. Все выходы передатчиков контроллеров магнитного поля через узел развязки подключены к входу приемника UART блока согласования. Блок согласования по этой линии получает по запросу информацию о магнитном поле или о состоянии контроллера магнитного поля.