

## Производство и эксплуатация летательных аппаратов

УДК 681.142.001

Зайцев А.А.

### КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И ПРОБЛЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОКОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Системой распределения электрической энергии называется совокупность устройств, передающих электрическую энергию от системы генерирования к потребителям. Одним из основных элементов системы распределения электрической энергии является электрическая сеть. Непрерывное увеличение числа и установленной мощности потребителей электрической энергии на воздушных судах (ВС), растущие требования к бесперебойности их питания обусловили значительное усложнение конфигурации электрических сетей, увеличение их массы и протяженности проводов. Так, на самолете Ил-86 протяженность проводов составляет 300 км, а их масса 2600 кг.

Доля отказов элементов систем распределения от общего числа отказов системы электроснабжения (ЭС) составляет 40-50 %. Наибольшее число отказов связано с отказами коммутационной аппаратуры и отказами проводов вторичной распределительной сети в местах соединения.

Системы распределения электрической энергии эксплуатируют по техническому ресурсу. При техническом обслуживании (ТО) основное внимание уделяется внешнему осмотру состояния мест крепления проводов и жгутов, экранирующей и механической защиты проводов и жгутов, изоляции проводов и защитных покрытий жгутов, деталей штепсельных разъемов, распределительных коробок, болтовых соединителей и т. п. Такие же работы, но в меньшем объеме, проводят и при оперативном обслуживании. Таким образом, на сегодняшний день при техническом обслуживании ВС контроль электромотажа бортовых электросборок и токораспределительных систем не производится.

Также в процессе эксплуатации систем распределения электрической энергии на ВС необходимо систематически измерять сопротивление изоляции электрической сети. Изменение состояния изоляции электрических сетей вызывает токи утечки, влияющие на работу потребителей и точность показаний приборов.

Распределительные коробки, электропитки могут иметь до нескольких сотен электрических контактов для подключения внешних цепей, поэтому ручной контроль таких изделий представляет весьма трудоемкую операцию. Необходимость интегрированного подхода к процессу контроля электросборок и токораспределительных систем вызвана следующими причинами:

1. При эксплуатации ВС и его ГО возможны обрывы и замыкания проводов, а также повреждение изоляции последних.

2. Дефекты выявляются при включении систем под ток, что часто приводит к выходу из строя дорогостоящего бортового оборудования. Пропуск дефекта на самолете, переданном в эксплуатацию, может привести к еще более тяжелым последствиям.

3. Обнаружение и диагностика дефектов на борту неавтоматизированным способом требует значительных временных затрат и высокой квалификации персонала. Выявление и устранение дефектов составляет еще большую трудоемкость, а каждый дополнительный облет самолета обходится предприятию в значительную сумму затрат.

Достигнутая путем многократного резервирования высокая общая надежность СЭС, сопровождается снижением эксплуатационной надежности и, как следствие, ростом эксплуатационных затрат. Статистика показывает, что процесс контроля состояния (с оценкой качества) токораспределительных систем ввиду функциональной сложности и большого объема электрических связей, элементов и измеряемых параметров является одним из наиболее трудоемких видов работ из-за значительного влияния человеческого фактора. Поэтому необходимо максимально исключить человеческий фактор.

В настоящее время контроль электроустановки, включающий операции прозвонки, коммутации стимулирующих сигналов при проверке на функционирование, измерение параметров цепей и измерение сопротивления изоляции, производится на специализированных стендах или на специализированных стендах автоматического контроля.

Уровень сложности бортового комплекса управления затрудняет проверку отдельных функциональных элементов на земле, в лабораторных условиях. Недостатком существующих систем контроля является их стационарность и невозможность работать автономно, непосредственно на объекте контроля, а также отсутствие анализа и оптимизации при проектировании стыковочных карт и технологических переходных жутов.

Длительное время технология контроля и испытаний электротехнического оборудования ВС не имела достаточной теоретической базы и развивалась, в основном, на основе экс-

периментальных исследований. Отставание научной базы объясняется сложностью получения формализованного описания технологических процессов.

Для облегчения решения задач технической диагностики реальные объекты заменяют моделями. Формальное описание объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях составляет диагностическую модель объекта.

Диагностическая модель должна обеспечивать формулировку условий разделения множества всех состояний объекта на подмножества работоспособных и неработоспособных состояний, получение критерия оценки степени работоспособности объекта, установленные признаки возникших дефектов и разделение состояний в подмножестве неработоспособных состояний. Теоретические методы построения дискретных технологических процессов начали разрабатываться лишь в последнее время.

Одним из важнейших этапов при эксплуатации дискретных систем является тестирование. При проверяющем тесте по реакции проверяемой системы на данный тест можно сказать, является система исправной или неисправной. Если система является неисправной, то возникает задача определения конкретной неисправности в системе. Для этой цели используют диагностические тесты, которые обычно намного длиннее, чем проверяющие. При одновременной сложности дискретных систем построение тестов невозможно без применения вычислительной техники и без соответствующих математических моделей.

При рассмотрении различных математических аппаратов оказалось, что их использование для систем высокой сложности проблематично. Так метод тестирования с применением таблицы функций неисправностей трудно реализуем в силу большой трудоемкости построения этих таблиц. Метод тестирования, использующий Д-алгоритм, при большой сложности диагностируемой системы также практически неосуществим. Подобным недостатком обладают метод построения дерева отказов, Т-модель объекта диагностики (ОД), и ряд других.

Одной из широко распространенных математических моделей при построении тестов для дискретных систем является модель конечного автомата. При этом в качестве модели объекта можно рассматривать некоторый конечный автомат, который характеризуется входным  $X$  и выходным  $Y$  алфавитами и конечным множеством положений  $Z$ . Такой подход к объекту позволяет представить его модель в виде логической функции, заданной аналитически.

Введем ряд понятий и определений.

*Конечный автомат* — это устройство, работающее в дискретные моменты времени (такты). На вход конечного автомата в каждом такте поступает один из возможных входных сигналов, а на его выходе появляется выходной сигнал, являющийся функцией его текущего состояния и поступившего входного сигнала.

Вопросы построения, анализа, а также синтеза таких моделей разработаны наиболее полно в рамках теории релейных устройств и конечных автоматов получила свое начало теория экспериментов над автоматами, которую теперь следует отнести к теории технической диагностики.

Условием построения математических моделей ОК является задание моделей неисправностей. В том случае когда моделью ОК является структурный конечный автомат или логическая модель, рассматривают логические неисправности. Для абстрактного автомата общепринятыми неисправностями являются искажения переходов между состояниями автомата и искажения значений его выходов.

*Конечный распознаватель* — это модель устройства с конечным числом состояний, которое отличает правильно образованные или «допустимые» цепочки от недопустимых. Хотя это понятие чисто математическое, определяемое в терминах множеств, последовательностей (цепочек) и функций, лучше представлять его в виде вычислительной машины.

На вход конечного автомата подается цепочка символов из конечного множества, называемого *входным алфавитом* автомата. Некоторые состояния автомата выбираются в качестве *допускающих* или *заклочительных*. Если автомат, начав работу в начальном состоянии, при прочтении всей цепочки переходит в одно из допускающих состояний, говорят, что эта входная цепочка *допускается* автоматом. Если последнее состояние автомата не является допускающим, говорят, что автомат *отвергает* цепочку.

Для каждого конечного автомата существует бесконечное число других конечных автоматов, которые распознают то же множество цепочек. При конструировании распознавателя для данной проблемы естественно учитывать возможность существования какого-то другого распознавателя для того же множества, который определяется проще и при реализации в качестве программы для вычислительной машины требует меньших затрат памяти. Для каждой задачи распознавания существует единственный автомат, свойства которого полностью соответствуют нашим представлениям об автомате, «имеющем простейшее определение» и «требующем минимальных затрат памяти при реализации».

Минимальный автомат для заданной проблемы распознавания является на самом деле результатом приведения (или редукции) более громоздких автоматов, решающих ту же зада-

чу. Суть в том, что минимальный автомат — это компактный вариант автоматов большего объема. Этот факт усиливает довод в пользу выбора минимального автомата в качестве главного кандидата на реализацию.

В процессе эксплуатации проверяемой системы (ПС) возможно нарушение ее работоспособности, т.е. изменение реализуемой ею функции. Причиной этого является возникновение неисправностей, то есть физических дефектов одного или нескольких элементов, вызывающих неправильную работу ПС. Построение тестов для цифровых систем, поведение которых описано автоматами, обычно требует анализа автомата как в исправном, так и в неисправном состоянии. Прежде всего, необходимо договориться, какого рода неисправности будем рассматривать. Иными словами, определим модель неисправности.

Как показывает производственный опыт, наиболее частыми неисправностями являются повреждение соединений с основаниями, ошибки монтажа, замыкания и разрывы цепей переходов и соединений. Большинство из выше перечисленных неисправностей может быть описано в автоматах с помощью неисправностей на выходах и на переходах. Известно, что такие неисправности могут увеличивать число состояний в автомате. Эталонный автомат в результате неисправности преобразуется в один из автоматов конечного множества, называемого *областью неисправности*.

Во всех случаях, когда объект диагностики можно представить конечным автоматом А, возникновение неисправности в нем будет равносильно появлению нового автомата А'. Тогда поиск неисправности можно рассматривать как процесс последовательного сравнения автомата А с автоматами из множества определяемого общим числом возможных неисправностей. Процесс построения диагностических тестов тесно связан с экспериментами по распознаванию автомата (в данном случае конкретной неисправности) в конечном множестве.

Предполагается, что для автомата, подлежащего проверке, задан перечень неисправностей, причем рассматриваются только те неисправности, которые изменяют таблицу переходов исправного автомата. Под *экспериментом* по распознаванию автомата понимается процесс подачи на вход проверяемого автомата входных последовательностей, наблюдения его реакций на эти последовательности и вывод о том, каким автоматом из заданного множества является проверяемый автомат.

Однако и применение конечноавтоматной модели для сложных систем представляет собой трудоемкую задачу. Поэтому предлагается электротехническое устройство условно разделить на небольшие участки и представить их в виде конечного автомата. Тогда все устройство будет представлять собой систему взаимодействующих конечных автоматов, т.е. кл-

точный автомат. Клеточные автоматы широко применяются для моделирования систем, для которых существенно пространственное взаимодействие между элементами системы.

Клеточные автоматы — это математический объект, представляющий собой дискретную динамическую систему и позволяющий моделировать параллельные асинхронные процессы. Он представляет собой равномерную сетку, каждая ячейка которой может находиться в одном из шести возможных состояний. Состояния клеток обновляются синхронно на каждом шаге моделирования (время в клеточноавтоматной модели дискретно) согласно локальным правилам перехода. Новое состояние клетки определяется в зависимости от предыдущего состояния и состояния соседних клеток.

На практике используется размерность массива клеток  $n = 1, 2, 3$ . Однородная структура состоит из клеток в каждой из которых находится конечный автомат. В общем случае клеточный автомат имеет четыре входа от соседних клеток и четыре выхода, идущих к ним. Правило перехода, содержащееся в каждой клетке, по сути своей является конечным автоматом и обычно определяется в виде таблицы функций перехода, каждая строка которой соответствует некоторой конфигурации состояний клеток окрестности данной клетки.