



Технологическое обеспечение надежности межсоединений

Этой статьей автор открывает серию публикаций, которая посвящена технологическим аспектам обеспечения надежности электронной аппаратуры и создана по многочисленным просьбам читателей.

Аркадий Медведев,
профессор МАИ

medvedevam@bk.ru

Безотказность и эффективность эксплуатации электронной аппаратуры зависит от множества и миниатюрности элементов межсоединений. Поэтому необходимо интенсифицировать использование критериев и методов, позволяющих оценить качество и прогнозировать надежность элементов соединений и изоляции печатных плат, паек, контактных соединений, непаяных соединений, изоляционных конструкций аппаратуры и т. д. Именно такую совокупность мы и будем называть элементами межсоединений.

Когда хотят подчеркнуть долговременную добротность изделий, говорят о ее качестве и надежности. Следует заметить, что термины «качество» и «надежность» употребляются вместе, чтобы еще раз напомнить о взаимосвязи, существующей между ними. В общем случае качество изделия определяется как его соответствие требованиям технической документации в момент проведения контроля и испытаний. Надежность характеризует способность изделия отвечать заданным требованиям в процессе эксплуатации. В известном смысле проблема надежности фактически представляет собой проблему качества. Однако результаты, полученные в процессе приемо-сдаточных испытаний, могут находиться в пределах, установленных техническими условиями, то есть соответствовать требованиям качества. Тем не менее изделие может иметь скрытые дефекты, приводящие к преждевременным отказам аппаратуры. Поэтому эксплуатационные показатели надежности печатного монтажа могут отличаться от показателей, получаемых при испытаниях на соответствие требованиям технических условий. Следовательно, задача оценки качества изделий состоит в использовании методов и средств, позволяющих распознавать и выделять элементы межсоединений, которые не соответствуют определенным критериям надежности.

Вопросы теории и практики надежности решаются двумя методами. Первый основан на изучении статистических закономерностей поведения объекта как совокупности всех составляющих его элементов, по отношению к которым поведение ее отдельных элементов является случайным. При этом с точки зрения надежности все разнообразие состояний объекта сводится к двум состоя-

ниям: исправному и неисправному. Эти состояния описываются функциями надежности, получаемыми статистическими методами.

Второй метод, который считается технологическим, основан на физико-химическом подходе к надежности технических объектов и состоит в выявлении слабых звеньев (неоднородностей структуры) и изучении процессов их деградации в функции «неоднородность — нагрузка». Эти свойства и процессы описываются зависимостями, отражающими физико-химические закономерности появления отказов.

К настоящему времени наиболее полно разработаны вероятностно-статистические методы оценки надежности. В соответствии с ними основным показателем надежности принята интенсивность отказов, так называемая λ -характеристика, определяемая на основании статистических данных. Разработаны и стандартизованы методы расчета надежности, которые базируются на представлении анализируемых устройств как совокупности большого числа независимых элементов с постоянными в процессе эксплуатации λ -характеристиками. Сегодня в технические условия на элементы обязательно вводятся требования по статистическим показателям надежности и соответствующим им методам и объемам испытаний. И не случайно к категории надежности в настоящее время причисляют не только безотказность, но и долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность.

Однако по мере роста надежности элементов, процессы, определяющие данный параметр посредством соответствующих испытаний, становятся неэффективными. Так, элементная база на основе интегральных микросхем (ИС) характеризуется интенсивностью отказов $10^{-6} \dots 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$. Исходя из принципа равнопрочности элементов совокупности, представляющей печатный узел, возможность восстановления работоспособности печатного монтажа в случае его отказа, полагая, что надежность элементной базы улучшается в 10 раз каждые 10 лет, абсолютное число элементов печатного монтажа растет, а их размер уменьшается пропорционально растущей плотности компоновки элементов, интенсивность отказов элементов печатного монтажа распределяется следующим образом.

Таблица

Элемент межсоединений	Имеется	Прогнозируется
Пайки	10^{-9}	10^{-10}
Контакты соединителей	10^{-9}	10^{-10}
Концевые печатные контакты	10^{-7}	10^{-10}
Двусторонние ПП	10^{-8}	10^{-9}
Многослойные ПП	10^{-7}	$5 \cdot 10^{-8}$
В том числе:		
элементы изоляции	$10 \cdot 10^{-11}$	10^{-12}
элементы соединений	$4 \cdot 10^{-9}$	10^{-12}

Подтверждение испытаниями таких показателей надежности за приемлемый интервал времени — процесс чрезвычайно трудоемкий и убыточный, так как требует вовлечения в эксперимент огромного количества образцов изделий. Так, для подтверждения с 95%-ной доверительной вероятностью интенсивности отказов 10^{-7} ч^{-1} требуется испытать 1000 образцов в течение 10 лет. Для уменьшения времени испытаний до 1000 ч (1,5 месяца) необходимо увеличить объем выборки до 100 тыс. шт., что неэкономично и практически невозможно.

Однако прямые испытания межсоединений на надежность неэффективны и по ряду других причин. Во-первых, нужно отметить, что результаты длительных испытаний быстро устаревают, так как с объектов наладки и эксплуатации поступает более оперативная информация об отказах печатного монтажа. Во-вторых, эта информация имеет большую достоверность, поскольку характеризует поведение гораздо большего числа изделий, чем в выборке для испытаний. В-третьих, данная информация характеризует надежность межсоединений в конкретных условиях эксплуатации, в то время как в процессе дорогостоящих и длительных испытаний на надежность стараются имитировать экстремальные условия всевозможных воздействий на межсоединения. В-четвертых, надежность испытываемых образцов печатного монтажа оказывается выше надежности измерительной и испытательной аппаратуры, что зачастую приводит к потере достоверности результатов испытаний. В-пятых, большое число элементов соединений и изоляции в выборке печатного монтажа для испытаний на надежность делает невозможным дифференцированный подход к каждому испытываемому элементу. В свою очередь, при статистическом подходе учитывается только конечный результат наблюдений, но не динамика и характер изменений, приводящих к отказу элементов изоляции и соединений.

Большие трудности или даже невозможность определения количественных показателей надежности на основе длительных испытаний обуславливают необходимость в разработке физико-химического подхода к оценке показателей надежности печатного монтажа, позволяющего производить их более оперативно еще на стадии разработки конструктивно-технологических решений.

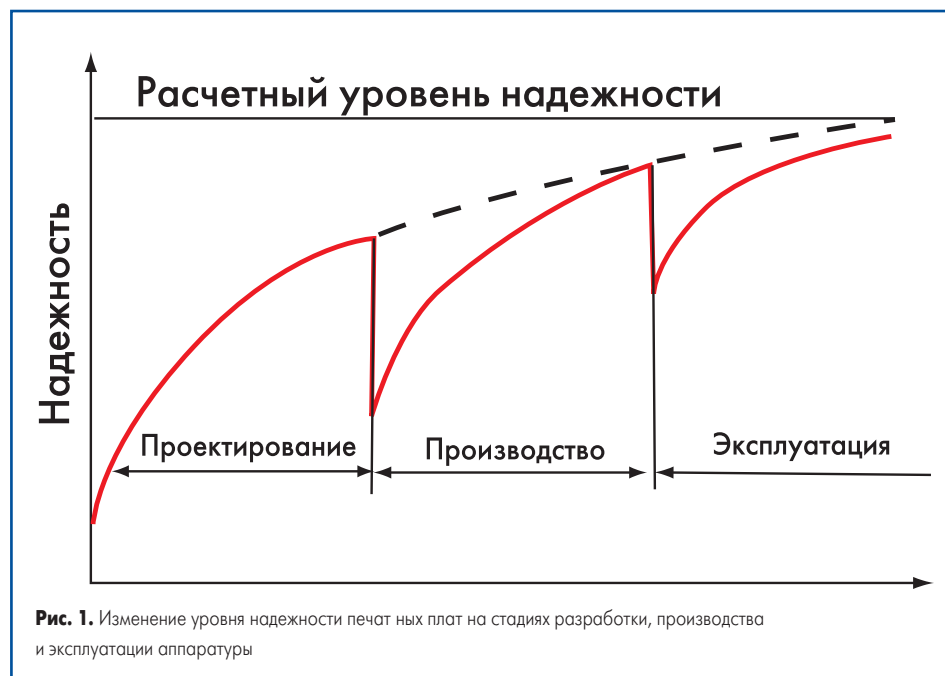
Это направление связано с исследованиями причин и процессов, вызывающих отказы элементов печатного монтажа, выясняются механизмы типичных отказов, на основе которых разрабатываются модели отказов, учитывающие влияние не только времени работы, но и конструктивно-технологические факторы, состояния производства, влияние внешних воздействий. Результаты исследований в этом направлении дают возможность разработать методы инженерных расчетов, позволяющих еще на стадии проектирования оптимизировать конструкции межсоединений по критериям надежности, обоснованно формулировать требования к материально-технической базе производства, прогнозировать показатели надежности на определенный срок, создавать методы ускоренных испытаний на надежность.

Физико-химические процессы, приводящие к отказам межсоединений, очень сложны, природа их исследована недостаточно. Как правило, число факторов, которые необходимо учитывать при исследовании закономерностей постепенных и внезапных отказов, очень велико. Эффективность же способов обеспечения заданной надежности межсоединений при проектировании, изготовлении и эксплуатации определяется уровнем знаний всего комплекса факторов, влияющих на надежность.

Отказы могут возникать на разных стадиях жизненного цикла аппаратуры: ранней, эксплуатационной и конечной. Принадлежность отказа к той или иной стадии жизненного цикла определяет природу отказа, а также задачи и методы его исследования.

Причиной отказов на начальном этапе являются производственные и технологические дефекты. Следовательно, задачи по их предупреждению состоят в отбраковке недоброкачественных изделий. Сравнение данных по отказам с данными по допущенным отклонениям от требований нормативно-технической документации показывает поразительно близкое совпадение между ними. В связи с этим возникает необходимость в использовании оценки допустимости отдельных дефектов межсоединений. Систематизация накопленного опыта позволяет охарактеризовать большую часть типичных дефектов или предложить методы испытаний, а по их результатам можно принять конкретные решения.

Эксплуатационные отказы являются событиями, случайными по моменту и месту возникновения, но имеют вполне определенные причины, которые или заложены в самих платах вследствие разброса неконтролируемых параметров технологического процесса и материалов, либо вызваны экстремальным сочетанием воздействий внешней среды и условий эксплуатации. Эксплуатационный отказ должен рассматриваться как аварийная ситуация. А потому задачи этого этапа сводятся к выяснению достоверной причины отказа и реализации организационно-технических мероприятий по их предотвращению или предупреждению. При этом особое значение приобретают повышение информативности и достоверности методов контроля качества исходных компонентов и полуфабрикатов на промежуточных этапах и в процессе производства, развитие методов исследований свойств материалов.





Любой отказ на конечной стадии, то есть отказ, ограничивающий срок службы, — это событие закономерное, вызванное естественными процессами износа и старения материалов, связанными с условиями эксплуатации, использованными материалами и технологией изготовления электронных конструкций. Следовательно, задача третьего этапа — выявить процесс развития отказа, что позволяет найти способы увеличения ресурса, ускоренные методы оценки надежности, повысить объективность критериев качества печатных плат, узлов и блоков электронной аппаратуры.

Уровень надежности межсоединений может быть связан и с организационно-техническими стадиями разработки, производства и эксплуатации аппаратуры (рис. 1). Отказы периода разработки обусловлены значительным снижением надежности вследствие грубых ошибок при конструировании и в технологии. Эти ошибки постепенно выявляются и устраняются.

Опыт экспериментального производства первых образцов аппаратуры позволяет выработать надежные рекомендации для подготовки серийного производства. Однако, поскольку условия серийного производства существенно отличаются от экспериментального, начало производства неизбежно связано с потерей надежности. Причинами этого могут быть: неточное соблюдение конструкторской и технологичес-

кой документации, неполная приспособленность разработки к условиям серийного производства и, главное, недостаточное внимание к контролю качества. В этих условиях ни теоретическая обоснованность конструкторского замысла, ни высокий уровень конструкторских и технологических разработок не спасут положения, если при серийном производстве изделия не будет обеспечено его надежной работы. По мере накопления опыта, проведения корректировочных действий, повышения эффективности контроля технологических процессов надежность изделия приближается к уровню, потенциально присущему данной конструкции.

Строго говоря, в процессе производства нельзя полностью избежать снижения надежности от расчетного уровня, его можно лишь свести к минимуму. Однако потенциальную надежность изделия можно повысить, используя информацию, полученную в процессе производства. Это позволяет повысить как теоретически достижимый предел надежности изделия, так и фактическую его надежность.

Разрыв между потенциальной и фактической надежностью в начале производства оказывается весьма значительным. Анализ информации об отказах в период эксплуатации первых серийных образцов показывает, что немалая часть общего числа отказов обусловлена в основном процессом изготовле-

ния. Доля таких отказов печатного монтажа может достигать до 20%.

Снижение надежности изделий в начальный период эксплуатации объясняется тем, что для операторов и специалистов техобслуживания они являются новыми, неосвоенными. Вместе с тем по первому опыту эксплуатации, как правило, выявляется необходимость в доработке изделия, предусматривающая облегчение контроля и техобслуживания. Это может быть переконфигурация изделия, облегчающая ремонт и замену узлов с относительно высокой интенсивностью отказов, а также доступ к узлам и блокам, улучшение условий ремонта и восстановления работоспособности узлов; конструктивные улучшения самодиагностики, выделение неремонтируемых модулей и блоков, изымаемых при отказе без ремонта.

Таким образом, существенным фактором обеспечения надежности элементов межсоединений является правильно организованный контроль его качественного состояния. Рациональное построение систем выявления причин и предвестников отказов, оптимальное использование полученной информации об отказах для управления качеством изделий при производстве и их состоянием в процессе эксплуатации позволяют вскрывать и использовать имеющиеся резервы повышения надежности электронной аппаратуры.