

Лекция 2. Режимы диагностирования и контроля электрических параметров. Зависимость набора параметров и условий контроля от типа изделий и вида приемки

Составной частью производственного контроля качества полупроводниковых приборов и ИМС является измерение их параметров и проверка на функционирование. Этот контроль выполняют на завершающих стадиях изготовления изделий (при сборке, герметизации), а также при испытаниях, исследованиях отказов и применении в аппаратуре.

Основными требованиями, которые предъявляют к контрольно-измерительным операциям, являются высокая точность, достоверность и воспроизводимость результатов.

Высокая точность обусловлена весьма жесткими нормами на контролируемые величины (токи, напряжения, время), а также очень узкими диапазонами их измерений. Так, входные токи некоторых ИМС составляют единицы нано-ампер, время задержки распространения сигнала - единицы микросекунд при нормах на эти параметры того же порядка.

Высокая достоверность результатов измерений обеспечивает оценку пригодности изделий к эксплуатации без риска появления отказов, позволяет своевременно выявлять дефектные изделия и вносить коррективы в технологию их изготовления или конструкцию.

Высокая воспроизводимость результатов является важнейшим требованием, предъявляемым к измерениям, и обеспечивается при выполнении следующих условий:

- применении только проверенного и аттестованного измерительного оборудования;
- задании электрических режимов и поддержании их в точном соответствии с технической документацией;
- соблюдении всех режимов проведения измерений, оговоренных в технической документации (температуры, влажности др.).

В условиях серийного и крупносерийного производства большое значение приобретает требование высокой производительности контрольно-измерительных операций.

Непрерывное повышение функциональной сложности изделий микроэлектроники привело к расширению системы контролируемых параметров и значительному увеличению количества тестовых комбинаций, необходимых для проверки работоспособности. Решить эту проблему без широкого внедрения автоматизированных измерительных систем на основе ЭВМ невозможно.

Выбор норм контроля электрических параметров

Возможности использования полупроводниковых приборов и ИМС в радиоэлектронной аппаратуре определяются результатами контрольно-измерительных операций. Это означает, что параметры изделий микроэлектроники должны отвечать определенным требованиям, которые выдвигаются потребителями. Электрические параметры изделий должны соответствовать нормам, устанавливаемым технической документацией, так как из-за специфики производства получить абсолютно одинаковые значения какого-либо параметра у всех изделий микроэлектроники одного типа невозможно. Нормы задаются в виде максимальных или минимальных разрешенных значений. Иногда, кроме того, задается диапазон допустимых значений.

В процессе производства постепенно накапливаются данные о действительных значениях параметров изделий. Статистическая обработка этих данных позволяет определить запасы по каждому параметру относительно норм. Как уже отмечалось, все выпускаемые полупроводниковые приборы и ИМС проходят несколько этапов производственного контроля. Цехам для проверки электрических параметров изготавливаемых изделий устанавливаются цеховые нормы, по которым проводится их сплошной контроль. Контроль готовых изделий производится по другим нормам - нормам ОТК предприятия. Кроме того, изделия сдаются потребителям по сдаточным нормам.

При выборе цеховых норм, норм ОТК и сдаточных необходимо учитывать следующее. *Во-первых*, при контроле эти нормы и режимы измерений должны обеспечивать сохранение производственных

запасов, созданных при разработке изделий. Во-вторых, любому измерению должна соответствовать определенная погрешность, которая оценивается суммарной относительной погрешностью измерений. Обычно контроль изделий по цеховым нормам, нормам ОТК и сдаточным выполняют на одном и том же оборудовании. Цеховые нормы устанавливаются более жесткими, чем нормы ОТК, а нормы ОТК более жесткими, чем сдаточные. Как правило, эти нормы отличаются друг от друга на значение, примерно равное двум относительным погрешностям измерения конкретного параметра на данном оборудовании при одинаковых внешних условиях.

Так, если суммарная относительная погрешность измерения выходного напряжения логической единицы $U_{1вых}$ составляет 5 %, а сдаточная норма на этот параметр установлена 2.4 В, то норму ОТК определяют следующим образом:

$$2.4 \text{ В} + (2 \cdot 2.4 \cdot 0.05) \text{ В} = 2.64 \text{ В}.$$

Соответственно Цеховая норма на этот параметр будет 2.8 В. Электрические параметры изделий микроэлектроники должны удовлетворять сдаточным нормам при воздействии повышенной или пониженной температуры. Поэтому цеховые нормы на электрические параметры изделий, проверяемых в нормальных условиях, устанавливаются более жесткими, чем нормы ОТК или сдаточные нормы, с учетом возможных изменений параметров при повышении или понижении температуры до крайних допустимых значений. Изделия, параметры которых могут выйти за пределы сдаточных норм в условиях повышенной или пониженной температуры, при проведении цехового контроля отсортировываются.

Выбор режимов и условий измерений

Под *электрическими режимами* понимают значения и характер электрических величин - постоянных, переменных или импульсных токов и напряжений на выводах контролируемых изделий. При измерении различных параметров задаются разными электрическими режимами, т. е. подают напряжение питания, обеспечивающее на входах полупроводникового прибора или ИМС соответствующие входные токи или напряжения, а на выходе - электрическую нагрузку.

Под *условиями проведения измерений* понимают воздействие на изделия внешних факторов: температуры, влажности, вибрации, линейных ускорений и др. В производстве изделий микроэлектроники выработаны основные принципы выбора электрических режимов и условий измерений.

Первый принцип - электрический режим и условия проведения измерений должны повторять (имитировать) реальные условия работы изделий в радиоэлектронной аппаратуре различного назначения.

Второй принцип связан с обеспечением электрической нагрузки на выходе полупроводникового прибора или ИМС при проведении измерений и испытаний. На практике электрическая нагрузка контролируемого изделия может быть реализована в зависимости от измеряемых параметров различными способами.

При измерении статических параметров, когда задаются постоянные токи и напряжения, необходимо, чтобы на контролируемом выходе постоянный нагрузочный ток был такой же, как и при работе изделия в аппаратуре. Это относится и к напряжению.

При измерении динамических параметров следует учитывать как монтажные, так и входные емкости и индуктивности, которые могут заметно влиять на протекание переходных процессов и изменять значения динамических параметров.

Измерения и испытания проводят в наихудших для изделий условиях, при самых неблагоприятных сочетаниях входных сигналов, отклонений напряжения питания, повышенной и пониженной температуры. Для правильного подбора неблагоприятных сочетаний различных воздействий (электрических, климатических и др.) на изделия необходимо знать зависимость между каждым электрическим параметром и воздействующим фактором. Кроме того, следует при проведении измерений и испытаний учитывать физические и конструктивные особенности изделий.

В настоящее время для контроля статических и динамических параметров широко используют автоматические измерительные системы на основе ЭВМ, в которую вводится специальная программа.

По этой программе ЭВМ управляет измерительным процессом, т.е. задает электрические режимы на выводы полупроводникового прибора или ИМС, определяет значение электрических параметров, оценивает контролируемые изделия на соответствие требованиям технических условий (ТУ).

Зависимость испытаний от вида приемки и типа изделия

Для контроля соответствия изделий требованиям стандартов и технических условий на конкретные группы, типы, виды изделий (далее - стандарты и ТУ на изделия) устанавливают следующие категории испытаний (ГОСТ 25360-82 "Изделия электронной техники. Правила приемки"):

1. квалификационные (К);
2. приемо-сдаточные (С);
3. периодические (П);
4. типовые (Т);
5. на сохраняемость (С).

Квалификационные испытания проводят с целью проверки отработанности технологического процесса, оценки готовности производства к серийному выпуску изделий в заданном объеме и проверки соответствия их требованиям стандартов и ТУ на изделия.

Приемо-сдаточные испытания проводят с целью контроля качества изделий каждой предъявляемой партии на соответствие требованиям, установленным в стандартах и ТУ на изделия в объеме этой категории испытаний и определения возможности приемки.

Периодические испытания проводят с целью периодического контроля качества изделий, стабильности технологического процесса их изготовления в период между предшествующими и очередными испытаниями в объеме требований, установленных в стандартах и ТУ на изделия для этой категории испытаний и подтверждения возможности продолжения приемки.

Типовые испытания проводят с целью оценки целесообразности и (или) эффективности изменений, вносимых в процессе производства изделий в их конструкцию, технологию или применяемые материалы и полуфабрикаты, и для проверки соответствия изделий, изготовленных с изменениями требованиям стандартов и ТУ на изделия.

Испытания на сохраняемость проводят с целью подтверждения установленного стандартами и ТУ на изделия гамма-процентного срока сохраняемости. Состав испытаний входящих в каждую категорию, подразделяют на группы. В каждую группу могут входить испытания одного или нескольких видов. В качестве критерия подразделения состава испытаний конкретной категории на группы принимают:

- техническую необходимость или целесообразность подразделения испытаний на группы (например, испытания некоторых видов являются разрушающими);
- различие планов контроля;
- различие в периодичности контроля;
- целесообразную возможность одновременных (параллельных) испытаний для сокращения общей продолжительности испытаний.

Испытания одной группы всех видов проводят по одному плану контроля. Не должно быть нескольких групп испытаний, проводимых на одной выборке (одних и тех же изделиях) по одному плану контроля. Обозначение групп испытаний состоит из обозначения категории испытаний и порядкового номера группы в данной категории, отделяемого дефисом. Например, вторая группа квалификационных испытаний - К-2; первая группа приемо-сдаточных испытаний - С-1 и т. д. Контроль качества изделий проводят по альтернативному признаку. Для контроля качества изделий

в стандартах и ТУ устанавливают выборочный одноступенчатый, двухступенчатый или сплошной контроль.

Выборочный контроль применяют в случае, если объем предъявляемых партий позволяет применять статистические методы контроля в соответствии с ГОСТ Р 50779.71-99.

При выборочном одноступенчатом контроле результаты испытаний считают положительными, если число дефектных изделий, обнаруженных в выборке, не превышает приемочного числа С1, плана контроля, установленного для данной группы испытаний.

При выборочном двухступенчатом контроле результаты испытаний считают положительными, если число дефектных изделий в первой выборке меньше или равно приемочному числу С1, и считают отрицательными, если число дефектных изделий больше или равно браковочному числу С2. Приступают к испытаниям второй выборки. Результаты испытаний изделий считают положительными, если число дефектных изделий двух выборок меньше или равно приемочному числу С3, и считают отрицательными, если число дефектных изделий в двух выборках больше или равно браковочному числу С4.

Изделие считают выдержавшим испытания, если оно испытано в полном объеме и последовательности, установленных в нормативно-технической документации (НТД) для проводимой группы испытаний, и соответствует всем требованиям НТД, проверяемым при этих испытаниях. Изделие, не выдержавшее испытания, считают дефектным.

Состав испытаний для каждого вида приемки определяется ГОСТ 11630-84 "Приборы полупроводниковые. Общие технические условия" и нормативно-техническими документами на приборы конкретных типов. Например, проверка на соответствие требованиям к надежности проверяется испытаниями на безотказность, долговечность и сохраняемость. Испытание приборов на безотказность проводят в течении 500 ч в одном на двух условий испытаний, что указывают в стандартах или ТУ на приборы конкретных типов:

- испытания проводят при повышенной рабочей температуре среды (корпуса прибора) и соответствующей этой температуре предельной допустимой электрической нагрузке,
- испытания проводят при повышенной рабочей температуре среды (корпуса прибора) и нормальной температуре и соответствующим этим температурам допустимым электрическим нагрузкам. При этом чередуют температуры.

Испытания, как правило, проводят в следующих электрических режимах:

- диодов - в динамическом режиме одиополупериодного выпрямления переменного тока при максимально допустимых значениях обратного напряжения и прямого тока для той температуры, при которой проводят испытания; или в статическом режиме при максимально допустимом обратном напряжении для температуры, при которой проводят испытания;
- транзисторов с постоянной рассеиваемой мощностью до 1 Вт - в статическом режиме в схеме с общей базой при максимально допустимых значениях постоянной рассматриваемой мощности для той температуры, при которой проводят испытания, и постоянном напряжении коллектор-база, установленном в стандартах или ТУ на приборы для данного испытания;
- транзисторов с постоянной рассеиваемой мощностью более 1 Вт - в статическом или динамическом (квазидинамическом) режиме при максимально допустимом значении постоянной рассеиваемой мощности для той температуры, при которой проводят испытания, и постоянном напряжении коллектор-база, установленном в стандартах или ТУ на приборы для данного испытания.