

Лекция 5. Метрологическое обеспечение процесса контроля электрических параметров

Повышение качества полупроводниковых изделий связано с уменьшением разброса электрических параметров, при этом возрастает точность измерений. Чтобы реализовать повышение точности, необходимо:

- выполнение общих требований к аппаратуре и условиям испытаний (например ГОСТ 30350-96 "Микросхемы интегральные аналоговые. Общие требования к измерительной аппаратуре и условиям измерения электрических параметров")
- строгое соблюдение графика работ по обеспечению должного технического состояния тестового оборудования
 - профилактика (внешний осмотр, чистка)
 - проверка работоспособности (самодиагностика)
 - периодическое проведение калибровки (поверки)

Климатические условия измерения электрических параметров микросхем должны соответствовать требованиям ГОСТ 20.57.406 и других нормативных документов по стандартизации на микросхемы конкретных типов.

Измерения проводят в установившемся тепловом режиме. Если условия измерений вызывают термическую нестабильность испытуемой микросхемы, измерения проводят импульсным методом. Время между отдельными измерениями идентичных параметров должно быть минимальным, чтобы уменьшить изменение результатов измерений, вызванное временной нестабильностью некоторых параметров или изменением условий окружающей среды. Во время проведения измерений отклонение установленной температуры окружающей среды должно быть $\pm 5^\circ\text{C}$ если иное не указано в технических условиях на микросхемы конкретных типов.

Требования к значениям температуры окружающей среды (корпуса), напряжения (тока) питания, параметрам нагрузки и измерительных сигналов должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на микросхемы конкретных типов.

Измерительные установки, применяемые для измерения электрических параметров микросхем, должны соответствовать требованиям ГОСТ 22261 "Средства измерения электрических и магнитных величин. Общие технические условия" и ГОСТ 12.2.007.0 "Изделия электротехнические. Общие требования безопасности" и не должны быть установлены в пожаро- и взрывоопасных помещениях. К измерительным приборам относятся также источники измерительных сигналов и источники питания измеряемой микросхемы. Нестабильность источников питания, вызванная изменением напряжения сети и окружающей температуры, должна быть $\pm 1\%$ для источников постоянного тока и $\pm 2\%$ для источников переменного и импульсного токов. Коэффициент пульсации напряжения (тока) источников питания должен быть $\pm 1\%$. Погрешность установления напряжения питания микросхем должна быть $\pm 5\%$.

Относительная погрешность методов измерения микросхем в статическом режиме должна быть $\pm 10\%$, в динамическом режиме $\pm 20\%$. Если измеряемое значение характеризует определяемый параметр (например, выходное напряжение) или если для определения значения параметра проводят только одно измерение (например, время нарастания), то погрешность измерительного прибора должна быть не менее чем в три раза меньше максимальной погрешности при измерении параметра. Если значение параметра вычисляют по двум или более измеренным значениям, то погрешность измерения определяют по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2},$$

где $\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2$ - погрешности отдельных измерений параметра. Погрешность измерения параметра должна быть в три раза меньше допустимого отклонения параметра.

При измерении временных параметров с помощью осциллографа или другого измерительного устройства, характеризуемого шириной полосы пропускания или временем нарастания, необходимо, чтобы длительность измеряемого временного параметра (например, время нарастания) превышала время нарастания измерительного прибора не менее чем в три раза, а погрешность измерения интервала времени была не менее чем в три раза меньше максимального отклонения параметра.

Полное входное сопротивление измерительного прибора должно превышать полное сопротивление между точками подключения измерительной цепи не менее чем в 100 раз. Если это требование неосуществимо; то необходимо учитывать влияние подключения измерительного прибора, а в результаты измерения вносить соответствующую поправку, или входное сопротивление измерительного прибора должно быть включено в эквивалентное сопротивление нагрузки.

При измерении электрических параметров микросхем с помощью полуавтоматизированных и автоматизированных измерительных установок применяют методы, указанные в ГОСТ 19799. Допускается применение других методов измерений, погрешность измерений при этом должна соответствовать требуемой погрешности измерения параметров.

Измерительные приборы и установки должны обеспечивать электрический режим и условия эксплуатации, указанные в стандартах или технических условиях на микросхемы конкретных типов.

Допускается замена измерительных приборов и элементов, приведенных в структурных схемах методов измерения электрических параметров, другими устройствами, выполняющими те же функции и обеспечивающими точность измерений. Допускается исключать из структурных схем приборы и элементы, не используемые при измерении конкретного параметра. В целях автоматизации измерений в качестве переключающих устройств могут быть применены любые коммутирующие элементы, при сохранении допустимой погрешности.

Характер, значение нагрузки и схема ее подключения должны быть указаны в стандартах или технических условиях на микросхемы конкретных типов.

При необходимости емкость и индуктивность монтажных проводов, испытательных зажимов и измерительных приборов, подключаемых к выходу микросхемы, учитывают в параметрах нагрузки.

Для защиты микросхем от перегрузок, возникающих под действием переходных процессов, статического электричества и паразитного самовозбуждения, измерительные установки должны быть снабжены устройствами защиты, исключающими возможность превышения предельно допустимых режимов, установленных в технических условиях на микросхемы конкретных типов. Применение защитных устройств не должно приводить к увеличению погрешности измерений.

Контактирующие устройства измерительных установок должны обеспечивать надежное электрическое подключение микросхем, исключая механическое повреждение их выводов.

Частотный диапазон приборов должен соответствовать частотному диапазону измеряемых микросхем или быть шире. При необходимости требования к частотному диапазону приборов должны быть указаны в методах измерения конкретных параметров микросхем.

Для используемых средств измерений устанавливают следующие нормируемые метрологические характеристики средств измерений по ГОСТ 8.009:

- пределы (положительный и отрицательный) допускаемой основной погрешности средств измерений или пределы допускаемой систематической составляющей и предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей основной погрешности средств измерений;
- пределы (положительный и отрицательный) допускаемой дополнительной погрешности или ее составляющих (наибольшее допускаемое изменение погрешности, обусловленное изменением влияющих величин в пределах рабочей области) или пределы допускаемой погрешности в интервале влияющей величины (погрешность средств измерений в условиях, когда значение одной

из влияющих величин находится в пределах рабочей области, а значения остальных влияющих величин - в пределах нормальной области значений), или функции влияния;

- динамические характеристики. Динамические характеристики для аналоговых средств измерений нормируют по ГОСТ 8.256.

Метрологические характеристики средств измерений, предназначенных для работы с преобразователями, являющимися составными частями средств измерений, устанавливают в стандартах или технических условиях на эти средства измерений по согласованию с потребителем. Для средств измерений, используемых в составе информационных электроизмерительных систем и (или) ИВК, для которых метрологические характеристики определяют расчетом по метрологическим характеристикам входящих в них средств измерений, следует нормировать отдельно случайную и систематическую составляющие погрешности, а в качестве динамических характеристик - одну из полных (ГОСТ 8.256).

Перечень нормируемых метрологических характеристик и способы их выражения устанавливают при проектировании средств измерений таким образом, чтобы обеспечить возможность учета метрологических свойств средств измерений при расчете погрешности результатов измерений, выполняемых с использованием этих средств, а соответствие перечня метрологических характеристик средств измерений этому требованию устанавливают при государственных приемочных испытаниях.

Предел допускаемой погрешности с учетом суммарного воздействия основных влияющих величин (температура, влажность, электропитание) в пределах рабочих областей по требованию потребителя и при условии согласования с национальными органами стандартизации допускается нормировать в стандартах и (или) технических условиях на средства измерений конкретного вида (типа).

Метрологические характеристики средств измерений нормируют для нормальных условий применения, когда наибольшее изменение метрологической характеристики, вызванное изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала в пределах рабочих условий применения средств измерений, превышает 50 % нормированного значения метрологических характеристик в нормальных условиях применения. В этих случаях нормируют функции влияния и (или) наибольшие допускаемые изменения метрологических характеристик средств измерений, вызванные изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала (дополнительные погрешности), и (или) характеристики погрешности средств измерений в интервале влияющих величин или неинформативных параметров входного сигнала. При этом характеристики погрешности, систематической и случайной составляющих погрешностей средств измерений называют соответственно характеристиками основной погрешности, характеристиками систематической и случайной составляющей основной погрешности.

Классы точности для средств измерений, устанавливаемые в стандартах и (или) технических условиях на средства измерений конкретного вида (типа), должны соответствовать ГОСТ 8.401.

Допускается по согласованию с потребителем дополнительно пределы допускаемого значения относительной основной погрешности выражать в децибелах по формуле

$$\delta = A \lg(1 + \frac{\Delta}{x})$$

где A - коэффициент, равный 10 при измерении мощности, энергии, плотности энергии и других энергетических величин, и 20 - при измерении напряжения, силы тока, напряженности электрического поля и других электрических величин; Δ - предел допускаемого значения абсолютной основной погрешности; x - значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале.

Метрологические характеристики измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) должны быть установлены отдельно для каждого измерительного канала, а измерительных установок - для каждой измерительной цепи. Для однотипных каналов ИВК, измеряющих одинаковые физические величины, должны быть установлены одни и те же нормы метрологических характеристик.

Средства измерений, имеющие невзаимозаменяемые (индивидуальные) вспомогательные части, должны соответствовать установленным для них в комплекте с этими вспомогательными частями метрологическим характеристикам. Метрологические характеристики средств измерений, предназначенных для работы в комплекте с взаимозаменяемыми (калиброванными) или ограниченно взаимозаменяемыми вспомогательными частями, должны быть установлены отдельно от метрологических характеристик вспомогательных частей. Допускается устанавливать метрологические характеристики средств измерений вместе с ограниченно взаимозаменяемыми вспомогательными частями.

Значения параметров входных и выходных согласованных цепей средств измерений, а также СИ, предназначенных для использования в несогласованных цепях, должны быть стандартизированы. Значения сопротивлений входных и выходных согласованных цепей средств измерений должны быть выбраны из ряда: 0,1; 1; 5; 10; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 600 Ом; 1; 2; 5; 10; 20 кОм.

Средства измерений должны обеспечивать в нормальных и рабочих условиях применения требуемые характеристики по истечении времени установления рабочего режима или непосредственно после их включения. Время установления рабочего режима аналоговых показывающих электроизмерительных приборов прямого действия и вспомогательных частей к ним не должно превышать 30 мин. Время установления рабочего режима средств измерений, снабженных термостатирующими устройствами, не должно превышать 2 ч. Время установления рабочего режима должно быть стандартизировано и указано в технической документации на СИ.

СИ с питанием от электрической сети должны допускать продолжительность непрерывной работы не менее 8 ч. Для малогабаритных комбинированных приборов с питанием от электрической сети с внутренним шунтом на диапазонах измерения свыше 1 А допускается устанавливать продолжительность непрерывной работы, отличную от указанной. Продолжительность непрерывной работы средств измерений с питанием от встроенных электрохимических источников тока устанавливают в зависимости от силы тока, потребляемого средствами измерений, и емкости применяемых источников. При этом время установления рабочего режима, если оно превышает 15 мин, не должно входить в указанную продолжительность непрерывной работы.

По истечении времени непрерывной работы, повторно средства измерений допускается включать после перерыва в течение времени, равного времени установления рабочего режима, но не менее 5 мин.

В конструкции средств измерений по требованию потребителя должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие автоматизацию измерений, самопроверку, контроль работоспособности, а также устройства для подключения внешней поверочной аппаратуры без демонтажа средств измерений, не влияющие на метрологические характеристики средств измерений. Требования к автоматизации, глубине диагностирования и необходимости обеспечения обмена информацией осуществляют через стандартный интерфейс, установленный в технических условиях на средства измерений конкретного типа.

Масса переносных средств измерений не должна превышать 20 кг. Примечание — Допускается превышение указанного значения, но при этом масса, приходящаяся на одну ручку для переноса средств измерений, не должна превышать 20 кг. Если масса средств измерений превышает 40 кг и деление их на блоки нецелесообразно, средства измерений должны быть выполнены в подвижных шкафах, стойках или на тележках.

Единицы измеряемых величин, наносимые на средства измерений должны соответствовать ГОСТ 8.417 "Единицы величин", а циферблаты и шкалы средств измерений — по ГОСТ 5365 "Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования".

Конструкцией средств измерений должны быть обеспечены запас в начале и конце диапазона и перекрытие между поддиапазонами плавно меняющихся регулируемых величин. На лимбах и шкалах должны быть нанесены риски в перекрываемых участках. Погрешности на этих участках допускается не нормировать. Запас в начале и конце диапазона должен быть не менее удвоенного значения основной погрешности для регулируемой величины, а в начале и конце поддиапазона — не менее значения основной погрешности, если иное требование не установлено в стандартах и (или) технических

условиях на средства измерений конкретного вида (типа). При наличии элементов точной настройки, а также когда крайним положениям лимбов и шкал соответствуют нулевое и максимальное значения измеряемой величины, допускается отсутствие перекрытия между соседними диапазонами (но без провалов).

Все измерительные установки должны соответствовать требованиям ГОСТ 22261 и ГОСТ 12.2.007.0 "Изделия электротехнические. Общие требования безопасности".

Все внешние части средств измерений, находящиеся под напряжением, превышающим 42 В по отношению к корпусу, должны быть защищены от случайных касаний во время работы средств измерений, например, клеммы с изоляционными головками, утопленные гнезда, защитные кожухи и т. п., а на внешние части, находящиеся под напряжением свыше 1000 до 30000 В, кроме того, должен быть нанесен символ электрического напряжения. Символ электрического напряжения наносят непосредственно на ту часть, к которой он относится, или около нее, или на поверхности той стенки или крышки, открытие которой делает доступными части, находящиеся под высоким напряжением.

Требования безопасности для аналоговых электроизмерительных приборов прямого действия — по ГОСТ 12.2.091. Требования безопасности для электронных измерительных приборов — по ГОСТ 26104.

В средствах измерений, имеющих только рабочую основную изоляцию, должен быть зажим или контакт защитного заземления. Зажимы (контакты) защитного заземления заземляют во всех случаях при напряжении 650 В и более, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — при напряжениях свыше 42 В переменного тока. Зажим защитного заземления необязателен:

- для средств измерений, выполненных в корпусах из изоляционных материалов. При этом допускается наличие на корпусе металлических частей, например, табличек, винтов, заклепок и т. п., изолированных рабочей изоляцией от частей, находящихся под напряжением;
- при применении трехжильного шнура питания с трехконтактной вилкой. В качестве зажима защитного заземления для средств измерений в корпусах по ГОСТ 5944 "Размеры щитовых показывающих и регистрирующих электроизмерительных приборов" допускается использовать одну из крепежных шпилек, имеющую надежный электрический контакт с корпусом.

Методика проведения испытаний СИ должна быть стандартизирована и указана в технической документации на прибор. Средства измерений, имеющие невзаимозаменяемые (индивидуальные) вспомогательные части, а также средства измерений, для которых метрологические характеристики установлены в комплекте с ограниченно взаимозаменяемыми вспомогательными частями, следует испытывать совместно с ними.

При проведении испытаний и измерений необходимо соблюдать требования безопасности по ГОСТ 12.3.019 "Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности" и ГОСТ 22261.

Испытания средств измерений в нормальных условиях применения должны предшествовать всем другим испытаниям.

Испытания средств измерений следует проводить при температуре окружающего воздуха $(25 \pm 15)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 40–80 %, если в стандартах и (или) технических условиях на средства измерений конкретного вида (типа) не установлены другие условия испытаний.

Эффективность тестового оборудования определяет гарантию работоспособности, быстроту восстановления работоспособности, соответствие метрологических характеристик ТУ.

Простейший способ гарантии работоспособности - проверка по эталону, данные которого хранятся в архиве. Основная проблема - отличие условий испытаний образца и эталона. Зависимость погрешности от влияния внешних условий имеет сложный нелинейный характер и как правило не определена. Поэтому диагностика неисправности данным методом обычно затруднена.

Более эффективным методом является метод самодиагностирования. В СИ в данном случае входит подсистема, отвечающая за диагностику и вывод данных о состоянии прибора. В силу того, что собственные средства тестера не позволяют гарантировать соответствие ТУ, то процесс самодиагностирования является промежуточным.

Окончательное решение о работоспособности может дать только периодическая поверка (калибровка) СИ.