

Защита от накопления и распространения электростатических разрядов



В статье рассмотрены основные проблемы оборота компонентов, чувствительных к электростатическому разряду, а также требования к их упаковке, транспортировке и хранению.

000 НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург

Электростатический разряд (ЭСР, ESD) — это явление, возникающее при переходе электрического заряда между двумя объектами с разными потенциалами. Он может происходить как в природных условиях, так и быть искусственно созданным. Знание основ электростатического разряда и методов его предотвращения имеет большое практическое значение для решения множества задач в научных и технических областях.

Одной из основных причин возникновения электростатического разряда является накопление статического электричества. Когда накопленный заряд достигает определенного предела, он начинает искать способы выравнивания потенциала с окружающими объектами, что и приводит к электростатическому разряду.

В данной статье мы рассмотрим основные проблемы оборота компо-

нентов, чувствительных к электростатическому разряду (ЧЭСР, ESDS) (рис. 1), основные ГОСТы, модели и условия возникновения ЭСР. Мы разберем требования к упаковке, транспортировке и хранению ЧЭСР-компонентов, а также их классификацию. Будут рассмотрены методы и мероприятия по предотвращению и контролю возникновения ЭСР, методы организации участка, защищенного от электростатического разряда (УЗЭ, ЕРА), а также требования к антистатическому оснащению рабочих мест и персоналу.

Современные проблемы в отрасли и стандартизация

Современная радио- и микроэлектронная промышленность в России развивается с каждым годом, что способствует развитию компонентной базы и увеличению чувствительности

компонентов. Теперь привычная система оснащения предприятий и контроля качества выпускаемой продукции, к сожалению, не гарантирует допустимого уровня брака. На это влияет квалификация специалистов, работающих с ЧЭСР-компонентами, а также нерациональная экономия на модернизации участков производств и недостаточная осведомленность руководящего состава предприятий о проблеме.

Немаловажным фактором, влияющим на эту проблему, является то, что большинство производств, работающих с ЧЭСР-компонентами, — это предприятия государственного и оборонного сектора. В работе они руководствуются отраслевыми стандартами (ОСТ), которые являются для них основными принципами и постулатами, но значительно отстают от мировых стандартов и современных ГОСТ.

Другим фактором является переход с радиоэлектроники на микроэлектронику, который сопровождается изменением компонентной базы и порога ее чувствительности. Это обуславливает недостаточность принятых стандартных мер качества по обороту, хранению и транспортировке современных ЧЭСР-компонентов, порог чувствительности которых сильно уменьшился.

Несмотря на то что уже многие годы передовые российские производители электроники применяют на своих



Предостерегающий символ с указанием на чувствительность изделия к электростатическому разряду



Символ для компонента (изделия), защищающего от воздействия электростатического разряда

Рис. 1. Знаки безопасности на производстве

предприятиях меры по антистатической защите в соответствии с ГОСТ Р 53734 «Электростатика», в России до последнего времени не существовало современных государственных стандартов, регламентирующих защиту электронных устройств от электростатических явлений. При отсутствии единых правил каждое предприятие по своему усмотрению решало, а зачастую не решало вопросы с обеспечением ESD-защиты. Чуть далее заходили те предприятия, на которых, кроме технической организации, присутствовали административные элементы программы ESD-защиты. К третьей и самой немногочисленной группе компаний можно отнести те предприятия, у которых самостоятельно внедренная программа ESD-защиты основывалась на требованиях международных стандартов. Такие предприятия в своей деятельности были вынуждены опираться на стандарты ГОСТ ИЕС 61340-5-1 и ГОСТ ИЕС 61340-5-2 в части мер антистатической защиты.

Проблема образования электростатического разряда требует применения комплексных мер для ее решения. Чтобы производить качественную и надежную продукцию, нужен единый и надежный оборот компонентов. Так как в большинстве случаев итоговые изделия собираются на разных предприятиях, необходимы единые правила для всех производств. В противном случае образуется разница в осуществлении оборота компонентов, так как одно из предприятий в цепочке, к примеру, работает на основе ОСТов 1974 года, а другое (контрактное производство) работает по современным ГОСТам 2019-2021 годов и имеет высокий уровень организации и контроля.

Модели и условия возникновения ЭСР

Распространенными условиями возникновения ЭСР являются: трение или вращение материалов при взаимодействии, резкий температурный перепад, пыль и влажность, различные способы облучения (электромагнитные поля и радиация), разделение физических тел, а также другие физические процессы.

Статическое электричество — главная проблема микроэлектронных изделий, наносящая ощутимые убытки при недооценке его силы. Несмотря

на то что электростатический разряд является переносчиком небольшого количества энергии, большая разность потенциалов и высокая скорость их изменения влекут образование токов, достаточных для мгновенного выхода из строя чувствительной электроники и нанесения изначально незаметных повреждений. Следствием таких повреждений является деградация параметров и постепенный отказ, крайне сложный для локализации. Пренебрежение антистатической защитой влечет за собой финансовые потери, порой сопровождающиеся потерей репутации.

Существует четыре модели образования ЭСР: модель «Человеческое тело» (МЧТ), модель «Машина (металл)» (ММ), модель «Заряженная плата» (МЗП), модель «Заряженное устройство» (МЗУ).

МЧТ — один из самых часто встречающихся случаев повреждения ЭСР, когда происходит прямая передача заряда через последовательность сопротивлений человеческого тела или заряженного материала к чувствительному устройству. Перемещаясь, работник аккумулирует на теле электростатический заряд. При обычном прикосновении человека к ЧЭСР-компоненту или устройству происходит разрядка тела, что может вызвать полное или частичное (деградация) разрушение чувствительного компонента.

ММ — наиболее опасная модель разряда для чувствительных компонентов, так как при разряде на компонент высвобождается большое количество энергии. Она похожа на модель «Человеческое тело», разряд происходит от заряженного проводящего предмета, однако при высвобождении заряд не испытывает сопротивления, так как напрямую передается через проводник, например, металлический пинцет.

МЗП и МЗУ — похожие друг на друга модели образования ЭСР. В случае с МЗП заряд сконцентрирован на печатной плате и в процессе монтажа плата передает заряд на компонент. А в случае с МЗУ заряд сконцентрирован на компоненте и перетекает на плату при монтаже. Существует высокая вероятность, что изделия несут на себе заряд еще до момента попадания в УЗЭ, что может произойти в случаях некорректной упаковки и транспортировки.

Материалы и компоненты в целом могут быть классифицированы как проводники и диэлектрики. Электростатический заряд на проводнике распределяется по всей его поверхности, даже если он был сгенерирован на небольшом участке. На диэлектрике — иначе: заряд концентрируется вблизи того места, где был сгенерирован. Кроме того, возможна ситуация, при которой на одном и том же диэлектрике могут быть локализованы и положительный, и отрицательный заряды.

Типы материалов можно разделить на три категории:

► проводящие: в проводящих материалах из-за низкого сопротивления заряды образуются и формируются на поверхности; эти материалы могут быть разной полярности (удельное поверхностное сопротивление $R_s < 1 \times 10^4 - 1 \times 10^5$ Ом/м) и используются в качестве контактирующей упаковки изделий внутри УЗЭ;

► рассеивающие: в рассеивающих материалах подвижность электронов значительно меньше, чем в проводящих, что соответственно влияет на поверхностную проводимость (удельное поверхностное сопротивление $R_s < 1 \times 10^6 - < 1 \times 10^{11}$ Ом/м); такие материалы используются для первичной упаковки готовых изделий;

► экранирующие: подходят для создания электростатических экранов типа «клетки Фарадея», что позволяет защитить компоненты, в частности, от электромагнитных полей, индукционного воздействия и повышенной влажности (удельное поверхностное сопротивление $R_s < 1 \times 10^3$ Ом/м); используются для транспортировки изделий.

Антистатические материалы разного типа служат для различных целей. Например, на предприятии внутри УЗЭ, как правило, используют черные, прозрачные и розовые пакеты, а также пленку для хранения и перемещения компонентов и плат, что позволяет добиться плавного стекания заряда через диссипативный материал (рис. 2). Для внешней транспортировки вне УЗЭ допустимо применять исключительно экранирующие пакеты, что связано с совокупностью внешних факторов, влияющих на сохранность компонентов. Принципиальным от-

Антистатические рукава



Антистатические пленки



Антистатические пакеты



Металлизированные



Розовые



Влагозащитные

Рис. 2. Антистатические материалы

личие экранирующей упаковки от других типов является наличие двух слоев, где внутренний слой (первичная упаковка) – рассеивающий, который взаимодействует с компонентами и исключает трибоэлектрический эффект внутри от трения, а внешний слой – фольгированный (алюминиевое напыление) – выступает в качестве защиты от внешних электромагнитных и статических полей и климатических условий.

Организация упаковки для хранения и транспортировки включает в себя три этапа:

▶ первый этап – первичная упаковка изделия в слабо заряжающуюся токорассеивающую и экранирующую пленку (пакет), непосредственно контактирующую с ЧЭСР (рис. 2);

▶ второй этап – прокладка элементов через подложки, три или жесткие формовочные коробки для предотвращения механических повреждений (рис. 3);

▶ третий этап – внешняя упаковка, обеспечивающая защиту от повреждения, загрязнения и воздействия окружающей среды; в качестве внешней упаковки используют пластиковые

антистатические ящики с крышками (рис. 3).

Как решение для защиты производственных и складских помещений от распространения электромагнитных полей применяют экранирование.

Контроль возникновения ЭСР

Важным аспектом контроля возникновения ЭСР являются климатические условия. Защита от ЭСР непрерывно связана с влажностью. Высокая влажность опасна, так как способна привести к образованию капель воды на поверхности микроскопических компонентов. Влага может разъесть медь, приводить к коррозии проводников, а также спровоцировать короткое замыкание. В то же время низкая влажность приводит к возникновению ЭСР в еще большей степени. Чем влажность ниже, тем больше вероятность образования статических напряжений и тем сложнее заряду рассеиваться. Оптимальным уровнем влажности считается RH 45–55%.

Влажный воздух имеет достаточную электропроводность, чтобы образующиеся электрические заряды стекали через него. Поэтому во влажной воздушной среде электростатических зарядов практически не образуется, а увлажнение воздуха является одним из наиболее простых и распространенных методов борьбы со статическим электричеством. При этом резко снижается уровень пылеобразования от используемых материалов, стабилизируются технологические процессы, растет производительность работы оборудования, улучшаются условия труда.

Пыль, аккумулирующая ЭСР, является источником проблем на большинстве операций технологических процессов производства электроники. Она может стать причиной воспламенения паров растворителей, вызывать слипание тонких слоев материалов и пленок, вызывать повреждение или даже разрушение тонких полупроводниковых структур электронных компонентов, вносить сбои в работу микроскопического оборудования.

Таким образом, существует необходимость введения ряда мероприятий и назначения ответственных лиц для контроля возникновения ЭСР. Сотрудникам, работающим на производстве в прямом контакте с ЧЭСР,

Антистатические треи



Антистатические лотки



Антистатические ящики



Антистатические подставки

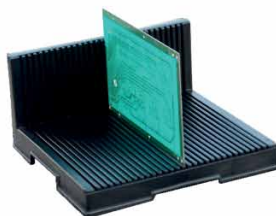


Рис. 3. Антистатическое оснащение для транспортировки и хранения компонентов

важно понимать, каким образом ЭСР может повредить устройство, как влияет на качество производимой продукции, а также какие комплексы мер предосторожности существуют на участках работы с чувствительными компонентами. Инженеры, технологи, начальники цехов и участков, а также сотрудники контроля качества должны осознавать риск повреждения ЭСР чувствительных компонентов изделия на территории предприятия. Грамотное инвестирование в защиту от ЭСР сокращает вероятность повреждения компонентов или плат на различных этапах производства, вследствие чего производимый продукт работает дольше и без перебоев, что снижает репутационные и финансовые риски предприятия.

В соответствии с ГОСТ ИЕС 61340-5-1-2019, предприятие должно назначить лицо – ЭСР-координатора, отвечающего за выполнение требований настоящего стандарта, а также за разработку, документирование, поддержание и проверку соответствия программы. ЭСР-координатор должен разработать план ЭСР-контроля, вести учет о посещении защищенной зоны УЗЭ, принимать решения о расширении и модернизации, заниматься обучением персонала, допущенного к работе в зоне УЗЭ, повышать собственную квалификацию, а также посещать образовательные семинары, чтобы расширять свои знания.

Организация участка, защищенного от электростатического разряда, и требования к антистатическому оснащению

В основу организации УЗЭ положено шесть элементов:

1. Антистатические напольные покрытия;
2. Антистатические рабочие поверхности;
3. Антистатические стулья;
4. Антистатические системы хранения;
5. Индивидуальная ЭСР-защита;
6. Контроль и обслуживание УЗЭ.

Степень оснащенности участка в первую очередь определяется чувствительностью компонентов, используемых в работе. В рекомендациях ГОСТ ИЕС 61340-5-1-2019 указаны минимальные требования к оснащению: заземленная горизонтальная рабочая поверхность и браслет заземле-

ния сотрудника. Однако этих мер на текущий момент недостаточно.

Первый элемент организации УЗЭ – антистатические напольные покрытия. Бюджетным вариантом таких покрытий является токопроводящий линолеум. Такой вариант зачастую применяется в цехах и лабораториях небольшой площади. Для больших помещений во многих случаях применяют антистатические эпоксидные полы – двухкомпонентные проводящие покрытия, состоящие из эпоксидного связующего вещества, не содержащего растворителей, и отборного окрашенного кварцевого песка. Эпоксидные напольные покрытия прекрасно зарекомендовали себя и используются научно-производственными организациями в различных отраслях – от фармацевтических компаний до производств радиоэлектронного оборудования, сервисных центров и предприятий автомобильной промышленности. Для обеспечения особых условий в чистых производственных помещениях в качестве напольного и настенного покрытия используют антистатическую токопроводящую краску, которая предназначена для создания контролируемых условий рассеивания заряда. Такая токопроводящая краска эффективно обеспечивает рассеивание заряда с 5000 В до нуля менее чем за 0,01 с на площади менее 2 м² без применения медной сетки и заземляющего контура. Проводящее покрытие становится емкостным резервуаром, которое эффективно рассеивает статические заряды. Достаточно двух-трех слоев краски для устойчивости к истиранию.

Вторым элементом организации УЗЭ является антистатическая мебель, в качестве которой выступают антистатические столы, настольные коврики, тумбы, стойки и стеллажи. Сфера применения такой мебели очень разнообразна: микро- и радиоэлектроника, фармацевтика, тяжелая промышленность, НИИ, учебные заведения и пр. Антистатические столы отличаются от обычных специальной токопроводящей столешницей, имеющей провод заземления, а также металлический каркас, окрашенный токопроводящей краской. Вопрос подбора антистатических столешниц – ключевой. Возможно использовать бюджетный вариант – столешницу из обычного ДСП, ламинированную токопроводящим HPL-пластиком. На практике прово-

димость таких столешниц составляет порядка $R_s < 1 \times 10^{12}$ Ом/м. Минусы таких столешниц заключаются в том, что в структуру ДСП при производстве может попасть влага, что в дальнейшем приводит к отклеиванию ламинации пластика со столешницы. Кроме того, со временем токопроводящие свойства утрачиваются, таким образом, рабочая поверхность превращается в диэлектрик и заряд вообще никуда не стекает. Значительно более качественный вариант – это токопроводящие столешницы с графитовыми вкраплениями. Такие столешницы производятся только за рубежом из спрессованной древесины и графитной стружки, которая на этапе производства вытесняет лишнюю влагу. Эти столешницы отличаются более устойчивой токопроводимостью в диапазоне $R_s < 1 \times 10^6 - < 1 \times 10^9$ Ом/м, плавным стеканием заряда. Кроме того, они не требуют сквозного заземления.

Наряду с антистатическими столешницами также часто используют токопроводящие коврики, которые служат дополнительной защитой и предохраняют столешницы от механических и термических повреждений. Коврики изготавливаются из двухслойного синтетического каучука, верхний слой коврика токорассеивающий, устойчивый к кратковременным термическим воздействиям, нижний слой – токопроводящий. Дополнительно коврики комплектуются кнопками и гарнитурами для подключения к колодкам или общим шинам заземления в УЗЭ.

Третий элемент организации УЗЭ – антистатические стулья, стекание заряда с которых происходит через токопроводящие колеса или цепочку. Для стабильной защиты от ЭСР рекомендуется использовать антистатические стулья совместно с токопроводящими полами. В противном случае, без антистатических полов, стулья становятся бесполезными, так как заряду с них некуда стекать, а подключение стульев к шине заземления через провод сильно ограничивает мобильность и удобство сотрудников.

Четвертый элемент организации УЗЭ – решение вопросов хранения компонентов. Важно понимать, что складские помещения на предприятиях, где хранятся чувствительные изделия, – это тоже участок, защищенный от электростатического разряда.

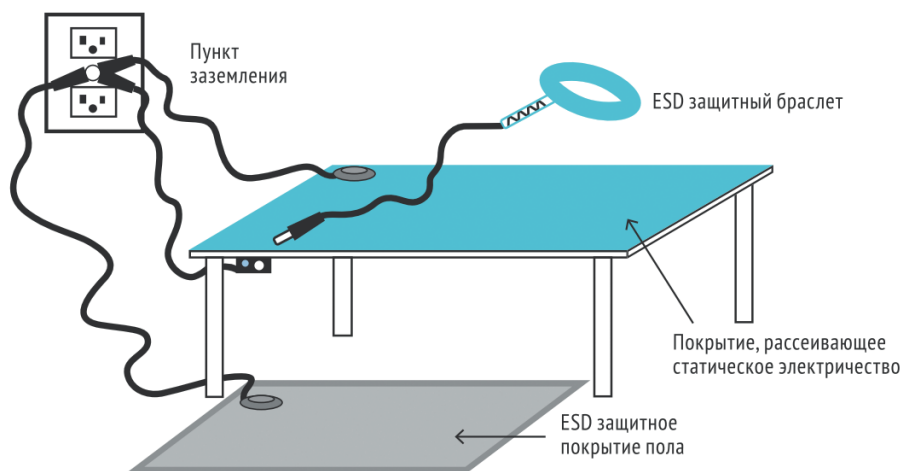


Рис. 4. Браслет для стекания заряда на участке, защищенном от электростатического разряда

В этой зоне правила для заземления персонала идентичны правилам организации работы в УЗЭ. Существует определенная последовательность заземления стеллажей на складах. Например, недопустимо последовательно заземлять стеллажи, каждый должен быть заземлен индивидуально, чтобы исключить вариант с обрывом цепи заземленных объектов, вследствие чего сломается вся система. Единственное исключение — допустимо последовательное заземление только для полок. Зачастую при правильной организации складов с точки зрения защиты от статического электричества решается большая часть вопросов к приемке, упаковке, хранению чувствительных компонентов и изделий.

Пятый элемент организации УЗЭ — индивидуальная защита персонала. Каждый сотрудник, допущенный к работе в зоне ЕРА, должен надеть специальную антистатическую одежду (халат, обувь, шапочка, перчатки). Халаты существуют двух типов: первый — с карбоновыми нитями в структуре ткани, второй — хлопчатобумажные ткани с антистатическим напылением. Основной смысл одежды — эффект экранирования. Антистатическая обувь позволяет разряду, сгенерированному человеком, стекать в пол. Обязательно перед каждым посещением УЗЭ проверять обувь на тестере-

стенде, а также следить за чистотой, так как в процессе эксплуатации обувь забивается пылью и грязью и со временем перестает проводить заряды. Выходить в подобной обуви на улицу категорически запрещено.

Особенно важным аспектом защиты от ЭСР является ношение и работа с подключенным браслетом для стекания заряда (рис. 4). Существует два типа браслетов: тканевые и металлические. Тканевые — более экономичный вариант, но в процессе эксплуатации они зачастую забиваются пылью, потом и жиром от взаимодействия с кожей человека и со временем перестают проводить заряд. Таким образом, усредненный срок «жизни» таких браслетов составляет до восьми месяцев. Металлические же браслеты практически не ограничены сроком эксплуатации, но они значительно дороже, а также менее удобны в использовании, так как регулируемые металлические части браслета могут цеплять кожу и волосы человека во время работы.

Шестой элемент организации УЗЭ — мероприятия по обслуживанию и контролю зоны ЕРА. За это непосредственно отвечают ЭСР-координаторы или начальники участков. Они обязаны следить за влажностью и запыленностью помещений, а также проводить регулярные проверки на

стекание заряда. Это могут быть регулярные осмотры, проверки рабочих поверхностей, браслетов и прочих элементов УЗЭ на стекание ЭСР, а также периодические комплексные аудиты — не реже, чем один раз в квартал. ЭСР-координаторы — это те сотрудники, которые ответственны за «гигиену» в зоне ЕРА.

Заключение

Качественный контроль ЭСР на всех этапах производства электроники — от закупки материалов до упаковки готовых изделий — критически важен для обеспечения надежности и долговечности продукции. Правильная организация цепи защиты — это комплексный подход, охватывающий множество аспектов, начиная с тщательного выбора и контроля качества исходных материалов и заканчивая процессом транспортировки готового товара.

Внедрение системы управления ЭСР, включающей в себя разработку и соблюдение четких регламентов, процедур, инструкций, а также постоянный мониторинг и анализ эффективности применяемых мер, — это неотъемлемая часть культуры современного производства. В России, особенно в контексте развития отечественной электроники и стремления к созданию конкурентоспособной промышленности, эффективное управление ЭСР является стратегической задачей, требующей системного подхода и инвестиций в обучение и оснащение предприятий. Только комплексные решения, учитывающие все аспекты, позволят гарантировать высокое качество и надежность российской электроники, повысив ее конкурентоспособность на глобальном рынке.

И. С. Лучинин, руководитель отдела КИП, промышленной мебели и ESD-оснащения, ООО НПП «Универсал Прибор», г. Санкт-Петербург, тел.: +7 (812) 334-5566, e-mail: pribor@pribor.ru, сайт: www.pribor.ru