

# Практические аспекты организации ESD-защиты предприятия

## В помощь ESD-координаторам: ESD-измерения

**В условиях рыночной экономики основа выживания компании и ее дальнейшего развития при неизбежной конкуренции — это высокое качество продукции, которое является следствием качества процессов производства. В радиоэлектронной промышленности невозможно выпускать продукцию, не обращая внимания на качество. Тем более это актуально для предприятий военно-промышленного комплекса: достаточно вспомнить неудачи, преследующие запуски одного из разрекламированных образцов ракетного оружия.**

Дмитрий Трегубов

dt@esd-expert.ru

### Введение

В статье [1] было показано, что одной из составляющих процесса достижения высокого качества при производстве электроники является эффективно действующая программа ESD-управления. Очевидно, что для любого вида управления необходимо анализировать некие параметры. Если они не превышают допустимых пределов, то система стабильна, а если они так или иначе выходят за установленные рамки, необходимо применять корректирующие действия.

Такой анализ может быть выполнен:

- внешней независимой организацией, обычно с регулярностью не чаще, чем раз в год, при проведении внешнего ESD-аудита;
- сотрудниками самой компании, ответственными за программу ESD-управления, с определенной ESD-стандартами регулярностью, различной для предметов и методов ESD-защиты.

К сожалению, на многих предприятиях не уделяется достаточно внимания электростатической безопасности. В одном случае компания опирается на устаревшие стандарты, в другом — приобретает элементы ESD-защиты, но не применяет их в комплексе с административными мерами. В качестве примера приведем распространенную ситуацию: организация приобретает столы в антистатическом исполнении, которые стоят в обычном помещении в окружении обыкновенных, генерирующих электростатические заряды оборудования и материалов — покрытия пола, обуви, одежды и т. п.

Условно можно выделить следующие ситуации в организации с приборами ESD-мониторинга и аудита для оценки электростатической безопасности материалов и оборудования:

- В целях мнимой экономии приборы совсем отсутствуют.
- Некоторые приборы в организации есть, например только один измеритель сопротивления.
- Приборы есть, но сотрудники не обладают знаниями, как их правильно применять.

- Приборы есть, но полученные сотрудниками результаты измерений не используются в системе менеджмента качества.

### Виды ESD-измерений

Какие же виды измерений следует проводить на предприятии с программой ESD-управления? Это:

- проверка браслетов и обуви;
- измерение электрического сопротивления материалов;
- измерение напряженности электростатического поля или электростатического потенциала;
- измерение времени стекания заряда.

Перед тем как мы остановимся подробнее на каждом из перечисленных видов измерений, необходимо ознакомиться с основными параметрами предметов ESD-защиты, которые следует проверять, а также их обозначениями, принятыми в мировой практике.

- $R_G$  — сопротивление по отношению к «земле» или точке заземления;
- $R_{pp}$  — сопротивление от точки к точке;
- $R_{GSystem}$  — сопротивление системы «человек – обувь – покрытие пола»;
- $U$  — электростатический потенциал;
- $E$  — напряженность электростатического поля;
- $t_{decay}$  — время стекания заряда с 1000 до 100 В.

### Проверка браслетов и обуви

Прежде всего, необходимо проверять состояние браслетов и обуви, а точнее — их сопротивление. По большому счету, это проверка систем «человек – браслет» и «человек – обувь».

Испытания проводятся ежедневно, так как и браслет, и обувь являются основными элементами ESD-защиты чувствительных компонентов от разрядов с человека. Важно тестировать не дежурный, висящий неподалеку от тестер-стенда общий браслет, а персональный браслет конкретного работника, который каждый день должен защищать ESD-чувствитель-

ные компоненты от его — работника — персональных разрядов. При тестировании обуви также важно, чтобы каждый ботинок независимо прошел тест на металлической площадке (рис. 1). Иначе можно пройти испытание, надев обычный и антистатический ботинок. В момент, когда опорная нога в обычном ботинке нажимает на покрытие пола, заряд не будет стекать, ведь подошва не проводит! Бывает, что тест не проходит и заведомо проверенная антистатическая обувь (зимой, когда сотрудник надевает холодную обувь, или летом, в относительно прохладном за счет работы кондиционера воздухе). Бояться такой ситуации не стоит, если вспомнить, что мы тестируем систему «человек – обувь», а проводимость человеческого тела зависит от многих факторов (в частности, от того, какие спиртные напитки и в каком количестве он употребил, волнуется или спокоен). Стандарты рекомендуют в таком случае «разносить» обувь в течение 3–5 минут и по-вторить попытку тестирования.



Рис. 1. Измерение сопротивления системы «человек – обувь»

Очень важно с точки зрения управления качеством фиксировать полученные результаты ежедневных проверок. В идеальном случае лучше отсканировать бумажные версии просто по форме журнала проверок с возможностью в дальнейшем идентифицировать изменение состояния предметов ESD-защиты работника.

При проведении внешнего ESD-аудита довольно часто приходилось сталкиваться с ситуацией, когда рядом с тестером висел свежий журнал с информацией максимум за данный месяц, с идентичными отметками для всех сотрудников. А наличие записи о том, что браслет, скажем, Петрова или Иванова два месяца назад был заменен на исправный и вновь успешно испытан, говорит о работающей программе ESD-управления.

В стандартах ESD-защиты МЭК 61340-5-1/2 относительно допустимых величин сопротивления браслетов и обуви вместе с оператором приводится следующее граничное значение:  $R_G < 3,5 \times 10^7 \text{ Ом}$ .

Указанные испытания проводят с помощью относительно несложных приборов так называемого ESD-мониторинга, например, тестера браслетов и обуви VKG A-750 (рис. 2, табл. 1).

При проверке работник встает на металлическую пластину прибора VKG A-750 и подклю-



Рис. 2. Тестер браслетов и обуви VKG A-750

Таблица 1. Основные технические характеристики VKG A-750

Тестовое напряжение, В	24
Диапазон измерения	750 кОм – 35 МОм – браслет и обувь

чает шнур от браслета к разъему. При нажатии металлической кнопки на стенде производится измерение сопротивления браслета и обуви. Если сопротивление оказывается вне допустимого диапазона значений, стенд выдает предупреждение: загорается индикатор красного цвета, а если сопротивление соответствует норме — зеленого.

После приобретения тестера браслетов и обуви через некоторое время возникает вопрос, связанный с его калибровкой. Сделать эту процедуру несложной и рутинной поможет калибратор тестера браслетов и обуви VKG A-755 (рис. 3, табл. 2). По сути дела, прибор имитирует цепи «человек – браслет» и «человек – обувь», моделируя выход за пределы допустимых значений, как выше, так и ниже диапазона, а также ситуацию, когда с предметами персональной ESD-защиты все в порядке. У данного устройства тоже есть определенные производителем периоды калибровки. Если на предприятии есть несколько участков, защищенных от электростатических разрядов (EPA), то целесообразнее отправлять на калибровку производителю только сам калибратор, нежели 2 или более тестеров браслетов и обуви.

### Измерение электрического сопротивления материалов

Следующий тип испытаний — измерения поверхностного сопротивления и сопротивления по отношению к точке заземления различных материалов предметов ESD-защиты. Измерение сопротивления материалов позволяет эффективно функционировать программе ESD-управления.

Данный вид приборов для ESD-аудита и мониторинга, пожалуй, один из самых известных. Основная измерительная часть прибора пред-



Рис. 3. Калибратор тестера браслетов и обуви VKG A-755

Таблица 2. Основные технические характеристики VKG A-755

Сопротивление нижнего предела, тест пройден	775 кОм ±1%
Сопротивление нижнего предела, тест не пройден	720 кОм ±1%
Сопротивление верхнего предела, тест пройден	34 МОм ±1%
Сопротивление верхнего предела, тест не пройден	36,7 МОм ±2%
Погрешность калибровки	±5% при +15...35 °C
Размеры, мм	98×50×27
Вес, г	55

ставляет собой привычный измеритель сопротивлений — омметр, или мегаомметр, или тераомметр, а измерительные электроды, которые часто именуют «гирьками», имеют четко определенные в стандарте МЭК 61340-4-1 вес, геометрические и электрические параметры.

Существуют измерители сопротивления со стрелочной индикацией, например, VKG A-760 (рис. 4, табл. 3), они наиболее доступны по цене, наглядно отображают нахождение значений сопротивления в допустимых пределах или вне их, а именно по положению стрелки относительно зеленого поля шкалы. Это позволяет не нагружать руководство техническими терминами и характеристиками, а просто показать: «Вот видите, стрелка в зеленом (желтом) секторе, значит, этот материал соответствует (не соответствует) требованиям ESD-стандартов».

С помощью таких приборов ESD-координатор проверяет значительную часть предметов ESD-защиты: столешницы, полки, тележки, материал стульев, халатов (рис. 5), ячеек и коробов, корпусов оборудования, рабочих поверхностей микроскопа. Другими словами, предметов ESD-защиты, выполненных из антистатических материалов, куда ESD-координатор сможет поставить измерительные электроды. Кстати, и сопротивление системы «человек – антистатическая обувь – покрытие пола» тоже проверяют с помощью данных приборов. Измеряют



**Рис. 4.** Стрелочный измеритель сопротивления VKG A-760

**Таблица 3.** Основные технические характеристики VKG A-760

Тестовое напряжение, В	10, 100
Предел измерения поверхностного сопротивления на 10 В, Ом	$10^3-10^6$
Предел измерения поверхностного сопротивления на 100 В, Ом	$10^4-10^{11}$
Погрешность измерения поверхностного сопротивления при напряжении, %	$\pm 5$
Вес электрода, кг	$2,5 \pm 0,2$
Размеры, мм	$170 \times 85 \times 35$
Вес, г	300

сопротивление по отношению к «земле»  $R_G$  или общей точке заземления  $R_{CP}$  и сопротивление от точки к точке  $R_{PP}$ . В первом случае испытывают одновременно и способность материала проводить токи, и целостность заземляющих приспособлений. Если такое испытание материал не проходит, то это может произойти по следующим причинам:

- Материал антистатический, но загрязнен.
- Материал вовсе не является антистатическим.
- Нарушена целостность заземляющих приспособлений.

Определить, проводит ли материал сам по себе, можно с помощью проверки  $R_{PP}$  сопротивления от точки к точке, с помощью уже двух измерительных электродов. Если в вашей организации ESD-координатор обладает измерителем сопротивления, то при постройке нового участка и модернизации старого недобросовестный продавец не сможет заставить вас приобрести «настоящий антистатический» линолеум и настольный коврик или рабочее место с обычной столешницей по цене антистатической.

В стандартах ESD-защиты МЭК 61340-5-1/2 для предметов ESD-защиты приведены следующие значения сопротивления:

- $R_G < 1 \times 10^9$  Ом;
- $1 \times 10^4 < R_{PP} < 1 \times 10^9$  Ом.

Прибор со стрелочной индикацией позволяет лишь оценить нахождение в определенных пределах, так как стрелка не покажет ESD-координатору значений типа 95,6 МОм. Именно поэтому рынок предлагает измерители сопротивления с цифровой индикацией. Например, цифровой измеритель VKG A-770 (рис. 6, табл. 4). Поскольку этот прибор позиционируется как профессиональный, он может, помимо основной функции — измерения сопротивления материалов, измерять температуру и уровень относительной влаж-

ности, а также сохраняет полученные данные в памяти компьютера. Прибор может имитировать работу и стрелочного измерителя, показывая диапазон сопротивлений и точные конкретные величины сопротивления.

С помощью измерителя сопротивления ESD-координатор проверяет и одобряет закупаемые организацией предметы ESD-защиты, отсеивая те, что не соответствуют требованиям международных стандартов. После такой проверки вы можете быть уверены, что правильно организуете или модернизируете систему ESD-контроля, что эти предметы могут работать корректно. Однако мало построить, нужно еще и грамотно обслуживать такую систему. При проведении внутренних проверок, которые с определенной вами регулярностью ESD-координатор выполняет вместе с другими сотрудниками, часто обнаруживаются недостатки ESD-защиты. Если изначально элемент ESD-защиты был проверен и одобрен, то основные причины выхода за диапазон допустимых значений после начала эксплуата-

**Таблица 4.** Основные технические характеристики VKG A-770

Тестовое напряжение, В	10, 100
Предел измерения поверхностного сопротивления, Ом	$10^3-10^{12}$
Диапазон измерения относительной влажности, %	0-98
Погрешность измерения поверхностного сопротивления	2,5% (1 кОм – 10 ГОм), 5% (10–100 ГОм), 10% (100–999 ГОм)
Погрешность измерения относительной влажности, %	$\pm 3$
Погрешность измерения температуры, °С	$\pm 0,5$
Вес электрода, кг	$2,5 \pm 0,2$
Размеры, мм	$315 \times 130 \times 60$
Вес, г	700

ции — это загрязнение поверхности или нарушение целостности заземления. Выявить такие недостатки большого труда не составляет, они достаточно быстро устраняются, и система ESD-защиты с точки зрения сопротивления материалов получается стабильной.



**Рис. 5.** Измерение сопротивления антистатического халата



**Рис. 6.** Цифровой измеритель сопротивления VKG A-770



Рис. 7. Измерение прибором ETS-216 электростатического потенциала предмета



Рис. 8. Измерение прибором ETS-216 времени стекания заряда с антистатических перчаток

### Измерение напряженности электростатического поля или электростатического потенциала

Существуют такие предметы ESD-защиты, оценить электростатическую безопасность которых по одному только сопротивлению не представляется возможным. Есть предметы, которых «аршином общим» — в нашем случае измерительным электродом — не измеришь. Стандарты ESD-защиты рекомендуют измерять электростатический потенциал или напряженность электростатического поля. Принцип измерения этих величин основан на индукционном эффекте электростатического заряда. Несущий электростатический заряд предмет так перераспределяет заряд на измерительной пластине прибора, что на индикаторе отображается его значение, только с противоположным знаком. Существовавшие ранее стрелочные индикаторы поля были фактически вытеснены цифровыми компактными измерителями электростатического поля, например Nakko 430 или ETS-216 (рис. 7). С помощью данного оборудования можно быстро оценить уровень напряженности электростатического поля, например, ESD-упаковки — рассеивающих или экранирующих пакетов. Сначала это оценка и одобрение перед закупкой, позже — это проверка пригодности пакетов после периода эксплуатации. Считать показания с цифрового индикатора несложно, главное — не ошибиться с корректным расстоянием, на котором проводится измерение. Для каждого измерителя электростатического поля это своя, указанная в инструкции величина. В практике автора встречались разные измерители, у которых это расстояние варьировалось от 2,5 до 5 см. Можно измерять и на большем расстоянии, но тогда показания нужно будет пересчитать. В рабочих процессах иногда обязательно наличие материалов-диэлектриков. На этот случай в стандартах оговорен уровень электростатического поля в том месте, где манипулируют ESD-чувствительными элементами. Оценить опасность можно также с помощью измерителя электростатического поля.

В стандартах ESD-защиты МЭК 61340-5-1/2 рекомендуемые значения напряженности электростатического поля и электростатического потенциала предмета не должны превышать следующих допустимых пределов:

- $E < 10\,000\text{ В/м}$  или  $100\text{ В/см}$ ;
- $U < 2000\text{ В}$ .

### Измерение времени стекания заряда

Еще одной важной характеристикой электростатической безопасности является время стекания заряда. Принцип измерения заключается в измерении времени, за которое электростатический потенциал с опасного значения — одной тысячи вольт — снизится до безопасного уровня — ста вольт. В измеритель ETS-216 встроен генератор, который заряжает пластину до величины, слегка превышающей одну тысячу вольт. В момент достижения 1000 В запускается встроенный электронный секундомер, который после снижения электростатического потенциала до 100 В заканчивает отсчет и показывает время стекания (рис. 8, табл. 5).

Возможность измерения времени стекания заряда необходима для мониторинга ионизаторов, упаковок, перчаток и пр. В комплект измерителя ETS-216 входит измеритель температуры и относительной влажности. Комплект ETS-216 заменяет собой сразу пять отдельных приборов: измеритель напряженности статического поля, измеритель величины и скорости стекания заряда, измеритель электростатического напряжения на теле человека, термометр и гигрометр.

В стандартах ESD-защиты рекомендуемые значения времени стекания заряда не должны превышать следующих допустимых пределов:

- Перчатки:  $t_{\text{decay}} < 2\text{ с}$ .
- Вспомогательные материалы, упаковка, файлы для документов:  $t_{\text{decay}} < 10\text{ с}$ .
- Ионизаторы:  $t_{\text{decay}} < 20\text{ с}$ .

В заключение отметим, что пользоваться приборами ESD-аудита и мониторинга ока-

Таблица 5. Основные технические характеристики ETS-216

Диапазон измерений напряженности электростатического поля, кВ/дюйм	±20
Разрешение при измерении напряженности, В	10
Диапазон измерений времени стекания заряда, с	0–60
Разрешение при измерении времени стекания, с	0,3
Погрешность измерения, %	±2
Напряжение источника заряда, В	±1200
Размеры, мм	200×60×23
Вес, г	255

зались нетрудно, а кроме того, и полезно, так как владение этим инструментарием убеждает вас от приобретения несоответствующих товаров и позволяет гарантировать работоспособность системы ESD-защиты предприятия, что в конечном итоге сказывается на качестве продукции. А мудрые японцы, например, уверены, что при выпуске продукции или услуги высокого качества прибыль вы получите незамедлительно.

### Литература

1. Трегубов Д. Программа ESD-контроля и современные стандарты ESD-защиты // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 4.