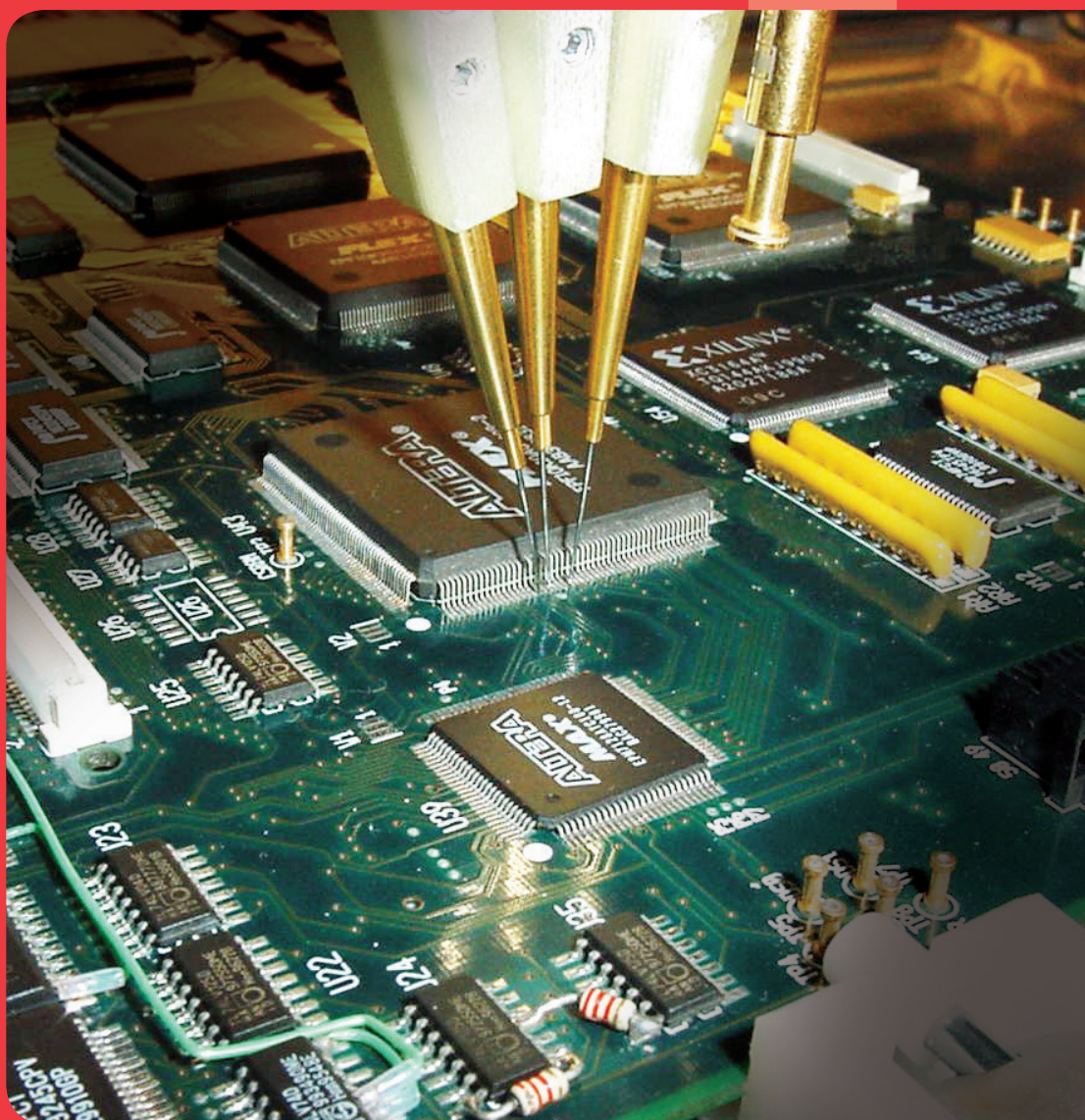


Записки тестового инженера. Избранные статьи об электрическом контроле



2019



Содержание

Практические аспекты электрического контроля собранных печатных модулей	4
JTAG-тест: мифы и реальность	10
Эффективное решение по организации входного контроля технологически сложных компонентов в условиях сборочных производств	15
Стратегический выбор поставщика и технологии – способ избежать тупикового пути развития.....	18
Почему в России нельзя сделать маршход?	23
Использование JTAG-тестирования и программирования на производстве	28
Эволюция подходов к организации контроля жгутов	35
Система электрического контроля SPEA 4060: необходимость или излишество на производстве?.....	40
Тестер Voltech AT3600. Преимущество автоматизированного решения	42
Комплексное тестирование: современные методы.....	45
Виды оснасток для тестеров жгутов и кабелей. Что выбрать?.....	48
Заглушай и властвуй как перестать беспокоиться и выбрать правильную безэховую акустическую камеру за 10 минут	51
Кабельный вездеход	58
Зачем нужно менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС?.....	61
Комплексные решения для проведения зондовых измерений.....	68
Импульсный тестер.....	72
Психология измерений	77
Электротест алюминиевой катанки	80
Внутрисхемное тестирование на установках SPEA 40XX теперь доступно каждому!	83
Выбираем импульсный тестер электродвигателей.....	89
Ферритовая проблема.	93
Новые возможности технологии комбинирования поля в активных антенных решетках для испытаний на восприимчивость к электромагнитному полю	95

Практические аспекты электрического контроля собранных печатных модулей

Николай Клюквин

Обеспечение высокого качества выпускаемой продукции является важнейшей задачей производства и невозможно без комплексного подхода к этому вопросу.

В зависимости от сложности изделия, проработанности технологических процессов, объемов производства и требований к изделиям, необходимо сочетание различных видов контроля, которые должны охватить все возможные дефекты, свести выход бракованных изделий к минимуму, при этом обеспечив быстрый поиск и гарантированную локализацию дефектов за минимальное время.

Большинство критериев качества, которыми оперируют технологи, обычно связаны с внешним видом изделия. Например: наличие компонента, его смещение, маркировка, качество паяного соединения. Это важные, но все же косвенные критерии. По сути получается, что если при сборке печатного узла не допущено производственных (визуальных) дефектов, или они были вовремя замечены и устранены, то печатный узел имеет надлежащее качество.

Однако это субъективная оценка, отражающая обычно лишь позицию сборочного участка производства. Кроме видимой стороны, связанной с внешним видом собранного модуля, есть и другая сторона – его внутренняя структура, состояние которой фактически определяет пригодность изделия для выполнения заложенных в него функций в течение всего срока эксплуатации в соответствующих условиях.

Эта сторона характеризуется электрическими параметрами, которые зависят от следующих факторов:

- качества печатной платы и установленных компонентов;
- строгого соблюдения технологических процессов сборки модуля;
- наличия скрытых дефектов в виде коротких замыканий и разрывов, дефектов паяных соединений;
- целостности внутренней структуры компонентов.

Очевидно, что только визуальная оценка качества изделия является явно недостаточной и ненадежной.

Обеспечение высокого качества выпускаемой продукции является важнейшей задачей производства и невозможно без комплексного подхода к этому вопросу.

Не секрет, что с качеством поставляемых компонентов бывают проблемы, но обеспечение сплошного входного контроля всех компонентов сложная задача как в техническом плане, так и по экономическим соображениям. Данная операция достаточно трудоемка, потому что современные компоненты миниатюрны, герметично упакованы, и есть большая вероятность их повреждения до монтажа. Кроме того, при нарушении режимов пайки (оплавления в печи) существенно возрастает риск выхода компонентов из строя, что может сводить на нет эффективность такой проверки. Можно ли считать, что производится изделие с гарантированным качеством, если нет представления и подтверждения его фактического внутреннего состояния?



Традиционно, еще с советских времен, у нас в стране сложилась ситуация, когда основной упор при проверке качества изделия возлагался на функциональный контроль. Все скрытые технологические дефекты и дефекты компонентов выявлялись на этапе наладки и настройки изделия. Однако при таком подходе большая часть времени уходит не на проверку реальной работоспособности изделия во всех режимах, а на поиск и локализацию дефектов, не позволяющих изделию функционировать в соответствии с заданными требованиями.

Статистика говорит, что 90% времени уходит именно на поиск и локализацию неисправности и только 10% - на устранение самого дефекта.

Статистика говорит, что 90% времени уходит именно на поиск и локализацию неисправности и только 10% - на устранение самого дефекта. Это в среднем, но дефект можно найти и за пять минут, а можно и неделю потратить так и не достигнув результата. Таких примеров множество и на каждом предприятии есть своя «кладовая» с безнадежными изделиями. Об экономическом аспекте, связанном с потерей времени, трудозатратах высококлассных специалистов, их дефиците в настоящее время можно даже не упоминать...

Согласитесь, что было бы очень хорошо, если бы на этап наладки и функционального контроля изделие попадало с гарантированным качеством сборки и отсутствием

дефектов. Тогда на этапе функционального контроля осуществлялась бы лишь необходимая настройка изделия (при необходимости) и подтверждение его функциональных качеств.

Существуют и другие важные моменты, на которые стоит обратить внимание.

Подача рабочего напряжения на изделие, внутреннее состояние которого не определено, по сути, игра в рулетку или так называемая проверка «на дым». Шанс внести вторичную неисправность от наличия, скажем, скрытого короткого замыкания в какой-либо цепи на шину питания достаточно велик. Если у Вас массовое производство, то после такой «проверки» изделие обычно идет «в лом», ибо стоимость поиска и устранения неисправности будет дороже самого изделия. Если же у Вас мелкосерийные и дорогостоящие изделия, то наладчик должен подумать, прежде чем подать питание, и, возможно, проверит хотя бы шины питания, но обычно не более, потому что возможности прозвонки цепей вручную сильно ограничены.

Но даже если после подачи питания модуль и заработал, то лишь потому, что в «тепличных» условиях проверки параметр компонента, который «увело» при пайке, еще находится на границе зоны работоспособности. Но знаете ли Вы об этом? Можно ли гарантировать работоспособность этого модуля в суровых условиях заказчика? А что может произойти, если данный модуль отвечает за определенную степень безопасности?

Следующая ситуация: перепутали ленту на питателе установщика компонентов. Компонент без маркировки. С момента начала и до фиксации момента выпуска несоответствующей продукции может пройти много времени.

Таблица 1
Сравнение возможностей внутрисхемного и функционального контроля

	Внутрисхемный контроль	Функциональный контроль
Степень локализации дефектов	Высокая	Низкая
Контроль на короткие замыкания и целостность цепей	Высокий уровень	–
Контроль параметров компонентов	Высокий уровень - Текущий номинал - Допустимый диапазон - Анализ деградации	–
Контроль структурной целостности	Высокий уровень	–
Необходимость подачи питания на изделие и возможность внесения вторичных неисправностей	Нет, отсутствует	Да, высокая
Информативность, накопление статистической информации и анализ, прогнозирование отказов	Высокий уровень	Низкий
Прохождение модуля со скрытыми дефектами на следующую производственную стадию	Низкий	Высокий
Себестоимость локализации и устранения выявленных дефектов (персонал, время)	Низкая	Высокая
Скорость реакции на выявленное отклонение в технологическом процессе	Высокая	Низкая
Возможность быстрой локализации дефектов на рекламационных модулях	Высокая	Низкая
Степень контроля общей работоспособности	Низкая	Высокая



Рисунок 2
Система электрического контроля с летающими пробниками

Развитие технологий и появление на рынке новых видов оборудования позволяет в настоящее время эффективно внедрять внутрисхемный контроль на производствах с различной серийностью и номенклатурой

Сколько продукции окажется забракованной? А какова стоимость устранения данного дефекта? Такой же случай с вариацией: некачественная партия компонентов. Известна аксиома – пропуск дефекта на следующий этап сборки увеличивает стоимость локализации и устранения дефекта в десять раз. Очевидно, что подобных ситуаций можно привести достаточно.

Становится ясно, что задачу обеспечения качества выпускаемой продукции и своевременной локализации внутренних дефектов только лишь функциональный контроль не решает. Функциональный контроль позволяет Вам только предположить, что если изделие работоспособно в данный момент, то оно, ВОЗМОЖНО, будет работоспособно и в дальнейшем. И это все без каких-либо гарантий, но со всеми описанными выше последствиями.

Появление всех вышеприведенных ситуаций исключено при использовании систем внутрисхемного электрического контроля, обеспечивающих большую информативность о реальном качестве изделия и его внутренней структуре. Внедрение внутрисхемного контроля практически гарантирует прохождение изделием этапа функционального контроля.

Рассмотрим внутрисхемный контроль более подробно.

Внутрисхемный контроль является высокоэффективным средством диагностики и локализации технологических дефектов и дефектов компонентов. На этапе внутрисхемного контроля осуществляется проверка печатного узла на наличие коротких замыканий, целостность цепей, параметрический контроль дискретных компонентов, структурный тест. Данный контроль происходит без подачи питающих напряжений на проверяемый модуль. Результат контроля – гарантия того, что печатный модуль

собран правильно, установленные компоненты исправны, отсутствуют короткие замыкания, модуль имеет структурную целостность. Следуя логике, только после этапа внутрисхемного контроля мы имеем право подать рабочее напряжение питания на тестируемый модуль с гарантированным отсутствием возможности внесения вторичных неисправностей из-за наличия технологических дефектов и дефектов компонентов.

Важно отметить, что электрический контроль не является единственным средством технологического контроля, а средством, которое дополняет другие виды и является логическим их продолжением, локализуя дефекты, которые другой контроль производственных дефектов физически не в состоянии обнаружить (например, перепутан номинал компонента до деградации компонента в процессе оплавления). Также и электрический контроль не оценивает качество паяных соединений (в отличие от оптического и рентгеновского контроля), а лишь констатирует, что электрический контакт в данный момент есть или нет. Внутрисхемный контроль не подменяет функциональный контроль, а обеспечивает гарантированные условия для его успешного выполнения. Выполняя этап внутрисхемного контроля, мы снимаем с этапа наладки или функционального контроля проблемы поиска и устранения производственных дефектов, на которые по статистике уходит до 90% времени наладчика. Тем самым высвобождаются ресурсы (время, люди) которые можно направить на проведение более тщательного функционального контроля, выполнение настройки и других операций, если они необходимы, что, в конечном итоге, приведет к росту качества выпускаемой продукции и снижению стоимости ремонтов. В таблице приведены возможности внутрисхемного и функционального контроля.

Существует еще один полезный аспект от внедрения на производстве стадии внутрисхемного контроля, о котором часто забывают. Современные тестовые системы документируют всю информацию о каждом тестируемом изделии и имеют развитые средства статистической обработки информации. А статистика, как известно, мощное средство в борьбе за качество. Собирая и анализируя эту информацию, можно делать выводы о различных аспектах производственных процессов. Например, квалифицировать производителей компонентов и поставщиков, выявлять процессы, требующие более пристального внимания и контроля. При возврате неисправных изделий логично направлять их сразу на внутрисхемный контроль с последующим сравнением результатов тестирования при производстве и текущего состояния, анализировать причины изменения характеристик и выявлять закономерности. Такая обратная связь позволит оперативно реагировать на дефекты, возникающие впоследствии у потребителя, и принимать упреждающие меры для их предотвращения. Если дефект, возникший у потребителя, не поддается выявлению текущими средствами, то проводится глубокий анализ причин его возникновения и делается тест (тестовый вектор) для выявления данного дефекта еще на производственной стадии. Таким образом, Вы постоянно держите руку на пульсе качества, не допуская возможности повторения дефекта.

С другой стороны, известно, что наличие квалифицированных кадров – одна из основных проблем сегодняшнего дня. При уходе работника, который накопил определенный опыт в работе с изделием, мог быстро локализовать и устранить дефект, весь его багаж знаний и навыков пропадает. Своевременная отработка выявленных дефектов на уровне тестовых программ позволит оставить после ухода наладчика хорошую базу, в которой человеческий фактор будет минимизирован. Кроме того, уменьшается и количество необходимых инженерных ресурсов, занятых непроизводительными функциями.

Внедрение внутрисхемного контроля еще лет 15 назад было связано со многими трудностями, в числе которых необходимость в специальном оборудовании, сложности в изготовлении адаптеров, необходимость их замены при проведении модернизации изделия. Особенно это было актуально в условиях мелкосерийных и многономенклатурных производств – собственно, для всей оборонной отрасли. Все эти аспекты не способствовали распространению в нашей стране данной технологии контроля.

Внутрисхемный контроль с использованием технологии измерения узловых импедансов позволяет выявлять все возможные короткие замыкания между цепями, даже если к ним нет доступа, и резко сокращать время тестирования

Вместе с тем, в западных компаниях этап внутрисхемного контроля неотделим от всего технологического процесса сборки и рассматривается как высокоэффективное средство обеспечения качества и минимизации издержек. Анализ показывает, что все совместные проекты по производству электроники в нашей стране всегда содержали и содержат технологический этап контроля качества с использованием внутрисхемного контроля. Множество российских компаний стали внедрять данный вид контроля на своих производствах. Развитие технологий и появление на рынке новых видов оборудования позволяет в настоящее время эффективно внедрять внутрисхемный контроль на производствах с различной серийностью и номенклатурой. Этому способствовало появление нового типа оборудования – систем электрического контроля с летающими пробниками.

Рассмотрим такую систему более подробно на примере линейки систем с летающими пробниками серии 4040 компании SPEA, которая является мировым лидером в данной области (рисунок 2).

Главное отличие подобных систем от систем адаптерного типа – отсутствие необходимости в адаптерном устройстве типа «ложе гвоздей». Доступ в каждую цепь на печатном модуле обеспечивается высокоскоростной системой позиционирования летающих пробников, которые в соответствии с тестовой программой выполняют контактирование с цепями на плате, необходимыми для выполнения заданного измерения (рисунок 3). Последо-

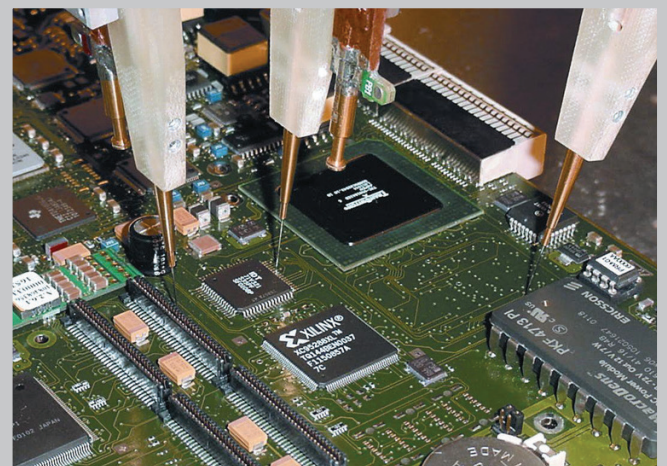
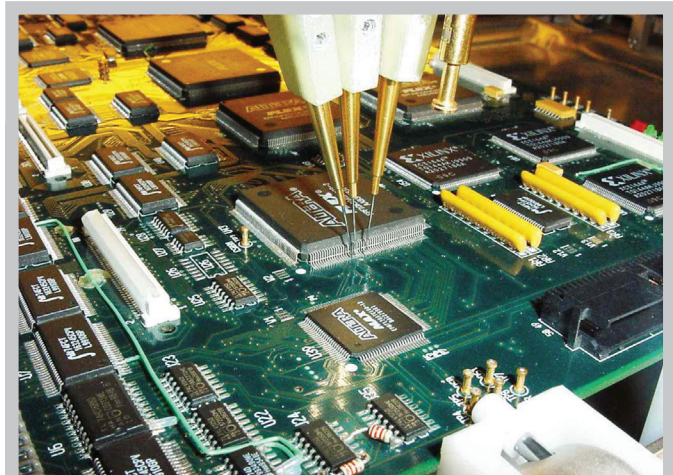


Рисунок 3
Летающие пробники в работе

вательность таких измерений позволяет проверить весь печатный узел. В отличие от систем адаптерного типа к печатному узлу не предъявляются жесткие требования по наличию специально предусмотренных тестовых площадок. Контактное измерение может выполняться в любые доступные открытые точки: галтели выводных компонентов, переходные отверстия, галтели поверхностно монтируемых компонентов. Высочайшая точность обеспечивает надежный контакт, а контролируемое усилие прижима позволяет проверять модули и на керамических основаниях (рисунок 4).

Тестовая программа создается практически в автоматическом режиме на основе данных проекта файла топологии из системы проектирования, в которой печатный модуль был разработан. Оттуда система узнает о координатах всех компонентов, связях между ними и параметрах.

Различные алгоритмы измерений и мощный скоростной измеритель позволяют измерить все основные параметры компонентов, компенсировать влияние смежных компонентов, выполнить анализ на соответствие заданным значениям.

В зависимости от комплектации системы с летающими пробниками возможно, кроме внутрисхемного контроля, выполнить и необходимый функциональный тест с подачей питания, входных и снятием выходных сигналов. Доступно и внутрисхемное программирование.

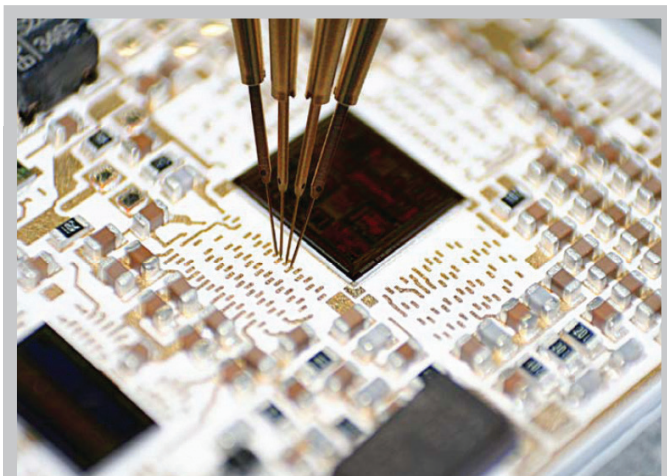


Рисунок 4
Работа на керамической плате

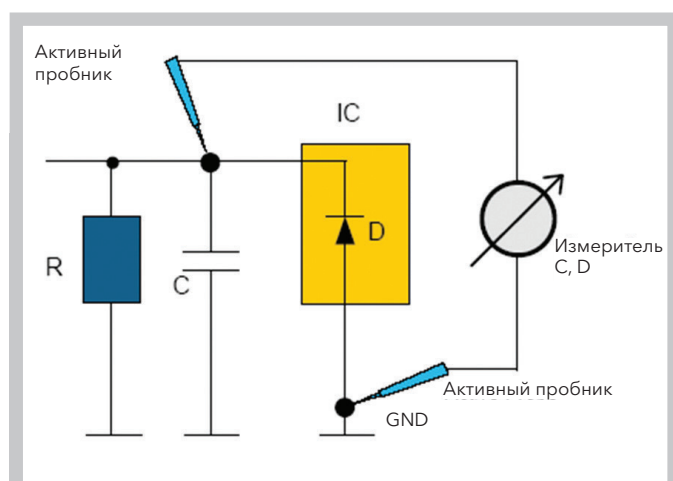


Рисунок 5
Принцип технологии измерения узловых импедансов

Эффективность применения систем внутрисхемного контроля с летающими пробниками можно рассмотреть на двух реальных примерах, связанных с оборонной тематикой.

Выявления дефектов типа: не тот конденсатор, короткое замыкание (КЗ) или отсутствие компонента осуществляется достаточно просто и эффективно. Намного сложнее выявлять дефекты, связанные с микроэлектронной элементной базой, которая составляет сейчас львиную долю в разработках. При этом проблемы возникают как с отечественными компонентами, так и с импортными.

Одно из оборонных предприятий обратилось к нам со следующей проблемой. Выпуская электронные модули на отечественной элементной базе, они столкнулись с тем, что ряд модулей, прошедших контроль на специальных функциональных стендах, отказывались работать на реальном комплексе. И такие случаи появлялись регулярно, приводя к накоплению бракованных модулей, ремонт которых не давал результатов на протяжении нескольких месяцев. Нам предоставили два одинаковых модуля, один из которых был работоспособен, а второй нет, хотя на выходном контроле проблем выявлено не было.

Стандартный внутрисхемный контроль на установке

SPEA 4040 (КЗ, обрывы, дискретные компоненты, непропаи) не выявил наличия дефектов. Тогда было решено сделать внутрисхемный контроль с использованием технологии измерения узловых импедансов (рисунок 5).

Данная технология позволяет измерять составляющие комплексного сопротивления цепей с точностью от 0.1pF с использованием специального измерителя на сигнальном процессоре. Применение данной технологии позволяет выявлять также все возможные короткие замыкания между цепями, даже если к ним нет доступа, и резко сокращать время тестирования.

Сравнение собранных данных с обеих плат показало, что существует ряд цепей на дефектном модуле, связанных с определенной микросхемой, где значения по емкостным составляющим сильно отличались от контрольных значений на исправном модуле.

Для подтверждения предположения микросхема на модуле была исследована с помощью системы рентгеновского контроля. Сделанный рентгеновский снимок кристалла микросхемы наглядно дает представление о том, что с данным компонентом есть проблемы. Хорошо видно, что кристалл имеет отклонения даже по форме (рисунок 6), к тому же оказалось, что отечественная микросхема серии 1533 была не только контрафактной, но и перемаркированной, что в наше время не редкость. Перепайка данной микросхемы полностью восстановила работоспособность модуля.

Анализ ситуации показал, что именно используемая технология измерения позволила решить поставленную задачу за минимальное время, а система рентгеновского контроля выступила лишь в качестве независимого арбитра для подтверждения результатов.

Решение подобной задачи стандартными подручными средствами просто физически невозможно из-за огромного числа измерений на плате и невозможности обеспечения их повторяемости. Используя только рентгеновскую установку, наш объект поиска остался бы недостижимым, если бы кристалл микросхемы не имел отклонений по форме.

Следующий пример описывает выявление дефекта в изделии на современной элементной базе, поиск которого мог быть очень простым, если бы при разработке данного изделия использовались все возможности, заложенные в применяемой элементной базе.

Развитие событий было аналогично приведенному выше случаю, за исключением того, что модуль представлял собой уже высокотехнологичное изделие - современный вычислитель на базе программируемой логики и высокоскоростной памяти. Ситуация повторялась: несколько работоспособных модулей и несколько неработоспособных. Причем уровень неработоспособности был высшим - модули вообще не запускались. Производитель, обладая рентгеновской установкой, провел над каждым модулем не один час, всматриваясь буквально в каждый квадратный миллиметр паяных соединений и переходных отверстий. К сожалению, поиски результатов не дали, а на носу сдача очередной партии изделий заказчику. Мы взяли за решение проблемы. Анализ модуля показал, что лучшим средством контроля данного модуля могло бы

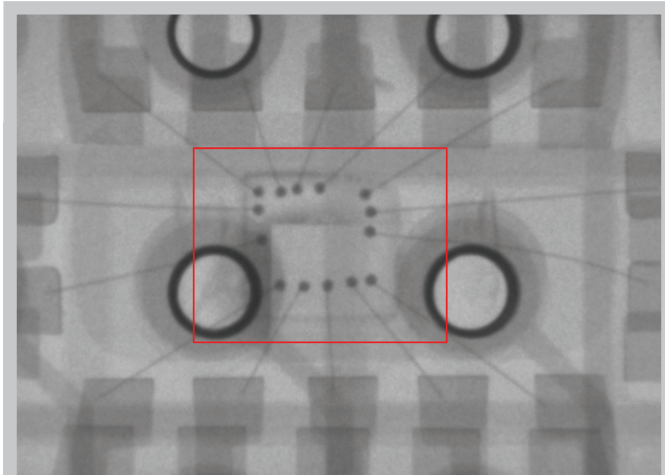


Рисунок 6
Рентгеновский снимок кристалла контрафактной микросхемы

стать использование технологии периферийного сканирования по JTAG-интерфейсу. При этом тестовое покрытие получалось очень весомым – более 80%.

Заказные микросхемы на программируемой логике должны были поддерживать работу периферийного сканирования по стандарту IEEE 1149.1, что дало бы хорошие возможности для диагностики. Но на практике оказалось, что данные микросхемы идут без поддержки периферийного сканирования - об этом просто никто не подумал при их заказе отметить соответствующий пункт в техническом задании).

Стандартные проверки результатов не дали, показав идентичность модулей. Поэтому мы использовали технологию измерения узловых импедансов. Простое сравнение результатов тестирования двух плат выявило отличия в значениях емкостей входных цепей, что указало на ряд микросхем памяти. Изучение ситуации с выявленными микросхемами под рентгеновским контролем дало интересные результаты: у части выводов микросхем отсутствовала разварка на кристалл (**рисунок 7**), хотя на точно таких же других микросхемах она была.

Детальное изучение микросхем не выявило признаков контрафакта, но поставило под сомнение качество закупленной партии микросхем. Перепайка дефектных микросхем сделала изделия работоспособными. Это только

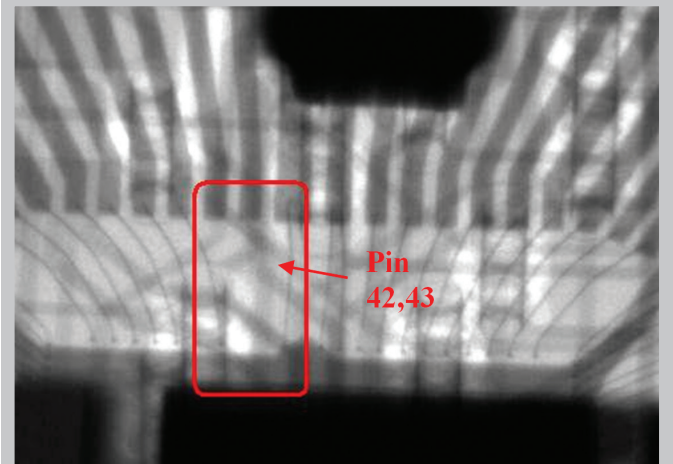
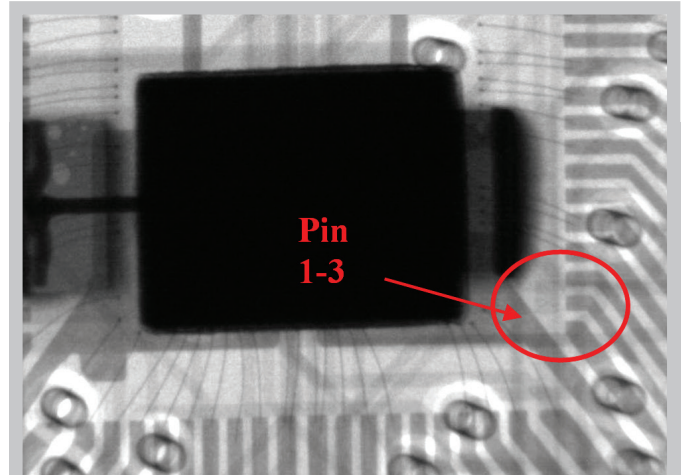


Рисунок 7
Рентгеновский снимок микросхемы с отсутствующей разваркой соединительного проводника

несколько примеров эффективного применения систем электрического контроля с летающими пробниками SPEA 4040, демонстрирующих далеко не все её возможности.

Надеемся, что приведенная информация позволит Вам взглянуть на вопросы обеспечения качества и повышения эффективности производства под новым ракурсом и поможет выбрать реальные и эффективные средства организации технологического процесса контроля.

JTAG-тест: мифы и реальность

Алексей Иванов

Про преимущества внедрения технологии периферийного сканирования (boundary-scan) на предприятии, производящем электронные цифровые изделия, написан целый ряд статей. Поэтому мне пришла в голову идея написать не о преимуществах, а составить список наиболее часто слышанных в работе с заказчиками утверждений, некоторые из которых являются заблуждениями, а некоторые - вполне здравыми. Нашлось около 10 утверждений по общей тематике, без углубления в технические аспекты. Я попытался ответить на данные утверждения, основываясь на собственном опыте работы с JTAG-тестированием и внедрения данного процесса на отечественных и иногда зарубежных предприятиях.

Напомним, что периферийное сканирование (в данной статье я также называю его JTAG-тестированием) – это технология, использующая для тестирования собранных печатных плат промышленный стандарт IEEE 1149.1, утвержденный институтом IEEE еще в 1990 году. Этот стандарт определяет дополнительную тестовую логику, содержащуюся сегодня в большинстве современных ПЛИС, процессоров, микроконтроллеров, и интерфейс, известный как JTAG. Таким образом, хотим мы этого или нет, зачастую в наших изделиях есть, компоненты, поддерживающие периферийное сканирование. Другое дело - используем ли мы его для тестирования и диагностики собранных плат и систем или нет. Иногда преградой к использованию технологии является некоторое недопонимание и недооценка данного метода.

1. JTAG-тестирование нужно «внедрять», это долгий и кропотливый процесс, возможно с привлечением специалистов извне.

Да, 20 лет назад технология периферийного сканирования являлась своего рода «черной магией», когда не было автоматических генераторов тестов и их интерактивных редакторов. Пионерам использования данной технологии приходилось писать вручную все тестовые векторы, изучив предварительно JTAG-протокол и работу регистров. Кроме того, нужно было отыскать на рынке микросхему, поддерживающую стандарт IEEE 1149.1, а сейчас их десятки тысяч разновидностей. Однако, примерно столько же лет назад для того, чтобы скопировать файл на компьютере, нужно было набрать некоторые команды в MS DOS. И, вообще, возможности ПК составляли,

наверное, считанные проценты от сегодняшних. Сейчас у нас есть такие ОС, как Windows и др. и копирование можно произвести несколькими способами, один из которых – просто перетаскивание значка указателем мыши. Примерно такая же эволюция произошла с инструментами для создания приложений, использующих периферийное сканирование или JTAG-тестирование. Причем, в отличие от современных операционных систем, САПР для разработки JTAG-тестов предоставляют широкие возможности пользовательского контроля.

Процесс создания тестов заключается в получении так называемого списка соединений (нетлиста) из САПР, где разрабатывалась схема электронного модуля, конвертации его в программную среду для разработки тестов и запуска автоматической генерации многочисленных тестовых векторов, которые при помощи станции периферийного сканирования будут «прогоняться» по плате через JTAG-интерфейс с последующим анализом и диагностикой дефектов.

Универсальность современных программных пакетов для JTAG-тестирования позволяет транслировать списки соединений из любых существующих САПР, будь то Mentor, PCAD, OrCAD или любая другая. Причем программа автоматически определит модели для всех компонентов на плате, если разработчик предусмотрел для них корректные названия в процессе проектирования. Однако расстановка моделей вручную обычно занимает всего несколько часов. После этого можно приступить к тестированию. Проект может содержать несколько плат, соединенных в блок, тогда тесты будут генерироваться для всей системы.

Все вышесказанное относится к разработке тестовых приложений. С другой стороны – если речь идет о платах, в которых не используются компоненты с поддержкой периферийного сканирования, и необходимо переходить на новую компонентную базу, то есть организовывать мероприятия по тестопригодной разработке, то, конечно, мы говорим именно о «внедрении» технологии JTAG-тестирования на предприятии. Такое «внедрение» может потребовать определенного времени и ресурсов, что в итоге отразится на качестве и ремонтпригодности продукции и дальнейшая разработка тестовых приложений не вызовет проблем и затрат. А что касается правил тестопригодной разработки – то они просты и понятны, существуют брошюры с их описанием.

2. Программы для JTAG-теста можно разработать самим, без применения средств автоматического проектирования.

Вообще говоря, это утверждение верно, существуют даже примеры таких «самодельных» пользовательских программ. В работе TAP-контроллера ИС с поддержкой IEEE 1149.1 нет ничего сложного, так же как и в сдвиговых регистрах, используемых при тестировании. Однако здесь следует помнить, что подавляющее большинство таких примеров – это тестовые программы для конкретного вида изделия. Так как здесь не применяется никакой конвертации данных из САПР и автоматического анализа межсоединений, то обычно программист пишет сам тестовые паттерны для какого-то конкретного участка платы и стимулирует JTAG-команды, найденные в BSDL-модели на конкретную ИС. Только вот часто происходит так, что, потратив год или два на создание такого самодельного программного инструмента, разработчик обнаруживает, что его детище устарело, так как изделие изменилось или больше не выпускается. Наскоро применить такую программу для другого, даже похожего изделия не получится – нужно все создавать практически сначала. Поэтому данный подход благополучно себя изжил, а для разовой прозвонки цепей можно использовать готовые простейшие программки, например, JTAG Live Buzz, которая является бесплатной.

3. Для внедрения JTAG-тестирования нужно изучать стандарт IEEE 1149.1

Данное заблуждение, скорее всего, происходит от того, что многие ожидают увидеть в стандарте IEEE 1149.1 правила тестопригодной разработки, которых там нет. Стандарт представляет из себя описание архитектуры периферийного сканирования, которая должна содержаться в соответствующей ИС, таким образом, направлен он, прежде всего, на разработчиков микросхем. Даже для создания собственных тестов без применения автоматизированного ПО стандарт изучать не нужно. Достаточно взглянуть на машину состояний TAP-контроллера и прочесть пару статей. Вся необходимая информация о JTAG-командах и регистрах любой микросхемы содержится в так называемой BSDL-модели, которую чаще всего можно скачать с сайта производителя этой микросхемы. А для тех, кто использует автоматизированные средства проек-

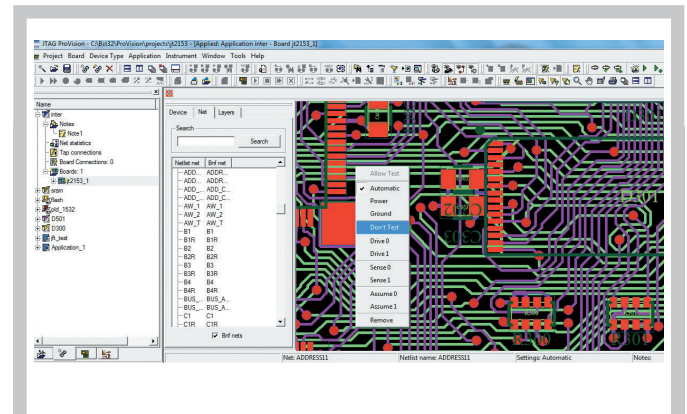


Рисунок 1

Управление тестом цепей в JTAG ProVision можно осуществлять даже из графического представления платы.

тирования, которые берут на себя заботу о TAP-контроллере, JTAG-интерфейсе и специальных сигналах разрешения режима периферийного сканирования, знание этих вещей требуется только как общеобразовательный минимум. В проектных системах создания тестов и приложений уровень, на котором приходится работать тест-инженеру, – это цепи и компоненты (Рисунок 1), поэтому знать про регистры и TAP-контроллер вообще нужно, но не обязательно, особенно для оператора-тестировщика. Профессиональные программные среды разработки тестов берут на себя также и автоматическое чтение BSDL-моделей.

4. Для полноценного тестового покрытия нужно что-бы все ИС платы, включая память, поддерживали IEEE 1149.1.

Это не верно. При выполнении тестирования платы при помощи JTAG есть «движущая сила» теста, то есть микросхемы с поддержкой стандарта IEEE 1149.1 (это могут быть ПЛИС, процессоры, контроллеры), а есть «периферия» – функциональная логика, не имеющая такой поддержки, но тестируемая при помощи основных цифровых микросхем.

Не зря JTAG-тест по-русски часто называется «периферийным сканированием», данное определение более емкое, нежели английское «boundary-scan» или его русский вариант «граничное сканирование». Эта «периферия», окружающая JTAG-микросхемы, также часто называется «кластерами». Обычно стандартный набор JTAG-тестов состоит из тестов межсоединений самих JTAG-компонентов (включая неподключенные выводы и внешние интерфейсы) и тестов кластеров, благодаря чему достигается значительное тестовое покрытие (рисунок 2). Иногда при наличии всего одного компонента с поддержкой IEEE 1149.1 можно протестировать до 80 – 90% цепей платы – за счет кластерного теста.

Возьмем для примера микросхему ОЗУ, которая не поддерживает периферийное сканирование по стандарту IEEE 1149.1. Память – это довольно простой функциональный компонент и при использовании в системе проектирования тестов некой «модели», описывающей шины адреса, данных и контрольные сигналы, вполне логично предположить, что система тестирования может симули-

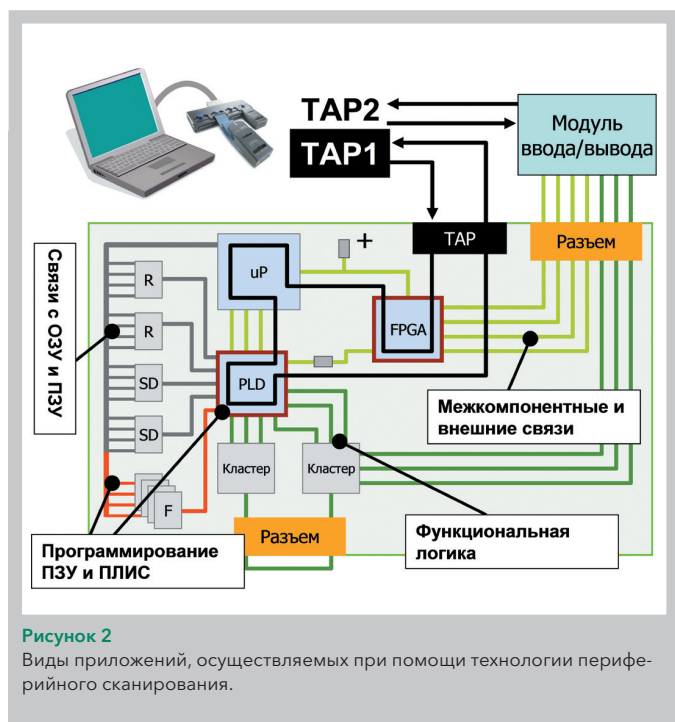


Рисунок 2

Виды приложений, осуществляемых при помощи технологии периферийного сканирования.

ровать чтение и запись в это устройство ОЗУ данных из регистров сканирования окружающих JTAG-микросхем. Автоматические генераторы тестов устроены таким образом, что создается несколько тысяч векторов с различными комбинациями адресов и данных, выбранных случайно - для точной диагностики местоположения и вида дефекта. При этом следует помнить, что еще около 10 лет назад такие модели приходилось создавать вручную (хотя и по шаблонам), а сегодня системы проектирования тестов содержат библиотеки с десятками тысяч видов ОЗУ, ПЗУ, логики и многих других устройств, не имеющих поддержки IEEE 1149.1, но тестируемых с помощью данной технологии. Действительно, было бы глупо и дорого внедрять JTAG-архитектуру и лишней интерфейс в микросхему ttl-логики всего лишь с 8 или 16 выводами.

5. JTAG-тестирование - это только для крупносерийных производств.

В корне неверное утверждение. Некоторые производители сложной техники специального назначения (причем как западные, так и отечественные) производя штучные изделия для оборонного комплекса, космоса и авиации, используют даже установки с «летающими щупами», которые являются довольно дорогими и сложными машинами. На фоне этого, периферийное сканирование, как недорогой метод электрического контроля, выглядит почти как обязательное условие. Кстати, во многом благодаря предприятиям оборонного и космического комплекса США стандарт IEEE 1149.1 получил свое распространение на заре становления технологий JTAG-тестирования. Производителям высоконадежной техники для Пентагона и NASA понравилась такая идея электрического контроля, как периферийное сканирование, и они стали требовать от производителей ИС внедрять стандарт, которым сейчас никого не удивишь.

Что же касается крупносерийных производств, то при миллионных партиях производимых изделий часто можно увидеть не отсутствие электрического контроля (ICT или периферийное сканирование), а как раз отсутствие функциональной проверки, как пережитка прошлого. Изделия могут проходить какой-то минимальный самоконтроль, но только после электрического тестирования, выявившего заранее все возможные дефекты. И если изделие не запускается, то уже идет в брак без поисков причин дефекта. Но, повторимся, это при миллионных тиражах. А преимуществом JTAG именно для крупносерийных производств является скорость теста, занимающая несколько секунд.

6. Контрактный производитель не должен связываться с JTAG-тестированием.

В рекламе очень многих западных контрактных производителей среди предлагаемых возможностей перечисляются средства электрического контроля: ICT, Flying Probe, Boundary-scan. При этом станции периферийного сканирования могут даже быть представлены несколькими производителями. JTAG-тесты и приложения для программирования могут быть созданы на предприятии, разработавшем изделие, но они также могут быть переданы в виде производственных архивов с файлами контрактнику, который запустит тест на имеющейся станции. Многие контрактные производители, кроме простых станций «прогона» тестов, содержат полный пакет ПО для разработки тестовых приложений и тест-инженеров, готовых как дополнительную услугу предложить создание, отладку и выполнение тестов периферийного сканирования на плате заказчика. Некоторые делают это не в рамках услуги, а для собственной подстраховки от возможных дефектов, ведь там «у них» контрактники очень дорожат репутацией и ставят себе задачу отгружать полностью работоспособные изделия.

7. При помощи JTAG-тестирования не получить 100% тестового покрытия.

Верное утверждение. Более того, ни один метод тестирования не даст 100% тестового покрытия. Внутри-схемный тест «не залезет» под BGA или в слои платы, а JTAG-тест создан для цифровой электроники, и не протестирует абсолютно аналоговое изделие. Вопрос выбора метода обсуждался не раз, про это много написано статей. Хорошо бы иметь все возможные методы, но бюджет не всегда позволяет это сделать. Поэтому необходимо понять, где в основном возникают дефекты, что вызывает наибольшую головную боль при поиске причин отказа? Кроме того, периферийное сканирование очень органично интегрируется в функциональный тест, который может взять на себя, к примеру, аналоговые измерения.

8. Для реализации периферийного сканирования нужно, чтобы все JTAG-компоненты находились в одной цепочке.

Это утверждение происходит, скорее всего, в результате использования отладочных кабелей производителей ПЛИС и процессоров (например, программаторы фирм Xilinx или Altera), традиционно имеющих один JTAG-порт.

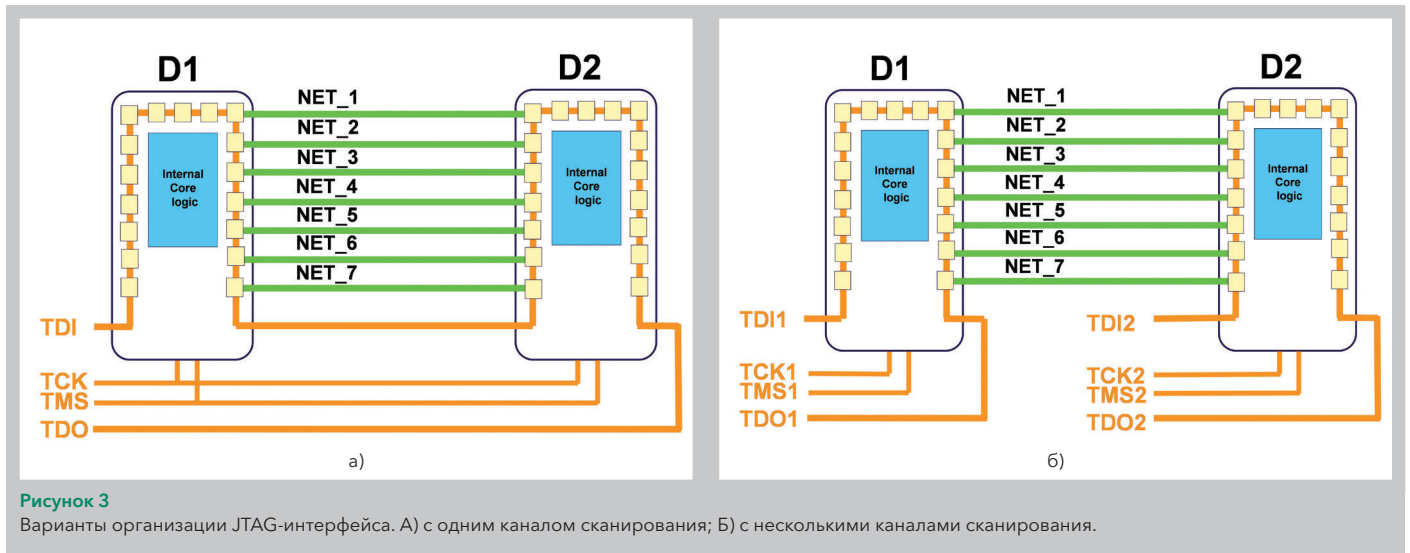


Рисунок 3
Варианты организации JTAG-интерфейса. А) с одним каналом сканирования; Б) с несколькими каналами сканирования.

Понятно, что если мы говорим о том, что для тестирования связи между 2 компонентами с поддержкой периферийного сканирования данные выставляются на одном из них и принимаются на другом (**рисунок 3А**), то нужен одновременный доступ к JTAG-логике и того и другого. Технология периферийного сканирования позволяет соединять микросхемы с поддержкой IEEE 1149.1 последовательно в одну цепочку по JTAG-интерфейсу, в таком случае для одновременного доступа ко всем «участникам» теста действительно требуется всего один JTAG-порт (и один разъем на плате). Однако не все устройства могут сосуществовать в одной цепочке, и, если периферийному сканированию все равно, сколько и каких ИС в цепочке, то «родные» средства отладки процессоров или ПЛИС могут «отнестись» к этому критично и не заработать. Кроме того, часто встречается ситуация, когда разные ИС имеют разный уровень напряжения JTAG-сигналов. Поэтому часто возникает необходимость разделить JTAG-каналы и на плате возникает несколько JTAG-разъемов (**рисунок 3Б**). Однако бояться тут совершенно нечего, несколько JTAG-каналов - типичная ситуация для современных плат, поэтому контроллеры периферийного сканирования обычно содержат несколько синхронно работающих JTAG-портов. Контроллеры от JTAG Technologies, например, имеют минимум 2 порта, а профессиональные станции - 4 (**рисунок 4**), при этом обычно каждый порт может настраиваться под разный уровень напряжения интерфейса.

9. JTAG-тестирование не применять без предварительной подготовки схемы изделия.

Существуют сборники рекомендаций по тестопригодной разработке плат и систем, которые многие воспринимают как необходимое условие для выполнения JTAG-тестирования. Однако, для минимального набора тестов необходимо, чтобы на плате присутствовали компоненты с поддержкой IEEE 1149.1, и их JTAG-порты были выведены на внешние разъемы (или хотя бы на контактные площадки). Таким образом, в данном утверждении есть доля правды, так как я часто сталкивался с отечественными изделиями, где есть компоненты с поддержкой периферийного сканирования, однако их JTAG-сигналы были заведены на землю без внешнего доступа. Требовалось изменение схемы платы и ее переразводка.

С другой стороны, мне часто приходилось запускать тесты вопреки всем правилам тестопригодной разработки, когда это действительно было нужно (в случае, когда все-таки есть доступ к JTAG, но существуют другие проблемы). Для этого можно использовать различные ухищрения, как программные, так и аппаратные. Например, во всех руководствах по тестопригодной разработке есть согласование сигнала TCK при помощи последовательного включения емкости 100 пФ и резистора 50 - 70 Ом, который должен быть установлен на плату (**рисунок 5**). Но в реальности такое можно встретить на редких платах. Если плата не сложная и кабель не длинный, то проблем не бу-



Рисунок 4
Контроллеры периферийного сканирования.

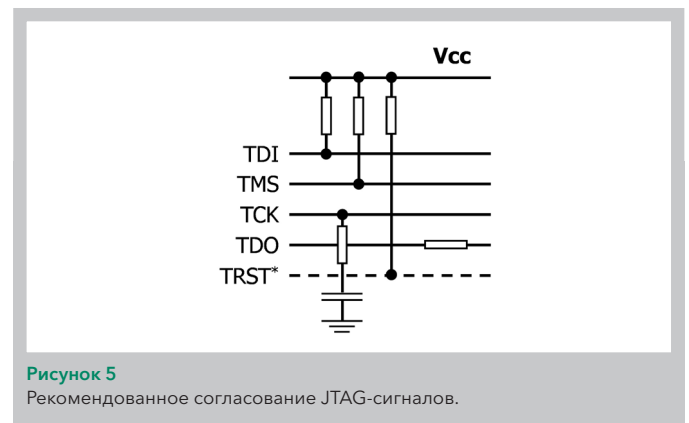


Рисунок 5
Рекомендованное согласование JTAG-сигналов.

дет и при отсутствии такого согласования, но на сложных изделиях (5 - 10 компонентов с поддержкой IEEE 1149.1, например, процессоров или ПЛИС) могут возникнуть случайные ошибки в тесте, вызванные нарушением целостности сигнала. Реальность диктует свои условия: для очень сложных плат приходилось впаивать резисторы и конденсаторы прямо в JTAG-шлейф или использовать самодельные переходники. Этот пример самый простой (а подобных примеров много - это тема отдельной статьи), но он показывает, что при острой необходимости тестирования плат многие из проблем отсутствия тестопригодной разработки решаемы, главное - желание и смекалка тестового инженера. А в следующей версии изделия можно внести коррективы и упростить оснастку.

Приходилось также делать и программные надстройки, чтобы выйти в режим периферийного сканирования на некоторых компонентах. Такие вещи возникают не только на отечественных разработках, но и встречаются у зарубежных предприятий, хотя «у них», нужно отметить, тестопригодная разработка развита в гораздо большей степени, возведена в ранг корпоративной культуры.

10. При помощи JTAG не протестировать аналоговую часть платы.

Вообще-то это скорее верное утверждение. Стандарт IEEE 1149.1 разрабатывался как средство для тестирования цифровой электроники. Оно и понятно, ведь оперирует он цифровыми сигналами, поэтому при наличии на плате одной или нескольких ИС, поддерживающих этот стандарт, можно протестировать связи между этими компонентами, их окружающие цепи (например, на замыкания), а, кроме того, связи с ОЗУ (SRAM, DRAM, SDRAM, DDR и др.), ПЗУ (последовательные параллельные), логику и интерфейсы. Однако на плате может присутствовать и аналоговая часть, для которой периферийное сканирова-

ние не предназначено. В последние несколько лет много проблем вызывали высокоскоростные цифровые линии связи (например, LVDS), которые могут содержать аналоговые составляющие, такие как емкости, развязывающие по переменному току. Это значительно ограничивало применение стандарта IEEE 1149.1, который является довольно статичным. Однако решение пришло в виде стандарта IEEE 1149.6, добавляющего к привычной логике периферийного сканирования дополнительные динамические элементы. Сейчас уже многие ИС в дополнение к IEEE 1149.1 поддерживают также и 1149.6, а системы автоматического проектирования тестов (например, JTAG ProVision) успешно с такими устройствами работают. Кроме того, цифро-аналоговые участки платы при создании приложений JTAG-тестирования тоже могут тестироваться.

Возьмем, к примеру, АЦП - выход этого устройства зачастую идет на компонент с поддержкой периферийного сканирования, следовательно, система тестирования может считывать данные с АЦП в регистр периферийного сканирования данного компонента. Таким образом, подавая различные напряжения на вход АЦП (например, граничные значения) можно создать тестовое приложение, считывающее данные с цифрового выхода, и проверяющее, что они укладываются в требуемый диапазон. А можно при помощи того же периферийного сканирования управлять ЦАП, установленным либо на тестируемой плате, либо на оснастке, и считывать данные с АЦП в рамках одного и того же приложения.

Конечно, для такого рода приложений, возможно, потребуются создание дополнительной оснастки, и автоматом их не создать. Однако существуют средства, использующие для таких целей встроенный язык программирования, например JTAG Functional Test (JFT).

Эффективное решение по организации входного контроля технологически сложных компонентов в условиях сборочных производств

Николай Клюквин

Усложнение электронных изделий, уменьшение их размеров, применение компонентов в корпусах BGA ставят производителей электроники в сложные условия по обеспечению необходимого уровня качества и надёжности выпускаемой продукции. Не секрет, что поиск и локализация дефектов в таких изделиях является трудоемкой задачей. Применение различных видов контроля - внутрисхемного и с использованием периферийного сканирования - позволяет существенно снизить затраты на локализацию сложных дефектов. Однако дефекты лучше предотвращать, чем искать и потом устранять. В данной статье предложено решение по реализации входного контроля сложных электронных компонентов с использованием систем электрического контроля с летающими пробниками компании SPEA.

Дефекты компонентов относятся к тому типу дефектов, выявление которых желательно проводить еще до стадии сборки изделия. Но реализация полноценного входного контроля в условиях сборочного производства весьма затруднительна и по экономическим, и по техническим причинам. Понятно, что большинство современных компонентов просто физически невозможно проверить перед монтажом, учитывая их миниатюрность, упаковку в носители и т.п. Намного проще эту операцию осуществлять уже после сборки изделия, на этапе электрического контроля с использованием разных технологий, которые мы неоднократно рассматривали в своих публикациях. Но, одно дело проверить диод, транзистор или резистор, выявить короткое замыкание на плате, и совсем другое - найти неявно выраженный дефект сложного цифрового компонента, например, процессора, микросхемы памяти или программируемой логической матрицы.

Если дефект обнаружен и локализован уже после сборки изделия, то ремонт, связанный с заменой, например, компонента в корпусе BGA, представляет сложную задачу. И ее решение может привести к необратимому повреждению уже всего собранного и обычно дорогостоящего изделия (электронного модуля). Поэтому проверка таких технологически сложных компонентов перед сборкой бывает весьма полезной, а в некоторых случаях, и просто необходимой операцией. Другим аргументом, говорящим в пользу организации входного контроля, является актуальная в настоящий момент проблема поставок некачественных (контрафактных) компонентов. Не всегда визуально удастся отличить подделку от оригинала, не говоря уже о контроле его электрических характеристик. Поддельвают все, в том числе и компоненты таких известных компаний как Altera, Xilinx, National Semiconductor, Motorola, широко приме-

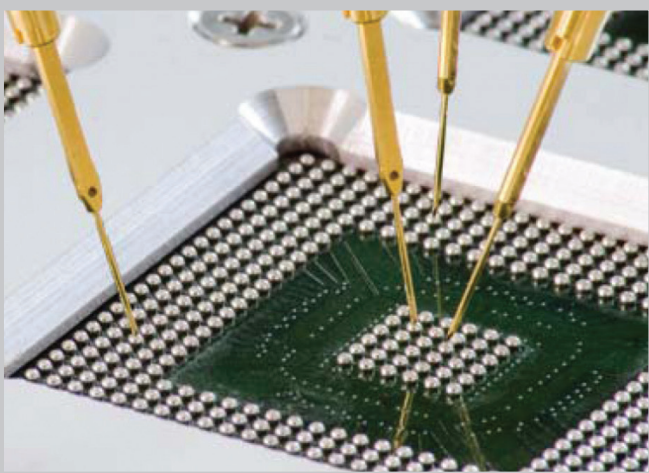


Рисунок 1
Контактирование летающими пробниками в шарики BGA компонента.

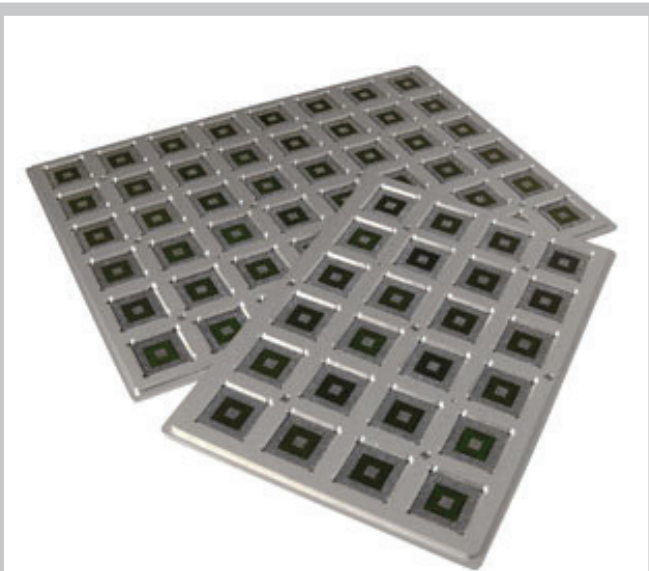


Рисунок 2
Оснастка в виде паллет для фиксации компонентов

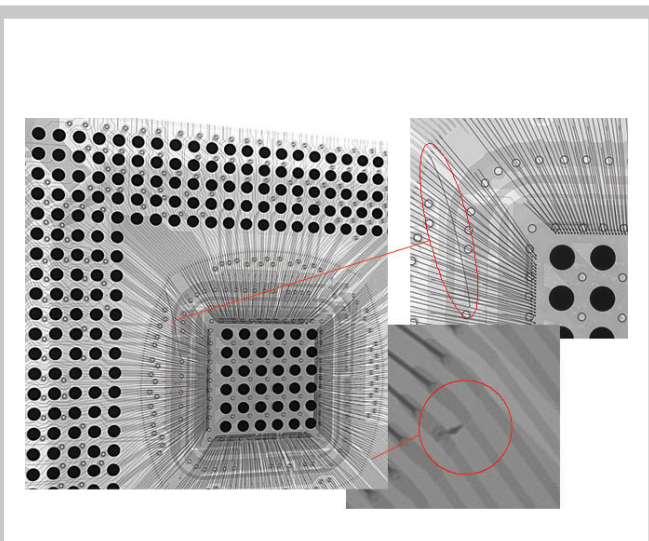


Рисунок 3
Выявленные при помощи рентгеновского контроля дефекты печатного проводника подложки и соединительного проводника микросхемы

няемых в современных сложных электронных изделиях. С другой стороны, качество оригинальных компонентов не всегда соответствует ожиданиям потребителей. Не секрет, что в изделиях спецтехники зачастую приходится применять импортные компоненты промышленного и даже бытового назначения, что не всегда обеспечивает требуемые показатели работоспособности и надежности. Это ещё один аргумент в пользу необходимости контроля компонентов перед монтажом. По статистике, в 90% случаев дефекты проявляются именно на выходных/входных цепях и имеют достаточно выраженные критерии для их оценки. Простые тесты электрического контроля позволяют легко выявлять дефекты, обнаруживать контрафактные компоненты.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- обеспечить 100% входной контроль – масштабная и трудновыполнимая задача в условиях небольших сборочных производств;
- необходимо обеспечить входной контроль наиболее сложных компонентов, диагностика которых на спаянном печатном узле будет крайне затруднена или невозможна, а замена может привести к выбраковке всего печатного узла;
- накопление статистической информации позволит корректно подходить к допуску тех или иных компонентов на сборочные операции, выбору поставщиков, проведения рекламационной работы.

Из вышеперечисленных аргументов вытекает следующий вопрос: «С помощью каких технических средств можно обеспечить проведение выборочного входного контроля?» Специализированное оборудование для проведения входного контроля компонентов достаточно сложное и дорогое. О таком оборудовании можно прочитать в статье «Современный подход к организации контроля полупроводниковых устройств», опубликованной в бюллетене «Поверхностный монтаж» № 3 за 2010 г. Но если принять во внимание те ограничения, которые мы поставили перед собой по контролю работоспособности электронных компонентов, решить их можно уже стандартными и распространенными техническими средствами. Внедрение систем внутрисхемного контроля позволяет решать комплексную задачу контроля, в том числе и контроля компонентов на собранных печатных узлах. О практике применения систем электрического контроля с летающими пробниками серии SPEA 4040, 4060 рассказано в статье «Практические аспекты электрического контроля собранных печатных модулей» бюллетеня «Поверхностный монтаж» № 2 за 2010 г. Собственно, у производителя подобных систем и возникла идея расширения решаемых установками задач и реализации входного контроля компонентов до их установки на печатную плату. Как это часто случается, гениальная идея бывает простой и легко реализуемой, и странно, что к ней пришли только сейчас, учитывая, что подобные установки имеют опыт использования более 10 лет. В нашей стране они также стали популярны. Актуальность проблемы с качеством поставляемых компонентов возросла настолько, что ее решением приходит-

ся заниматься вплотную на большинстве производств. В классических средствах входного контроля одна из главных задач состоит в необходимости обеспечения электрического контакта с тестируемым компонентом через специализированные загрузочные платы и соединители (розетки - socket), специально разработанные под конкретные типы корпусов. Для систем с летающими пробниками такая задача уже решена по умолчанию. Летающие пробники в состоянии обеспечить контактирование с шариками компонента в корпусе BGA независимо от их количества, диаметра и шага (**рисунок 1**). Возможность программирования усилия прижима, точность и повторяемость гарантируют отсутствие повреждения выводов при контакте. Конструктивно, специальная оснастка в виде паллеты (панели с ячейками) обеспечивает базирование компонентов. Одно из реализованных решений показано на **рисунке 2**. Оптическая система установки делает привязку к каждому компоненту по крайним шарикам, которые используются в качестве реперных знаков. Данная привязка позволяет сделать коррекцию по положению для каждого шарика компонента с учетом всех зазоров между рамой и компонентом и угловым смещением самого компонента и обеспечить необходимую точность позиционирования летающих пробников.

Паллету с компонентами загружают в установку, выбирают соответствующую тестовую программу (как при внутрисхемном контроле собранных печатных узлов) и начинают тестирование компонентов. Все промежуточные результаты измерений доступны и могут быть использованы различными приложениями для статистической обработки данных. Основное ограничение, которое возникает при таком способе контроля, заключается в следующем: на тестируемый компонент не подается напряжение питания, и он не проверяется на функционирование в соответствии с назначением. Однако в большинстве случаев в этом нет необходимости, и на качестве выявления дефектов это не отражается (**рисунок 3**).

Проводятся следующие виды контроля:

- проверка целостности защитных диодов как по входам, так и по выходам компонента;
- проверка целостности внутренних шин питания, связей всех выводов питания с данной шиной;
- проверка отсутствия коротких замыканий между выводами (и соединительными проводниками);
- наличие связей между выводами и кристаллом;
- проверка соответствия "цоколевки" компонента;
- проверка идентичности импедансов группы выводов одного назначения (шины данных, шины адреса и т.д.);
- выявление несоответствия входных/выходных цепей по токам утечки;
- сравнение электрических показателей текущего компонента с эталонными значениями.

Выполнение всех перечисленных тестов позволяет с уже намного большей вероятностью гарантировать работоспособность компонента в составе готового изделия, а при накоплении и обработке получаемой статистики делать заключения о надежности как одиночного конкретного компонента, так и о качестве всей

партии. Получение систематизированной информации о результатах контроля даёт возможность предъявления аргументированных претензий поставщику. Ну и конечно, на этой же установке можно и нужно проверять качество получаемых печатных плат и собранных печатных узлов.

Используя данное решение входного контроля для условий отечественных производств, можно выделить следующие рекомендации:

- учитывая мелкосерийный характер большинства производств, оптимально изготовить одну универсальную оснастку сразу под разные типы корпусов;
- возможно проведение входного контроля и других компонентов, не обязательно микросхем, которые можно зафиксировать с помощью соответствующей оснастки. В данном случае необходимо только желание и творческий подход к решению поставленной задачи.

Данное решение признано эффективным по соотношению цена/качество на ряде предприятий Европы, работающих в области встраиваемых систем вычислительной техники для нужд промышленности и обороны. Учитывая, что большинство поставленных систем серий 4040, 4020, а теперь уже и 4060, расположены на оборонных предприятиях, предлагаемое решение позволит обеспечить качество и надёжность выпускаемой продукции при её оптимальной себестоимости.

Стратегический выбор поставщика и технологии – способ избежать тупикового пути развития

Евгений Мордкович

В течение последних 6-7 лет силами инженеров Предприятия Остек были подготовлены десятки статей, которые знакомили наших читателей с самыми современными подходами в организации контроля качества выпускаемой радиоэлектронной продукции с точки зрения электрических характеристик. За это время мы рассмотрели такие новые и актуальные темы как внутрисхемное тестирование, входной контроль, периферийное сканирование. Поделились опытом мировых лидеров о том, как можно применять традиционные для всего мира способы проверки печатных узлов и компонентов, а также порой экзотическими, но не менее важными решениями в области предупреждения дефектов сборочного производства. В то же время мы сами успели сменить несколько партнеров, предлагавших, на наш взгляд, устаревшие и уже не отвечающие современным потребностям активно развивающейся российской отрасли приборостроения технологии.

Основными критериями выбора поставщиков-производителей тестовых решений были:

- актуальность и перспективность решаемых задач. Позволяют избежать тупикового пути развития технологий тестирования;
- высокая техническая грамотность, уровень технической поддержки и репутация в глазах мировых лидеров приборостроения. Гарантия своевременного, точного и квалифицированного ответа от разработчиков систем на все вопросы, возникающие во время внедрения систем на отечественных предприятиях. К слову, такие же встречные требования были у наших зарубежных партнеров к компании Остек, искавших надежных представителей на 1/6 части суши нашей планеты;
- доступность технологических решений и надежность архитектуры машин. Уберегла многих российских заказчиков от излишних затрат на внедрение избыточных или устаревших решений, которые сказывались на полной стоимости владения оборудованием;
- простота ежедневной эксплуатации и широта до-

ступных обновляемых ресурсов и библиотек предлагаемого спектра оборудования. Обеспечили быстрое приобретение навыков работы отечественными специалистами производственных компаний, многие из которых получили престижный статус тестовых инженеров на своих предприятиях.

Обобщая опыт нескольких лет работы с наиболее популярными на данный момент на территории России системами электрического контроля SPEA и JTAG, мы решили поделиться с читателями основными аспектами и особенностями развиваемых нами подходов, которые выгодно отличаются от периодически проявляющихся решений-полумер.

Как и при рассмотрении любой технологии, выбор тестового оборудования необходимо начинать с понимания конечного результата. Что мы получаем на выходе? Каков сухой остаток от внедрения той или иной технологии контроля? Ответы на эти вопросы можно дать, опираясь на несколько критериев.

Тестовое покрытие

Без сомнения, в первую очередь, от автоматизированной системы электрического тестирования мы ждем максимально полную и достоверную информацию о соответствии проверяемого нами изделия конструкторской документации. Более того, как правило, оператору не хочется, да и не нужно знать, каким именно способом машина проводит те или иные измерения. Можно сколь угодно долго теоретизировать о том, какая методика потенциально может обеспечить максимальную эффективность проверки, но в результате необходимо смотреть на перечень доступных для тестирования цепей и компонентов для конкретного тестируемого изделия. Как раз на этом этапе и проявляются основные преимущества систем, внедряемых специалистами Остека.

Предлагаемые разработчиками систем SPEA и JTAG программно-аппаратные средства позволяют наглядно показать степень обеспечения тестового покрытия и проанализировать глубину проводимых тестов.

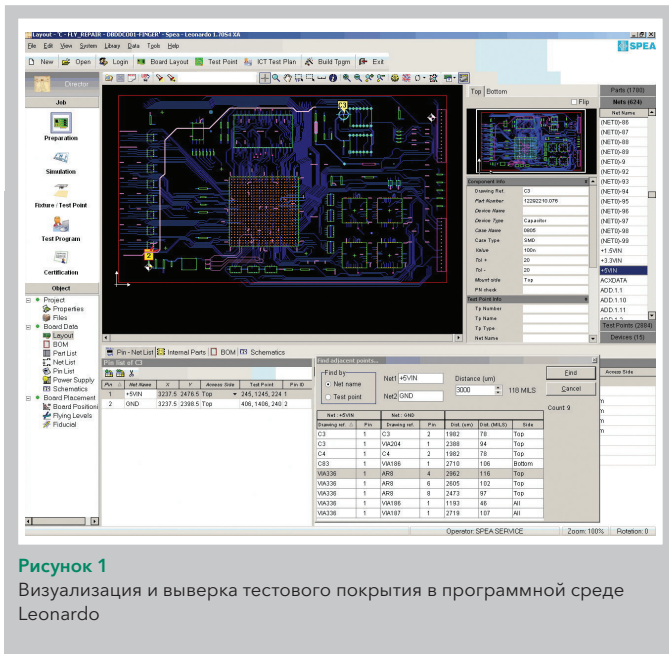


Рисунок 1
Визуализация и выверка тестового покрытия в программной среде Leonardo

Наиболее ярким образом это представлено в программной среде Leonardo за счет использования запатентованной модели NZTest (рисунок 1), реализованной в сотрудничестве со специалистами компании Siemens.

В предыдущих статьях и на семинарах мы рассказывали о нюансах применения методики измерения узловых импедансов. Ключевая идея состоит в том, что по точному значению комплексного сопротивления цепи мы имеем право сделать вывод о том, что номиналы всех компонентов, увязанные в текущую цепь, соответствуют исходной спецификации. Исходя из этого, у нас резко снижается количество требуемых измерений, необходимых лишь для того, чтобы определить электрический образ изделия. Далее включается мощный математический комплекс, благодаря которому становится доступна информация о точном номинале каждого компонента. Причем необходимость локализации дефекта возникает только тогда, когда полученная информация не соответствует расчетным значениям узловых импедансов. Получается, что у нас нет необходимости в физическом контакте со всеми элементами схемы до тех пор, пока не будет выявлено отклонение электрических параметров по цепям. С другой стороны, мы в состоянии обеспечить контакт в любой точке, имеющей физический доступ. Это уникальное свойство явилось определяющим в выборе архитектуры мирового флагмана систем с шестью летающими пробниками SPEA 4060.

Рыночная, а во многом маркетинговая ситуация в мире внутрисхемного контроля постоянно ставит вопрос о необходимости наращивания существующих решений. Например, один из североамериканских производителей утверждает, что для обеспечения наилучшего тестового покрытия необходимо применять до 10 пробников, тем более, что каждый из потенциальных пользователей подобных машин задается вопросом превосходства систем, исходя из количества контактирующих устройств. Инженеры компании SPEA сознательно не нагружают существующую схему работы пробников (четыре сверху и два

снизу) дополнительными средствами измерения, которые при уже существующем технологическом преимуществе над аналогами будут избыточными и необоснованно повысят стоимость машин на рынке. Собственный семилетний опыт проведения сравнительных тестов одних и тех же печатных узлов на системах самых популярных мировых производителей показал, что реализованный SPEA подход обеспечивал тестовое покрытие, как минимум на 30% превышающее аналоги. Стоит, правда, оговориться, что речь шла о подготовке тестового решения в автоматическом режиме – существенный фактор, поскольку основным требованием к автомату является минимизация участия оператора в поиске неисправностей и обеспечения выполнения тестовой программы в полном объеме.

В погоне за формальной подгонкой паспортных данных всеми участниками рынка скрыта попытка «доказать» на бумаге если не преимущества того или иного решения, то хотя бы похожесть и сопоставимость тестового покрытия. Первые подтверждения этого тезиса мы начали получать 2-3 года назад, когда к нам стали обращаться пользователи альтернативных систем с летающими пробниками, принявшие решение именно опираясь на убедительные, как им казалось, технические характеристики, указанные в рекламных брошюрах. Понимая сложившуюся ситуацию, мы стали настаивать на проведении предварительных испытаний системы на изделиях заказчиков в нашем демонстрационном зале. Таким образом, еще до принятия окончательного решения о внедряемой технологии, пользователь получает конкретный результат по «боевому» печатному узлу, который в дальнейшем будет проверяться на предприятии. Результат не заставил себя долго ждать.

Популярность систем SPEA 4060 выросла на порядок за счет прозрачности и достоверности результата, получаемого от внедрения.

Повторяемость контактирования

После прояснения вопроса с масштабами тестового покрытия важно определиться, сможем ли мы обеспечить повторяемость позиционирования пробников, и, как следствие, повторяемость проводимых измерений. В конечном счете, нам важно не однократное попадание щупами в заданную точку, а понимание того, есть ли окрестность контактирования и какова она. Важна комбинация точности и повторяемости процесса. Рисунок 2 наглядно демонстрирует варианты этих комбинаций и обозначает необходимость расставить все точки над *i* в этом вопросе. Здесь мы часто можем столкнуться с некоторым жонглированием цифрами. Внимание могут привлекать такие параметры, как минимальный размер тестовой площадки или галтели компонента, разрядность датчиков позиционирования, диаметры щупов и т.п. Это, безусловно, важные параметры, на которые необходимо опираться, понимая, что делается оценка однократного контактирования.

То есть визуально фиксируется факт попадания в заданную точку в пошаговом режиме. Но зная, что точность позиционирования важна не в статике, а в динамике, совместно с партнерами мы провели испытания наиболее популярных систем с летающими пробниками, для чего была разработана специальная версия платы, позволяю-

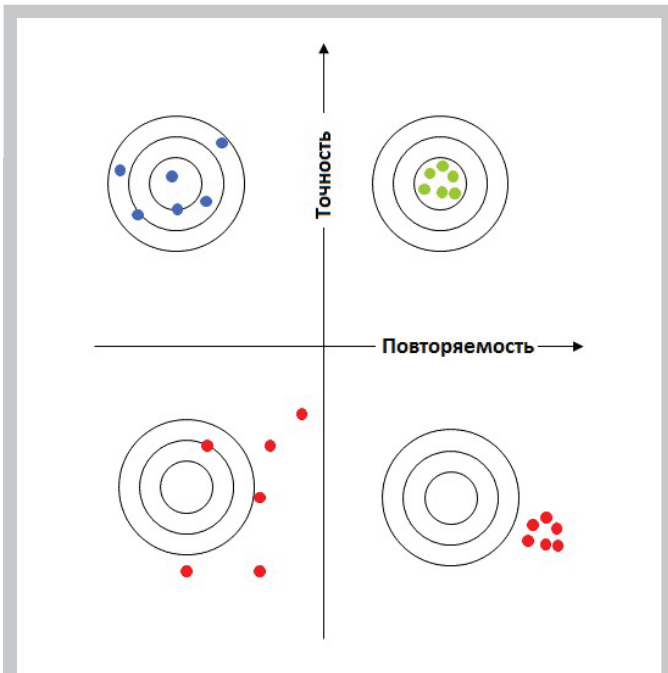


Рисунок 2
Варианты комбинации точности и повторяемости

щая проверить заявляемые характеристики (рисунок 3).

Для начала мы произвели фиксацию работы одного пробника по контактной площадке в полуавтоматическом режиме и результат, так или иначе, у всех систем был близок по точностным характеристикам. На SPEA 4060 нам удалось добиться уникального показателя в 40 мкм на площадке шириной 100 мкм (рисунок 4). Но больший интерес вызвал вопрос, будут ли столь же точны и повторяемы отпечатки от всех пробников испытываемых систем или все-таки будет некоторая окрестность вокруг целевой (эталонной) точки. На откалиброванных системах были произведены серии контактирования, результаты которых показали степень разобщенности совместной работы всех щупов для разных систем с летающими пробниками (рисунок 5).

Полученные иллюстрации и разительные отличия вызвали законный вопрос: «С чем связан такой колоссальный разброс реальных параметров у систем, которые по паспортным данным кажутся вполне взаимозаменяемыми?». Разработчики указывают на базовые конструктивные отличия приводной части и однозначно обращают нас к передовым технологиям, внедряемым в системах, для которых действительно критичны микронные перемещения, например, в механообработке.

Агрегатная часть

К моменту основания своей компании SPEA в 1976 году Лучано Бонариа понимал, что входит в достаточно насыщенный рынок тестового оборудования с точки зрения предложения со стороны конкурентов. Для того чтобы заслужить внимание со стороны заказчиков, необходимы были принципиально новые подходы и решения, которые смогли бы на голову превосходить существующие технологии. Первый серьезный прорыв, после которого на компанию SPEA стали смотреть как на одного из мировых лидеров тестовых решений, случился в 1988 году - это было внедрение технологии тестирования полупроводниковой продукции на территории Советского Союза. На каждом новом этапе приходилось искать что-то новое, что будет отличать и давать явное преимущество над уже предлагаемыми подходами. Для выбора базовой технологии приведения в движение щупов в начале 90-х годов прошлого столетия был проведен анализ предлагаемых на тот момент идеологий построения прецизионных автоматов.

Принимался во внимание ряд факторов, самыми значимыми из которых были:

- простота конструкции, не требующая обслуживания - не требуется смазка, присутствие пыли не сказывается на из-носе конструкции, нет трущихся элементов;
- технологичность конструкции и безопасность - нет накапливаемой ошибки, точность позиционирования каждого привода не превышает единицы микрон, высокий ресурс скорости приводов, низкая шумность;
- широкий ряд поставщиков комплектующих и сфер применения - возможность выбора оптимальной конфигурации системы; постоянно улучшающиеся характеристики вследствие конкуренции производителей приводов.

На основании этих критериев в качестве базовой была

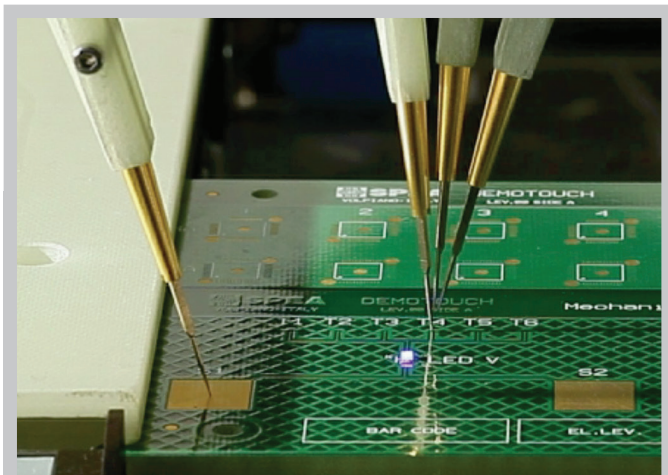


Рисунок 3
Работа SPEA 4060 с прецизионной демонстрационной платой

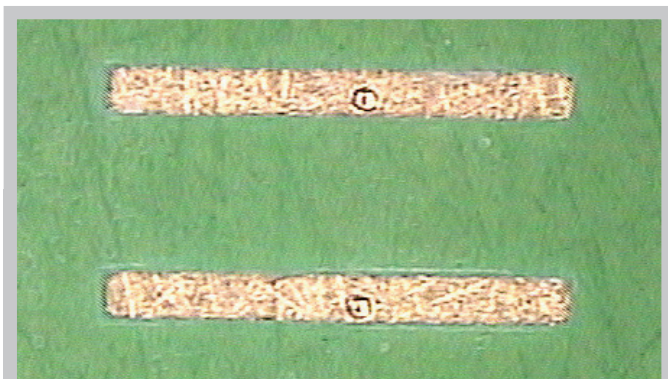
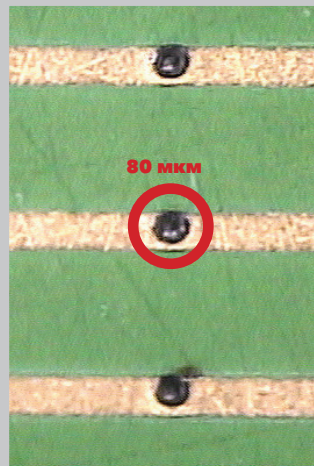
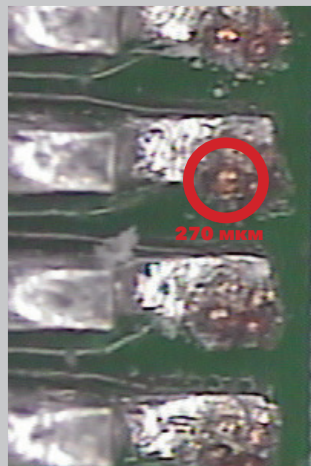


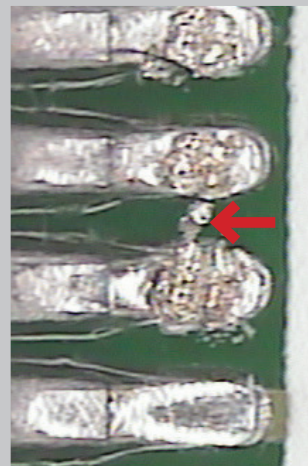
Рисунок 4
Снимок с помощью микроскопа после однократного касания пробника SPEA 4060



SPEA 4060
Ширина контактной площадки:
100 мкм
40 касаний 4 пробников



Испытываемая система 1
100 мкм
40 касаний 4 пробников

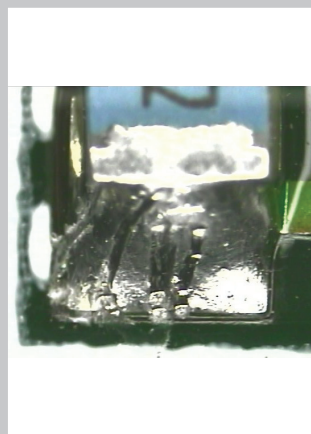


Испытываемая система 4
Ширина контактной площадки:
250 мкм
10 касаний 4 пробников

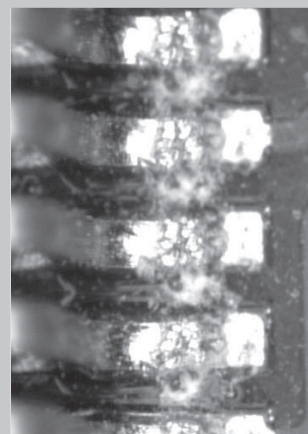
Рисунок 5
Результат испытаний на проверку точности и повторяемости контактирования различных систем внутрисхемного тестирования



Испытываемая система 1
1500 мкм
10 касаний 4 пробников



Испытываемая система 5
Ширина контактной площадки:
800 мкм
6 соскальзываний



Испытываемая система 6
250 мкм
10 касаний 4 пробников

выбрана технология перемещения с помощью линейных приводов. Дополнительные требования, связанные с особенностями приборного производства (непосредственного контакта человека с системой, наличием соответствующих сертификатов производителя) отсекали, по большей части, дешевых или мелких поставщиков силовых узлов. Для средне- и крупносерийных производств ключевым оказалось значительное сокращение времени перемещения пробников по сравнению с аналогами. При реализованных алгоритмах тестирования время измерений занимает порядка 10-15% от всего теста, поэтому длительность перемещения щупов важно снизить до минимума.

Таким образом, система была разработана и предстала в том виде, в котором её знают и по всему миру используют более полутысячи пользователей в настоящее время. В России работу летающих пробников можно встретить уже более чем в 10 городах, а в некоторых и по несколько модификаций. И это при том, что еще три года назад общее количество установок можно было пересчи-

тать по пальцам одной руки. Популярность применения машин семейства SPEA 4060 растет от года к году, в первую очередь, благодаря быстрому получению реального результата от внедрения системы. Нередки случаи, когда срок окупаемости подобного решения сопоставим с выпуском одной партии изделий, а иногда и всего одного прибора. Все чаще решения о необходимости использования внутрисхемного тестирования на предприятии принимаются, когда сроки и стоимость устранения технологических дефектов должны быть минимальными и нет возможности проводить НИОКР при каждой регулировке изделия. Здесь на помощь и приходит семейство установок с летающими пробниками SPEA 40XX в комбинации со станциями периферийного сканирования JTAG, способные решать самые сложные и экзотические задачи электрического контроля.



Рисунок 6

Региональное присутствие парка машин с летающими пробниками SPEA 40XX на территории РФ

Почему в России нельзя сделать марсоход?

Антон Шейхо

В настоящее время отечественные производители электроники оказались загнаны в угол, и этому есть определенные причины.

Во-первых, за 90-е годы прошлого столетия наша страна почти лишилась микроэлектронной отрасли. Постулат одного из первых «эффективных» менеджеров, обещавшего к тому же полные прилавки в магазинах: «наши микросхемы самые большие в мире, поэтому будем покупать в Японии и Корее», поставил крест на отечественных перспективных технологиях микроэлектронной промышленности.

Во-вторых, была дискредитирована и разрушена система представителей заказчиков, то есть скомпрометировано клеймо «ОС». Попытки специалистов отдела закупок найти микросхему N, производство которой было прекращено чуть ли не 20 лет назад, вынуждает их покупать компоненты непонятного происхождения (ситуация с кристалльным производством в России не совсем прозрачна). И это при том, что с сопроводительными документами на такие компоненты, конечно же, полный порядок.

В-третьих, в последние годы финансирование государственных предприятий было достаточно ритмичным и закупалось большое количество автоматизированного сборочного оборудования, что донельзя обострило проблему отсутствия отечественной нормативной документации, специалистов и современных компонентов, которые

можно использовать при автоматизированном монтаже. Недавно в наши руки попал нормативный документ, созданный двумя почтеннейшими организациями, который регламентирует, как из партии компонентов выбирать годные. Боюсь коллеги, писавшие стандарт, забыли об уровне выхода годных изделий в пересчете на миллион. Иначе как можно при отборе «годных» компонентов не отбраковать всю партию только потому, что в ней есть «самые» годные компоненты? При таком допустимом уровне дефектов брак – это нонсенс, а все микроэлектронные процессы имеют высокую повторяемость. Вы скажете: «Это ведь дорого!» Но, простите, спутники, танки, локомотивы и даже датчики пожарной безопасности тоже денег стоят. А как же репутация, человеческие жизни? Нужно понимать, что время ставки «на авось» закончилось в 2009 году. Возникает вопрос: «Каким образом обеспечить выпуск надежных изделий?» Или даже по-другому: «Как выпустить продукцию, отвечающую современным требованиям по функциональности и себестоимости, когда нет ни микроэлектронной промышленности, ни стандартов, ни кадров?». Что делать с большей частью проблем не совсем ясно, а вот с компонентами ответ, казалось бы, лежит на поверхности – покупать импортные компоненты (для спецтехники класса military или aerospace). Однако существуют ограничительные перечни, согласно которым применение импортных микросхем невозможно либо ограничено, да и не все компоненты можно купить (вспомним американский скандал октября 2012 года с поставщиками российского происхождения). Получается, что применение импортной элементной базы возможно только при производстве изделий, предназначенных для экспорта, либо возникает отдельная задача, с которой мало кто готов связываться: как убедить государственные службы использовать импорт из-за отсутствия отечественного аналога. Даже если потом и кровью получить эти разрешения, то при покупке импортных компонентов проблемы не решатся: из многих отчетов мировых производителей электроники видно, что стремительно набирает обороты «новая промышленность». Как вы помните, в 2009 году начался кризис, объемы производства стали снижаться, и возник резонный вопрос: «Как оптимизировать (удешевить) производство?» Ответ нашли практически мгновенно: нужно покупать компоненты дешевле. Как итог, появи-

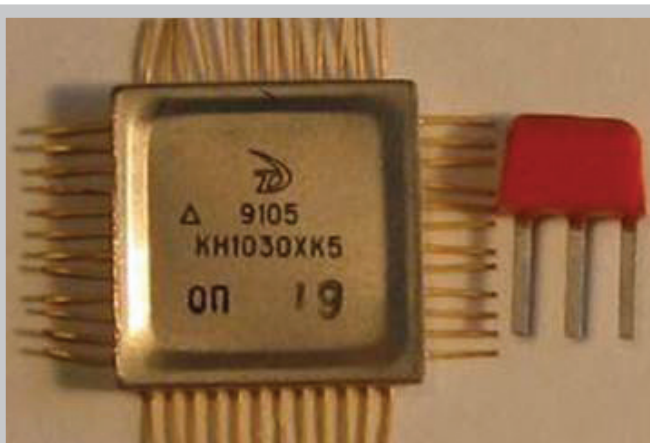


Рисунок 1
Пример отечественного компонента



лась новая промышленность – производство контрафакта. Западные СМИ провели расследования, результатом которых стала серия репортажей из Поднебесной, в которых были показаны «цеха» по производству контрафактных компонентов (**рисунок 2**). Так что же такое контрафакт?

Существует несколько определений этого понятия, приведу лишь два из них:

- продукт, выпущенный с несоблюдением авторских прав;
- продукт, не соответствующий техническим условиям.

Степень «контрафактности» компонента может быть различной. Это и «пустышка», и перемаркированный компонент, и отбраковка производителя. Конечно, наиболее простая задача в плане определения контрафакта – найти «пустышку». Обычно это грубая подделка (**рисунок 3а**), которая легко выявляется при проведении простых измерений. Намного сложнее выявить отбраковку компонента от производителя или компонента, который уже использовался ранее и прошел процедуру восстановления (**рисунок 3б**). Такой компонент может даже успешно пройти параметрическое тестирование, но показать несоответствия при тестировании с воздействием повышенной и/или пониженной температуры.

Традиционными этапами проведения входного контроля и выявления контрафакта являются:

- контроль сопроводительной документации;
- контроль внешнего вида (включая проверку качества маркировки, геометрических размеров и состояние выводов (**рисунок 5**);
- контроль толщины и состава гальванических покрытий выводов (как правило, с применением методов флуоресцентной рентгеноскопии);
- контроль внутреннего состояния электронных компонентов и интегральных микросхем (**рисунки 6 и 7**) методом рентгеновской инспекции (наличие кристалла и соединительных проводников и контроля их длины (прогиба);
- контроль отсутствия пустот между кристаллом и подложкой, дефектов корпуса с применением акустических сканирующих микроскопов (**рисунки 8 и 9**);
- электрический контроль – проверка электрических характеристик, в том числе и под воздействием температур. Проверка идентификационного номера при помощи технологий периферийного сканирования, проверка соединения «кристалл - вывод»;
- организационные меры.

Давайте рассмотрим каждый из перечисленных выше методов более подробно.

Производство электронных изделий начинается с приемки компонентов на склад. К сожалению, с появлением дешевых лазерных принтеров и принтеров этикеток документы утратили свою силу (**рисунок 4**).

Напечатать можно любой документ, в том числе и о военной приемке. Для защиты от такого рода специалистов по копированию необходимо модернизировать процесс оценки сопроводительной документации и внедрять ИТ-технологии.

При проведении контроля внешнего вида (методом оптической инспекции) можно выявить огромное количе-

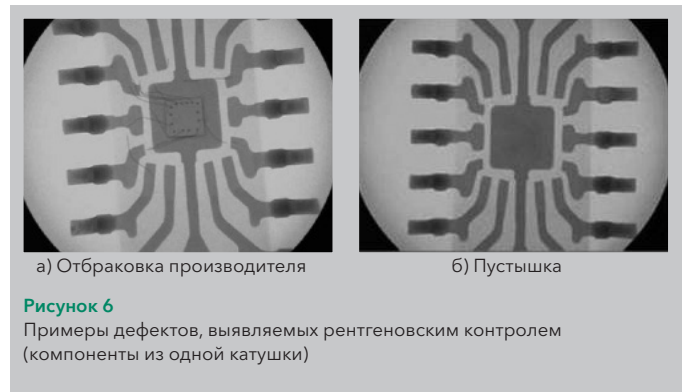


ство несоответствий (**рисунок 5**). Например, организовав рабочее место, в которое входят измерительный микроскоп с возможностью сохранения фотографий, компьютер и набор из реактивов, вы сможете выявлять перемаркированные компоненты, проверять геометрические размеры корпуса. Рентгеновский и акустический контроль позволяет «заглянуть» внутрь компонентов, не разрушая их. При этом рентгеновскую инспекцию можно также использовать для компонентов в упаковке. Выше были описаны способы борьбы с подделками, но есть и такой вид контрафакта, как отбраковка производителя. Это является одним из самых сложных и опасных видов контрафакта. Покупая компоненты у производителя N, вы доверяете его системе качества. Производитель, проведя выходной контроль продукции, отправляет несоответствующие компоненты на утилизацию. Как правило, этим занимаются сторонние компании, и производитель не всегда может проконтролировать данный процесс и узнать, куда же ушли компоненты. Для их входного контроля применяется электрическое тестирование с воздействием температуры. Таким способом проверяются статические и динамические параметры компонента не только в нормальных условиях, но и при заданных температурных диапазонах.

Электрические методы тестирования весьма разнообразны и постоянно совершенствуются. Один из наиболее прогрессивных методов недавно опробовали в Остек. При внедрении установок электрического контроля SPEA 40xx (**рисунок 10**) на отечественных производствах было замечено, что если в тестовой программе применялась методика NZT (измерения узловых импедансов) не только для поиска коротких замыканий, но и для выявления всех возможных отличий от «золотой платы», то при замене компонентов на аналоги (например, микросхемы от другого производителя) в финальном протоколе тестирования фиксируется большое количество несоответствий.

Анализируя данное обстоятельство, наши инженеры пришли к выводу, что разница в значениях ёмкости относительно «земли» и падения напряжения на защитных диодах объясняется тем, что каждый производитель использует свою собственную технологию производства и топологию кристалла. Появилась гипотеза, что каждый производитель имеет свой «технологический почерк».

Для проверки гипотезы решили провести тестирование одинаковых микросхем разных производителей.



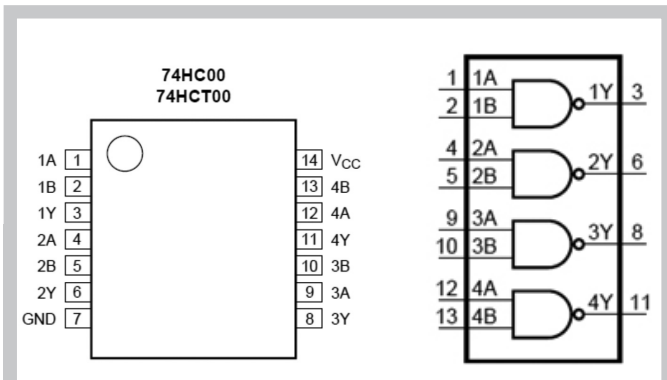


Рисунок 11
Функциональная диаграмма микросхемы 74HC00

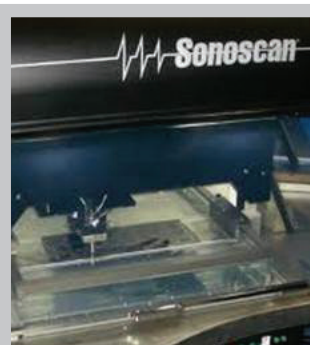


Рисунок 9
Установка акустического контроля



Рисунок 10
Установка Spea с «летающими» пробниками

В работе использовалась микросхема 74HC00 (**рисунок 11**) следующих производителей: ST Microelectronics, NXP, Texas Instruments и микросхемы неизвестного производителя, купленной на Митинском радиорынке в Москве. Примечателен тот факт, что митинские микросхемы имели логотип, похожий на логотип компании Philips. Компоненты были размещены в ряд по пять микросхем каждого производителя (таблица 1). Измерения проводились на установке с «летающими» пробниками 4060 производства компании SPEA S.p.A., которая оснащена модулем NZT (измерение узловых импедансов). По результатам тестирования были построены графики распределения значения ёмкости и падения на защитном диоде по каждому выводу в ПО MS Excel 2010. Некоторые из графиков приведены на **рисунке 12**.

Из графиков отчетливо видно, что распределения измеряемых параметров повторяются с высокой точностью для каждого из производителей. Однако встает вопрос: «Какое значение является верным при условии, что все микросхемы исправны?» Ответ может быть только один – если в партии микросхем параметры повторяются, то компоненты были изготовлены производителем N. Вы, конечно, возразите: «Кто же является истинным изготовителем: NXP или Texas Instrument (с изменённой маркировкой)?» Здесь тоже все просто – необходимо заказать у производителя несколько компонентов на схемотехническое опробование. Поверьте, производители будут только «за» и охотно отправят вам несколько компонентов (у них для таких целей предусмотрены бюджеты). Получив компоненты от производителя, проведите измерения, сохраните результаты в памяти компьютера и при необходимости вы всегда сможете использовать эту программу для проверки вновь поступивших компонентов.

Таблица 1
Микросхемы, используемые в эксперименте

Производитель	ST Microelectronics	NXP	Texas Instrument	Неизвестный производитель
Номер	1 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 20

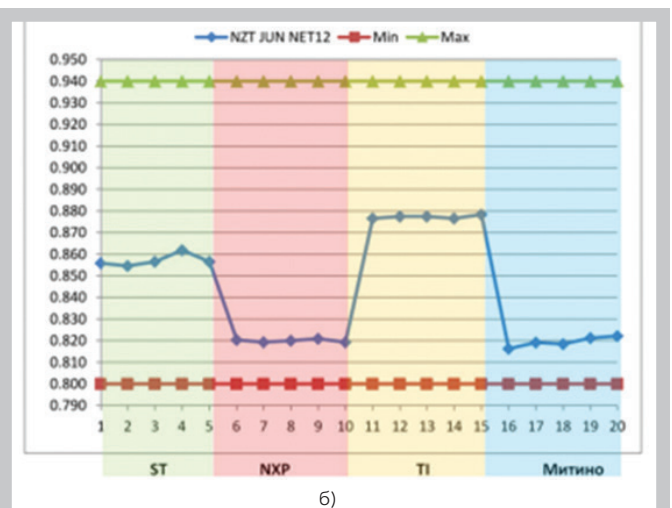
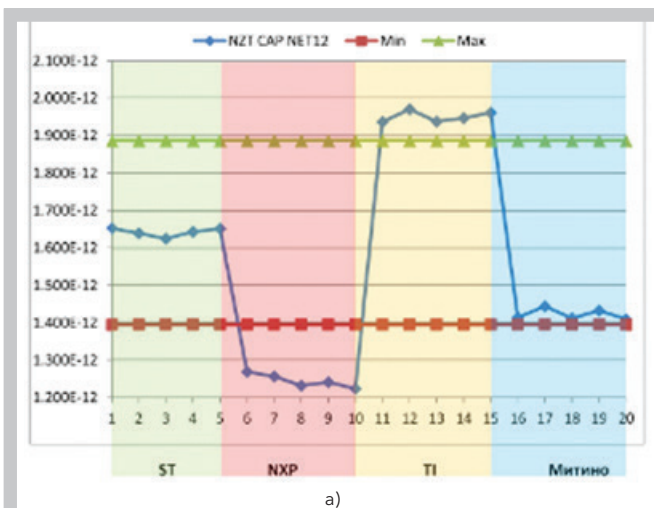


Рисунок 11
График зависимости: а) ёмкости относительно «земли» б) падения напряжения на защитных диодах

Безусловно, не стоит брать и проверять все ЭРИ, которые вы получаете. Компоненты, у которых количество выводов <16, можно проверить на этапе внутрисхемного контроля. И не забывайте, что проводя внутрисхемный контроль, вы контролируете компоненты после всех технологических операций, что дает комплексную оценку качества печатного узла. Мы уже не раз сталкивались с ситуациями, когда после операции пайки керамические конденсаторы и индуктивности начинали либо растрескиваться, либо терять номинал, а на PN переходах изменялось падение напряжения.

Постоянные обсуждения на международных форумах по электронике и широкий набор разнообразных способов выявления контрафакта лишней раз подтверждает, что проблема является общемировой и решать ее необходимо сообща. Мировые производители объединяются в рабочие группы и создают базы данных, в которых реги-

стрируют случаи выявления контрафактных компонентов, создают реестры недобросовестных поставщиков, пишут методики входного контроля и проводят совместное наполнение баз.

К сожалению, в России пока каждый борется в одиночку. Описанные в статье технические способы борьбы с контрафактом и организационные меры были представлены обзорно, но являются важными и эффективными. Как и в любом системном вопросе делать упор только на один из подходов неразумно, необходима комплексная оценка рисков и характерных признаков контрафактных компонентов, попадающих на предприятие.

В следующих статьях мы расскажем об опыте мировых производителей по организации входного контроля, регламентированию процесса закупок и квалификации поставщиков.

Использование JTAG-тестирования и программирования на производстве

Алексей Иванов

Тема этой статьи – применение периферийного сканирования на производстве. Казалось бы – чего тут писать, бери и применяй. Но, как выясняется, тема эта обширна и несправедливо обижена вниманием. По разным причинам. Одна из них – это то, что в статьях и на семинарах речь всегда начинается с того, как работает периферийное сканирование, как происходит тестирование и как разрабатывать тесты. На все это уходит столько энергии, что про применение JTAG-технологий обычно говорится пара слов. Вторая причина в том, что производство электроники в России развивается! И несколько лет назад никого не интересовала автоматизация запуска тестов, интеграция ИСТ-теста и периферийного сканирования на одном рабочем месте и прочее. А теперь многие предприятия интересуются этими вещами: возросла серийность и, одновременно, опыт, который неизменно приводит к культуре производства.

Вариант 1. Автономная станция

Если ваша продукция не является крупносерийной, то вас может вполне устроить автономная станция периферийного сканирования. Это – отдельный ПК с установленным ПО для запуска тестов и приложений для программирования, плюс контроллер периферийного сканирования с дополнительными модулями, которые нужны для тестирования внешних цифровых и аналоговых разъемов. Автономная станция – самый логичный вариант, не требующий трудовых и денежных затрат на интеграцию в другие установки, создание для этого оснастки и пр. Поэтому большинство предприятий, использующих периферийное сканирование в России, применяют для производственного тестирования либо автономную станцию, либо станцию с ПО для разработки тестов. (Такое ПО обычно содержит встроенный секвенсор для запуска тестов и операций программирования.)

Что же представляет собой автономная станция в программном плане? Начнем с того, что, как многие читатели уже знают, существует ПО для разработки (или, точнее, генерации) тестов и приложений для программирования флэш и ПЛИС. У JTAG Technologies – это пакет ProVision. Принцип работы всем известен: конвертируется схема

тика тестируемой платы из САПР и при необходимости BOM. Затем подключается библиотека моделей компонентов (от резисторов до логики и памяти) и компонентам схемотехники придается функциональность. Благодаря этому, система ProVision «знает» всю информацию о тестируемом изделии: связи всех пинов (паяных соединений, если угодно), информацию о связующей логике (какие резисторы являются подтягивающими, какие – проходными, как сигнал меняется, проходя через логику, и т. д.).

Используя эти свои «знания», система проектирования генерирует приложения для тестирования и программирования. Их много, так как для каждой отдельной микросхемы ОЗУ, ПЗУ, логики и прочего генерируется отдельное приложение. В результате получаются разрозненные приложения, которые можно запускать по отдельности. Но это хорошо для отладки сгенерированных тестов, когда один и тот же тест нужно запустить несколько раз, проверяя, не возникают ли ошибки, подстраивая частоту ТСК.

Когда же нам нужно выполнить основную задачу периферийного сканирования, а именно провести тотальный тест изделия и программирование всех его компонентов нажатием одной кнопки, нужно сформировать из всех созданных ранее приложений так называемую тестовую последовательность. JTAG ProVision содержит встроен-

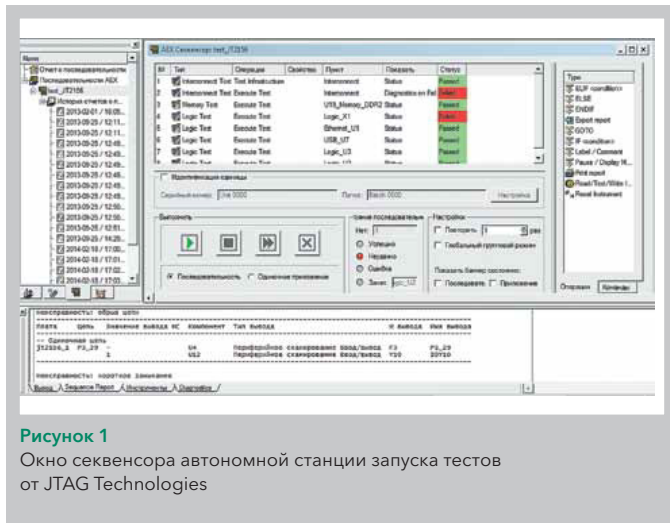


Рисунок 1
Окно секвенсора автономной станции запуска тестов от JTAG Technologies

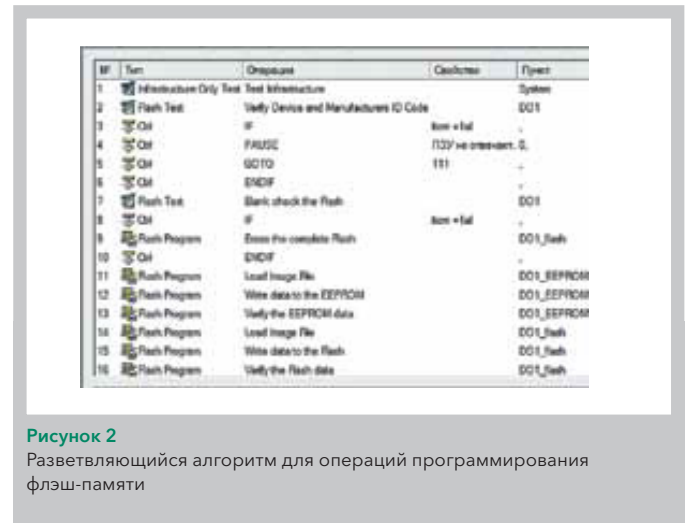


Рисунок 2
Разветвляющийся алгоритм для операций программирования флэш-памяти

ный секвенсор для создания таких последовательностей. То есть скомпоновать приложения можно еще на станции разработки тестов. Производственное же программное обеспечение, которое называется ProVition Platform, представляет собой подобие JTAG ProVition, где из функций есть только вышеупомянутый секвенсор.

На **рисунке 1** показано окно секвенсора, которое пользователь видит, используя для «прогона» тестов и приложений для программирования станцию разработки ProVition или автономную производственную систему.

Разберем интерфейс более подробно: это поможет нам понять возможности станции периферийного сканирования на производстве. На рисунке можно видеть саму последовательность и кнопки запуска, паузы, продолжения и отмены выполнения. Первичный статус с цветовой индикацией (зеленый/красный) показывается в самой последовательности. Но при наличии конкретных дефектов этого недостаточно. Поэтому для каждого из приложений можно выбрать опцию: показывать результаты диагностики в итоговом отчете. Итоговый отчет формируется в реальном времени в процессе тестирования и программирования платы, фрагмент его можно увидеть в нижней части **рисунка 1**. Такой отчет формируется каждый раз при запуске последовательности, и при желании можно посмотреть архив, который сохраняется в определенных папках. Также отчеты о тестировании можно открыть прямо в программе: их видно в левой части **рисунка 1**.

В правой части **рисунка 1** можно увидеть интересные объекты: IF, GOTO, label, pause и др. Эти элементы можно использовать при создании последовательностей. Судя по названиям элементов, из них можно, например, сделать ветвящийся алгоритм прохождения операций. Приведем пример, когда это может потребоваться. Предположим, что мы тестируем изделие, и после определенных тестов требуется также осуществить операции программирования. Но на стенд тестирования могут попадать платы как с пустыми микросхемами флэш-памяти, так и с уже прошитыми (возможно, на повторную проверку после ремонта или эксплуатации). Так как большинство изделий поступает с «чистыми» ПЗУ, то нет смысла у каждого изделия предварительно стирать флэш. Чтобы у уже прошитых изделий обнулялось содержимое памяти, можно постро-

ить разветвляющийся алгоритм.

Сначала в последовательности пойдет проверка ПЗУ на отсутствие записанных данных. Если в ПЗУ есть записанные данные, то следующий шаг – операция стирания содержимого микросхемы. Если флэш окажется «чистой», то алгоритм «перепрыгнет» через операцию стирания, что сэкономит нам время. Пример алгоритма, где реализованы действия, похожие на те, что описаны выше, показан на **рисунке 2**.

С помощью элементов из правой части экрана можно создавать и всплывающие информационные окна для оператора. Например, если очередь дошла до приложения, которое зажигает несколько светодиодов, работу которых нужно проверить визуально, перед этим приложением в последовательности можно запустить предупреждение об этом. Иначе оператор может забыть посмотреть на светодиоды. Задачи такого типа решаются с помощью функции Pause/Display Message.

В панели управления сразу под самой последовательностью (**рисунк 1**) есть окно, в которое можно при необходимости вводить серийный номер тестируемой платы. Этот серийный номер затем будет отражаться в html-отчете с описанием дефектов.

Также можно использовать командную строку (вкладка «Команды» в правой части экрана на **рисунке 1**), что дает, по сути, возможность запускать в тестовой последовательности любые внешние приложения, не связанные с JTAG ProVition. Например, может возникнуть необходимость включить какой-то дополнительный прибор (скажем, источник питания).

Вариант 2. Интеграция в функциональные тестеры

Прежде всего, давайте разберемся, что же мы будем подразумевать под функциональными тестерами. Понятие это очень емкое. Функциональными тестерами можно назвать специализированную оснастку, стенды и ПО, созданные предприятием для какого-то конкретного изделия. Можно назвать функциональным тестером и стойку, например 19-дюймовую, в которую входят разнообразные покупные приборы, работа которых во время проверки изделия контролируется каким-то общим ПО.



Это ПО создается либо силами предприятия с помощью общеизвестных сред программирования (например, C++, Visual Basic и т. п.), либо используется готовый программный продукт типа LabVIEW, TestStand и им подобные.

Существуют в промышленности и универсальные платформы функционального теста, например на базе шасси PXI. Многие компании выпускают под одной маркой множество видов измерительных модулей PXI, из которых, как из конструктора, можно собрать любой функциональный тестер.

В развитых в технологическом плане странах практикуется и другой подход к созданию функциональных тестеров. Существуют компании, специализирующиеся на построении тестовых комплексов для конкретных изделий. Обычно такая фирма изучает требования заказчика, комплектует стойку всем необходимым оборудованием и пишет ПО для прогона всех проверок, создает контактные приспособления.

А вообще, функциональный тест, если его описывать в других категориях, – это проверка работоспособности изделия и выполнения заданных функций, а также обеспечения заявленных в документации на изделие характеристик. И каким бы подробным не оказался функциональный тест, он не указывает на дефекты (их местоположение, тип и т. п.). Для этого предназначен другой тип контроля – структурный тест, к которому относится внутрисхемное тестирование и периферийное сканирование. Именно это является основной причиной желая интеграции функциональных тестеров и периферийного сканирования. Структурный тест необходим, но не всегда бывает удобно организовывать для него отдельное рабочее место и операции, особенно если производство – крупносерийное. Но, как следует из предыдущих абзацев, различия в самих функциональных тестерах делают различными и механизмы интеграции для каждого конкретного случая.

Предположим, что наши приложения, как для тестирования, так и программирования, разработаны и отлажены в среде JTAG ProVision. Помимо запуска их с помощью автономной станции, как было показано в начале статьи, существует множество других вариантов.

Самый простой пример, это если у вас на производстве для функционального контроля используется оборудова-

ние National Instruments. Компания JTAG Technologies создала пакеты интеграции JTAG-тестов в программное обеспечение LabView и TestStand. Нужно отметить, что это не просто драйверы работы JTAG-контроллера под управлением данного ПО, а наборы библиотек, позволяющих использовать процедуры, разработанные в JTAG ProVision, и результаты их выполнения в общих алгоритмах функционального тестирования. При установке на компьютер пакета интеграции устанавливаются и наборы виртуальных инструментов (VI, Virtual Instruments). С помощью этих виртуальных инструментов пользователь имеет возможность из LabView контролировать установки контроллера периферийного сканирования (напряжения, частоты ТСК и т. д.), выполнять в этой среде тесты, приложения для программирования флэш и ПЛИС, обрабатывать и выводить результаты тестирования и диагностические сообщения о местоположении дефектов.

Что это дает? Очевидно, что используя, скажем, LabView в более широких целях, мы имеем возможность создать одну тестовую программу, управляющую целым комплексом, который может состоять из различного оборудования, начиная от анализатора цепей и заканчивая контроллером периферийного сканирования. Поэтому для тестируемого изделия можно провести весь необходимый арсенал проверок: от измерения КСВН радиочасти до тестирования цифровой части и программирования флэш-памяти.

Аналогичным образом работает и интеграция в другие программные средства. Существуют драйверы для работы приложений ProVision в программах, написанных на C++ и Visual Basic, в TestStand от National Instruments и других средах.

Многие наверняка обратили внимание на то, что контроллеры периферийного сканирования часто выпускаются в виде карт PXI и PXIe (**рисунок 3б**). Очевидно, что делается это для того, чтобы использовать их в составе функциональных тестеров на базе PXI-шасси. Однако это не означает, что интеграция приложений периферийного сканирования в LabView или TestStand будет работать только с такими контроллерами. Эти программы могут работать с любыми контроллерами, в том числе и с теми, что используются в автономной станции (например, настольными).



Рисунок 4
Контроллер JT37x7/RMI

Выбор контроллера, используемого при интеграции, зависит от многих факторов. Но здесь можно учесть некоторые моменты. Даже если у вас применяется шасси с приборами PXI для функционального тестирования, и вы задумываетесь о запуске тестов ProVision в LabView или TestStand, то JTAG-контроллер PXI – хотя и элегантное, но не всегда лучшее решение. Недостаток такого решения в том, что вы остаетесь «привязаны» к стойке. Если выбрать аналогичный контроллер, но в настольном исполнении (**рисунок 3а**), то вы сможете использовать его, и подключив к стойке PXI, и вместе с обычным ПК, где установлен JTAG ProVision. А вот контроллер в форм-факторе PXI будет трудно подключить к любому ПК.

А если, к примеру, шасси PXI монтируется в 19-дюймовую стойку, то самым логичным вариантом будет использование контроллера JT37x7/RMI (**рисунок 4**), имеющего высоту 1U. Преимущество же контроллера в формате PXI – это удобное решение для мобильных станций диагностики, где не очень удобно носить с места на место (или даже к заказчику) несколько отдельных приборов.

Пакеты интеграции тестов и приложений для программирования в функциональные тестеры обозначаются общей аббревиатурой PIP (Production Integration Packages). Они представляют собой программные пакеты, содержащие драйверы, утилиты или виртуальные инструменты. Для этих пакетов отсутствуют аппаратные средства интеграции, как для ICT-тестеров или установок с «летающими» щупами, где JTAG-сигналы нужно проводить еще и через сами тестеры.

Еще один совет. Не следует гадать, что же выбрать: интеграцию в функциональный тестер или отдельную, автономную станцию для запуска приложений периферийного сканирования? Задача интеграции, что называется, сама вас «найдет». Обычно интеграция – это необходимость, которую диктуют условия производства. Если такой задачи не стоит, то смело выбирайте автономную станцию.

Интеграция периферийного сканирования во внутрисхемный тест (ICT и Flying Probe)

Под внутрисхемным тестом понимается вид структурного исследования собранных печатных плат с применением физического контакта тестовых пробников с

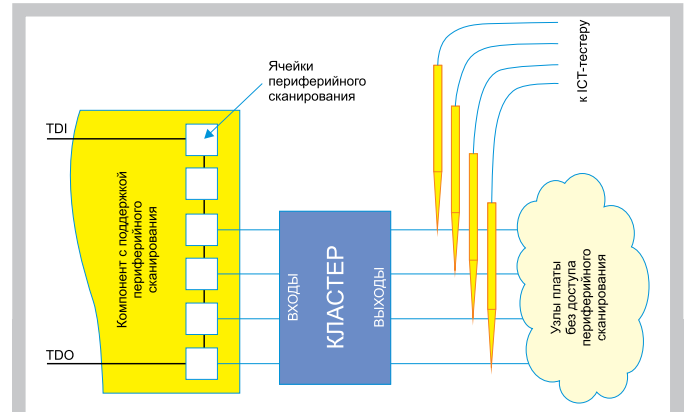
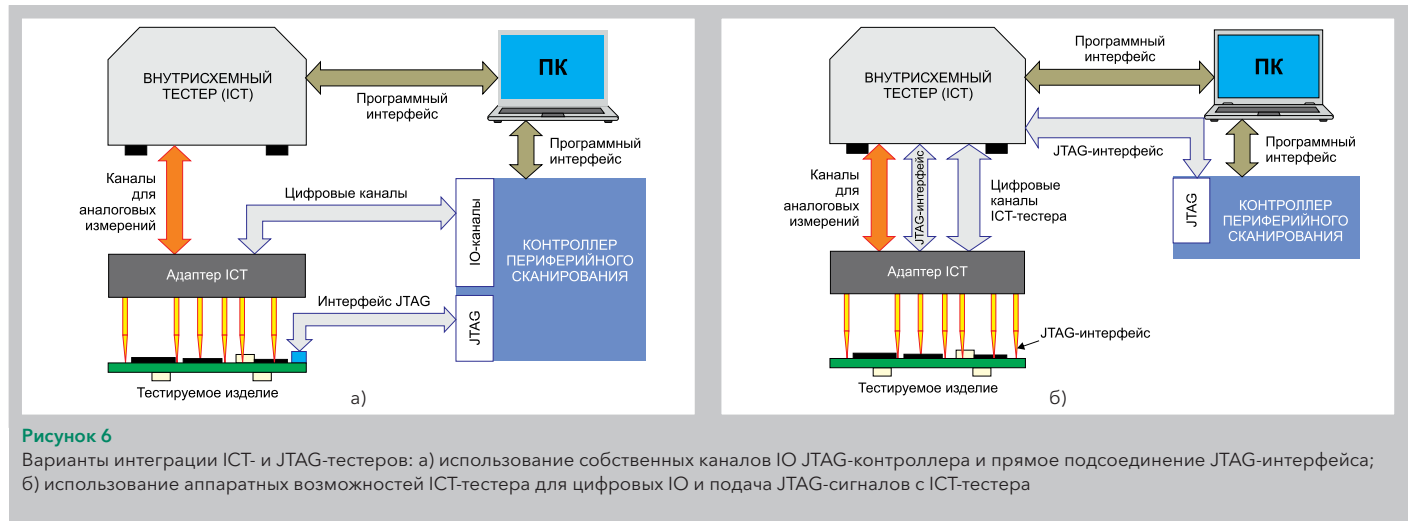


Рисунок 5
Чтобы протестировать некоторые логические микросхемы, требуется тестовый доступ ко всем их портам

проводниками платы. Это общий принцип. Далее внутрисхемный тест подразделяется на два вида: адаптерные системы со стационарным полем пробников (адаптером) и системы с «летающими» пробниками. Хотя это и не совсем корректно, исторически так сложилось, что именно тестеры с адаптером называются аббревиатурой ICT, хотя «ICT» расшифровывается как «In-Circuit Test», то есть «внутрисхемный тест», к которому можно отнести и системы с «летающими» пробниками. Мы не станем отходить от данной традиции и будем именовать адаптерные системы ICT-тестерами, а установки с «летающими» пробниками – «Flying Probe».

Принципиальная разница внутрисхемного теста и периферийного сканирования заключается в том, что первый требует контакта измерительного пробника с проводниками изделия (выводами компонентов, площадками, проводниками и т. д.), а второе представляет собой метод, использующий встроенную JTAG-логику установленных на плату микросхем. Таким образом, периферийное сканирование не нуждается в контакте пробников с платой. Необходимо только JTAG-интерфейс, состоящий максимум из пяти сигналов и чаще всего выведенный на внешний разъем платы. В современных цифровых изделиях данное свойство очень востребовано, так как при наличии процессоров, ПЛИС, памяти и прочих сложных ИМС доступ посредством электрического контакта ко всем цепям невозможен. Эти цепи спрятаны в слоях платы, под корпусами BGA и другими компонентами. Вот почему на сегодня технология периферийного сканирования очень востребована. А некоторые цепи, даже если они лежат на поверхности, просто не допускают организации контактных площадок: например, шины динамической памяти, где любое изменение топологии грозит нарушением высокочастотных характеристик работы ОЗУ. Предположим, что SDRAM даже имеет корпус типа TSOP и к выводам можно осуществить контактирование с помощью «летающего» пробника, не организовав контактных площадок. Но если процессор или ПЛИС, к которому подключена память, имеет корпус BGA, то как в таком случае протестировать целостность проводников от ножки процессора/ПЛИС до SDRAM? Внутрисхемный тест здесь позволит лишь проконтролировать отсутствие КЗ. А если и ИМС памяти име-



ет корпус BGA, то шансов у внутрисхемного теста нет. И здесь на помощь приходит периферийное сканирование.

В то же время случается так, что к некоторым участкам платы доступ периферийного сканирования отсутствует (например, к аналоговым). И тогда поможет именно внутрисхемный тест. Бывает и так, что, скажем, к JTAG-компоненту подключена микросхема «кластера», а доступ регистра периферийного сканирования есть не ко всем выводам этого «кластера», что делает невозможным его тестирование (рисунок 5). Предположим, имеется только доступ к входам логического элемента, а выходы подключены к узлам платы, где периферийное сканирование неприменимо, – иными словами, ответ кластера нечем принять. Если обеспечить к выходам кластера доступ пробников ICT-тестера или Flying Probe, то проблема тестирования решается. Узлами без доступа периферийного сканирования могут являться самые разные компоненты: дешевый китайский процессор, не соответствующий IEEE 1149.1, компонент, у которого JTAG-интерфейс не выведен на внешние цепи, аналоговое устройство и т. д.

Иногда не соблюдаются правила тестопригодной разработки, и память типа SDRAM, подключенная к JTAG-компоненту, имеет все связи с этим компонентом за исключением сигнала синхронизации. Предположим, такой сигнал приходит с неуправляемого, отдельно установленного на плату кварцевого генератора. Для того чтобы тестировать данную микросхему памяти при помощи JTAG, необходимо обеспечить доступ к цепи синхросигнала вывода любого компонента, поддерживающего периферийное сканирование. Или же для подачи недостающего сигнала использовать пробник внутрисхемного тестера, что, по сути, уже будет означать интеграцию двух методов тестирования.

Существует и масса других примеров, когда требуется одновременное применение внутрисхемного теста и периферийного сканирования, но мы не будем перегружать статью. Факт остается фактом: часто, особенно при серийном производстве (не говоря уж о крупносерийном), возникает потребность интегрированного решения. Щупы тестера могут использоваться для приема или генерации тестовых сигналов, а порой для подключения к JTAG-интерфейсу установленных на тестируемом изделии микро-

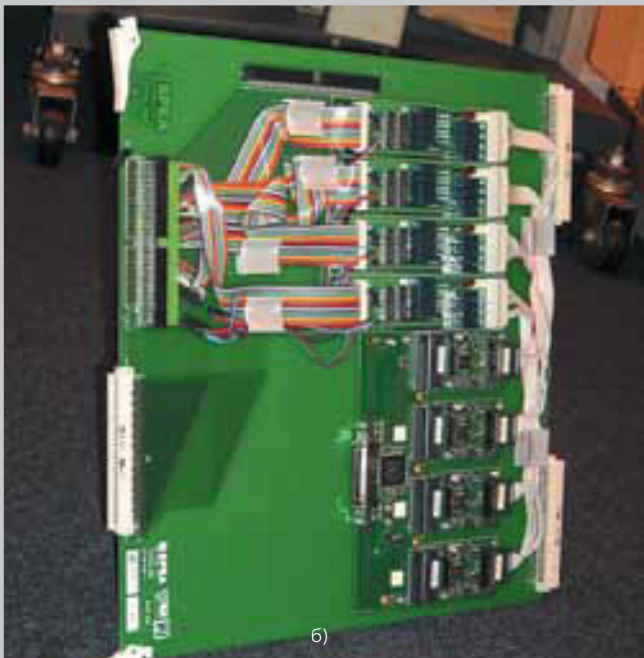
схем (в случае, когда отсутствует JTAG-разъем, есть только площадки). Отметим лишь, что задачи всегда возникают разные и одна не похожа на другую.

Как же реализовать подобную интеграцию? С механической точки зрения все ясно. Подпружиненные пробники в отдельности, адаптеры, установки с «летающими щупами» и просто роботизированные зонды – все это сейчас можно закупить. Интересна электрическая и программная части интеграции. Для того чтобы разобраться в механизмах, взглянем на рисунок 6. К примеру, мы заставляем JTAG-микросхему выдавать цифровые тестовые сигналы со своих ножек с помощью периферийного сканирования, а физически принимаем данные сигналы с помощью пробников. При этом существует несколько вариантов, куда принятые с пробников сигналы пойдут дальше. Так, контроллер периферийного сканирования может иметь свои собственные цифровые тестовые каналы, тогда сигналы с пробников могут быть направлены непосредственно на них. На рисунке 6а показан вариант интеграции, при котором JTAG-интерфейс контроллера подключается напрямую (с помощью шлейфа) к тестируемому изделию, пробники для тестирования цифровых цепей подсоединены к IO-каналам того же самого контроллера. Тестер ICT электрически применяется только для тестирования аналоговых цепей (если таковые имеются), присутствующих на тестируемом изделии, причем используется один общий адаптер. Это электрически довольно простой способ интеграции, поскольку понадобится лишь проводная оснастка, подводящая сигналы контроллера периферийного сканирования к адаптеру.

На рисунке 6б показан другой вариант, предполагающий отсутствие разъема JTAG на тестируемом изделии, а также отсутствие собственных каналов IO в контроллере периферийного сканирования. Поэтому JTAG-интерфейс контроллера подается непосредственно на иголки адаптера. Более того, на рисунке он проходит через ICT-тестер, хотя не исключен вариант прямой подачи. Однако следует помнить, что TAP-сигналы (JTAG-интерфейса) чувствительны к разного рода помехам и не слишком хорошо сохраняют целостность на длинных линиях с большим количеством стыковок, вот почему производители оборудования для периферийного сканирования очень ча-



а)



б)

Рисунок 7
Трансивер QuadPod: а) настольный вариант исполнения;
б) в форм-факторе инструментальной карты для SPEA 3030

сто делают модификации контроллеров, которые можно аппаратно интегрировать в наиболее популярные ICT-тестеры, системы Flying Probe и роботизированные пробы. Возьмем, в частности, контроллер JT37x7/TSI. Он состоит из двух частей: самого контроллера и отдельного трансивера JTAG-сигналов QuadPod, расположенного уже на минимальном расстоянии к тестируемому изделию. Трансивер имеет четыре синхронных JTAG-порта. На **рисунке 7** показаны два варианта исполнения трансивера QuadPod: обычный настольный вариант и его модификация в виде инструментальной карты для установки ICT-теста SPEA 3030. Сигналы JTAG-интерфейса (4 канала) генерируются непосредственно с такой карты, установленной в тестер, и идут на тестируемую плату через пробники адаптера. Можно заметить, что в варианте, предназначенном для

интеграции, значительно больше электронной начинки, чем могло бы поместиться в вариант «а». Дело в том, что в инструментальную карту на фотографии добавлены изоляторы TAP-портов для гальванической развязки тестера ICT и контроллера периферийного сканирования.

Вернемся к **рисунку 6б**. Можно заметить, что в построенной архитектуре не используются каналы IO контроллера периферийного сканирования (который не обязательно их содержит). Для того чтобы снимать цифровые тестовые данные, используется начинка ICT-тестера. Это вносит определенные сложности. Если тест-инженер хочет, чтобы ИМС с поддержкой сканирования выставляли тестовые данные на цепи платы, а пробники ICT «принимали» их (или наоборот), то здесь уже потребуются синхронная работа обоих тестеров. А это делает необходимой еще и программную интеграцию. Ведь и то и другое должно работать синхронно. Для решений подобного рода задач производителями как средств периферийного сканирования, так и внутрисхемных тестеров предлагаются различные программно-аппаратные пакеты интеграции. Результатом, как правило, является запуск всех тестов (цифровых и аналоговых) из программной оболочки ICT-тестера или машины Flying Probe. Причем первоначальная разработка тестов периферийного сканирования ведется как обычно – в среде, предназначенной для этого, например в JTAG ProVision. При создании тестов учитывается и то, что для тех или иных сигналов будет применен внутрисхемный тестер, для этого нужно импортировать в ProVision некоторые дополнительные файлы, относящиеся к архитектуре задействованного тестера. Затем, по аналогии с интеграцией в функциональный тест (см. первую часть статьи в предыдущем номере), используются драйверы из программного пакета интеграции, позволяющие запускать тесты периферийного сканирования из ПО внутрисхемного тестера.

Архитектура тестовой системы, конечно же, не обязательно должна повторять варианты, представленные на **рисунке 7**. Данные варианты показаны как примеры. В реальности все будет зависеть от изделия, типа тестеров, оснастки и других факторов. Порой бывает, что из всего оборудования нужны только JTAG-контроллер и игольчатый адаптер, так как необходимость интеграции вызвана лишь отсутствием доступа периферийного сканирования к определенным цифровым цепям. Если станция периферийного сканирования оснащена IO-модулями, то сигналы от этих модулей можно подать напрямую на адаптер.

Дополнительные возможности систем периферийного сканирования

Впрочем, даже потребность дополнить систему периферийного сканирования некоторыми аналоговыми измерениями не всегда будет предполагать включение в общую архитектуру внутрисхемного тестера. К примеру, у нас есть тестируемое изделие, подавляющая часть узлов которого цифровая. Но для законченного тестового решения необходимо измерить, скажем, напряжение в нескольких точках платы (будь то тестовые площадки или выводы разъемов). В этой связи не всегда удобно покупать дополнительный тестер ICT. Для решения данной про-

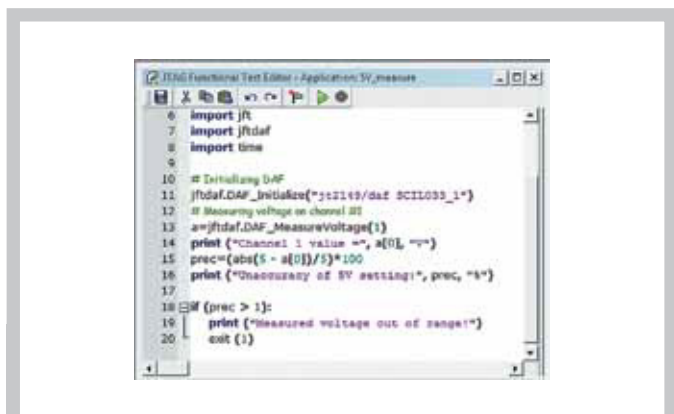


Рисунок 8
Пример скрипта для измерения напряжения 5 В на тестируемой плате

блемы в системы периферийного сканирования сейчас часто встраивают не только цифровые тестовые каналы, но и аналоговые. Примером может послужить опять-таки контроллер JT37x7 с трансивером QuadPod. Каждый из четырех JTAG-портов трансивера может быть отсоединен и заменен на аналоговый измерительный модуль JT2149/DAF, позволяющий тестировать напряжения до 32 В и частоты до 128 МГц.

Если аналоговые сигналы, которые нужно измерить/проконтролировать, выходят на внешние разъемы, то задача предельно проста: изготавливается кабельная оснастка, которая наряду с JTAG-интерфейсом подключается к тестируемому изделию. Если требуется протестировать напряжения и частоты на контактных точках, то каналы модуля JT2149/DAF можно подключить к плате с помощью игольчатого адаптера, как покупного, так и самодельного. Сегодня на рынке предлагаются подпружиненные пробники отдельно, в наборе с заготовкой адаптера или готовые адаптеры на заказ. На **рисунке 8** представлен рабочий скрипт в JTAG ProVision, проверяющий наличие напряжения 5 В на разъеме тестируемой платы с помощью модуля JT2149/DAF. Также скрипт проверяет, что напряжение укладывается в требуемый диапазон. В переменную «а» записывается значение напряжения на первом из двенадцати каналов измерительного модуля. В дальнейшей работе данный скрипт в виде цельного приложения включается в общую тестовую последовательность, а флаг exit (1) позволит получить статус «не прошел» в итоговом отчете по плате.

А вот если помимо тестирования цифровой части необходим более тщательный контроль аналоговой составляющей, например измерение номиналов конденсаторов и резисторов, проверка КЗ в аналоговых цепях и т. д., то следует все же рассмотреть интеграцию периферийного сканирования с полноценным внутрисхемным тестером. Контроллером периферийного сканирования в комплексе с игольчатым адаптером в таком случае уже не обойтись.

Справедливости ради следует еще раз отметить, что не нужно заниматься «интеграцией ради интеграции». Вполне жизнеспособно и решение в виде отдельной автономной системы периферийного сканирования и отдель-

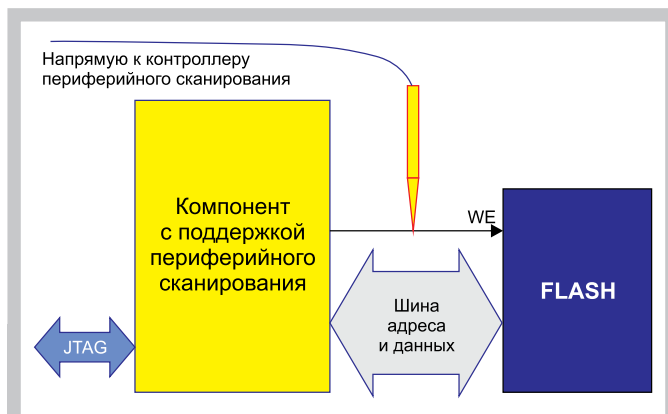


Рисунок 9
Прямой доступ к сигналу WriteEnable микросхем флеш-памяти ускорит их программирование с помощью периферийного сканирования в разы

ного ICT-тестера или установки Flying Probe, в особенности в отечественной электронной отрасли, где чаще всего изделия являются штучными и сложными. Интегрированные решения в условиях небольших серий могут быть полезны в том случае, когда для обеспечения проверки жизненно важных узлов нужна, скажем, синхронная работа ICT и периферийного сканирования: когда JTAG-микросхема может выставлять на своих ножках тестовые векторы, а принять их нечем. Или когда тестирование какого-либо кластера требует дополнительных сигналов, которые по тем или иным причинам нельзя получить с выводов JTAG-компонентов, используя периферийное сканирование. Если более подробно изучить правила тестопригодной разработки, можно также увидеть, что прямой (не через выводы JTAG-компонентов) доступ к некоторым сигналам микросхем флеш-памяти (**рисунке 5**) в разы ускоряет скорость их программирования, что является важным фактором при любом производстве – мелко- или крупносерийном. Такой прямой доступ организуют с помощью игольчатых пробников ICT-адаптера или «летающего щупа». Конечно, можно и вывести требуемый сигнал на разъем, к которому подключается JTAG-контроллер, но это не всегда выполнимо, а у изделий бывает статус, не подлежащий изменениям.

Кроме того, интеграция внутрисхемных и JTAG-тестеров полезна при крупносерийном производстве. При больших сериях важную роль играет исключение человеческого фактора при проверках, время тестирования и программирования и количество выполняемых операций.

Если требуется одновременно и внутрисхемный тест, и периферийное сканирование, то порой бывает выгодно совместить оба метода в одной установке, что позволит избежать перемещения тестируемых плат, использовать одну программную оболочку для запуска тестов и, как следствие, сократить количество операций.

Добавим также, что в статье речь в основном шла о внутрисхемных тестерах адаптерного типа. Но установки Flying Probe используют при тестировании плат тот же принцип, просто щупы там – подвижные.

Поэтому физически принцип интеграции в такие тестеры не отличается, разнятся только технические детали.

Эволюция подходов к организации контроля жгутов

Антон Шейхо

Увеличение объема гособоронзаказа потребовало проведения автоматизации процессов производства изделий, содержащих проводной монтаж.

Под проводным монтажом подразумеваются жгуты, кросс-платы со связями, выполненными проводами, а также шкафы управления.

На предприятиях стандартно используются следующие типы проверок монтажа:

- проверка соответствия электрической схеме («прозвонка»);
- измерение сопротивления изоляции;
- испытание диэлектрической прочности.

Контроль жгутов проходит в три этапа: до заливки, после заливки и после климатических испытаний; или на рабочем месте, перед ОТК и, наконец, перед ПЗ, т.е. работник выполняет одну и ту же проверку три раза! Чаще всего испытатель в качестве приборов использует мультиметр, мегомметр и пробойную установку.

Такой подход к испытанию имеет ряд недостатков:

- не исключен человеческий фактор – проверку выполняет оператор;
- низкий уровень определения дефектов схемы – методика дает высокий процент пропуска коротких замыканий, ложных цепей, т.к. проверка проводится по схеме ЭЗ и неиспользуемые контакты не проверяются;
- выдержка под напряжением при испытании прочности изоляции может выполняться с нарушением ТУ на изделие при срочности работы;
- пропуск скрытых дефектов – мультиметр фиксирует факт наличия связи, а для поиска некоторых дефектов требуется точное значение (например, холодная пайка или другое сечение проводника).

Еще в советский период были разработаны системы, которые проводили контроль жгутов после сборки: системы КУСТ, АСК, Лиана, СПК и т. д. Многие из них все еще эксплуатируются на предприятиях, хотя морально и физически давно устарели. Производители провели некоторую модернизацию этих систем, однако столкнулись с такими сложностями, как отсутствие современной отечественной элементной базы (в первую очередь, реле) и высокими издержками производства (в основном калькодержателями были предприятия, выпускающие специзделия). Эти факторы снижают привлекательность данных систем, особен-

но в сравнении с импортными аналогами, которые зачастую обладают лучшими техническими характеристиками и значительно дешевле.

Определенное признание на рынке получили системы, построенные на модульных приборах, они спроектированы в стандартах VXI, PXI и т. д.

Их успех базируется на следующих стереотипах:

- высокая гибкость модульных систем за счет возможности конфигурации из блоков разных производителей;
- широкие возможности программного обеспечения, которые можно дополнять собственными силами без обращения к производителю оборудования;
- низкая стоимость изменения конфигурации за счет создания виртуальных приборов под конкретную измерительную задачу;
- возможность получения любых характеристик системы и высокая плотность каналов.

Давайте разберемся, так ли это на самом деле. Использование модульных приборов определенного стандарта в теории позволяет не «подсесть» на одного производителя. Стандартами жестко регламентируются архитектура приборов, ЭМС и другие параметры, но написание драйверов и методики контроля выходных параметров у всех производителей разные, это делается сознательно для увеличения сложности интеграции.

На тематических конференциях по модульным приборам часто дискутируют о нюансах, связанных с интеграцией продуктов разных производителей. В настоящий момент производителями не преодолены ограничения стандартов по высокому напряжению и мощности, что не позволяет коммутировать высокие напряжения продолжительное время (в первую очередь, это вызвано высокой плотностью каналов).

Программное обеспечение любой универсальной архитектуры дает широкие возможности по подготовке программ. С одной стороны, это позволяет быстро переконфигурировать систему при изменении технических требований путем создания нужных виртуальных приборов, с другой стороны – требует высокой квалификации тестового инженера, и зачастую потребитель все равно обращается к производителю за помощью в подготовке программ контроля. Стоит учитывать и другой момент:



Рисунок 1
Варианты архитектуры исполнения систем. а) подключение на одном посту в одном месте, б) распределенное исполнение

«виртуальный» прибор – это большая метрологическая проблема! Любой метролог, который хоть раз работал с модульными системами, знает, сколько нервов и бумаги необходимо потратить, чтобы объяснить представителю заказчика «легальность» нового виртуального прибора, а в случае неуспеха все закончится повторным внесением в реестр «новой» конфигурации системы.

В то же время системы контроля жгутов спроектированы для конкретной задачи и дают возможность проводить испытания по действующим методам (прописанным в ГОСТах), их базового функционала достаточно для выполнения 95 % всех возникающих задач:

- коммутаторы таких систем спроектированы под высоковольтные задачи, что позволяет проверять цепи на напряжении до 5 кВ;
- открытая архитектура позволяет применять приборы из реестра СИ РФ, что упрощает метрологические процедуры;
- программное обеспечение написано под конкретную задачу испытания и позволяет реализовать все необходимые испытания;
- существует возможность построения распределенных систем – это актуально для крупногабаритных изделий; применение такой архитектуры позволяет снизить стоимость оснастки для подключения к изделию за счет снижения ее сложности.

Таблица 1
Типы дефектов и способы их обнаружения

Тип дефекта	Способ диагностики			
	Измерение омического сопротивления жилы	Проведение испытания диэлектрической прочности	Измерение сопротивления изоляции	Расширенные методики контроля
Короткие замыкания	+			
Ложные цепи	+	+	+	
Обрывы цепей	+			
Остатки флюса на изоляторе разъема		+	+	
Оплавление изоляции при пайке		+	+	
Другое сечение проводника	+			
Неправильный номинал компонента, встроенного в жгут				+
Перепутанные витые пары				+
Целостность экранирования				+
Перепутанная полярность PN переходов				+

Все вышеперечисленное свидетельствует о том, что для обеспечения тестирования изделий в промышленных условиях необходимо использовать специализированные системы.

Давайте более подробно рассмотрим, какие проверки могут проводить тестовые системы. Первая проверка – это проверка целостности цепей. В современных системах они выполняются путем измерения сопротивления и отбраковки в соответствии с установленным пределом. При измерении сопротивления проводника можно использовать две схемы измерения – двух- или четырехпроводную. В чем их отличие? При подключении двухпроводной схемы измеряется не только искомая величина $R_{\text{проводника}}$, но и паразитные сопротивления, обусловленные подключением:

$$R_{\text{измеренное}} = R_{\text{проводника}} + R_{\text{контакта}} + R_{\text{изм. цепи}}$$

где:
 $R_{\text{контакта}}$ – сопротивление контакта (подключения)
 $R_{\text{изм. цепи}}$ – сопротивление переходного интерфейса

и сопротивление измерительной шины.

С этой проблемой можно бороться двумя способами: вычитать определенную величину программным способом или снизить за счет изменения способа подключения. Многие системы вычитают из измеренного значения поправочный коэффициент, однако значения



Рисунок 2
Классическая архитектура тестовых систем контроля проводного монтажа.

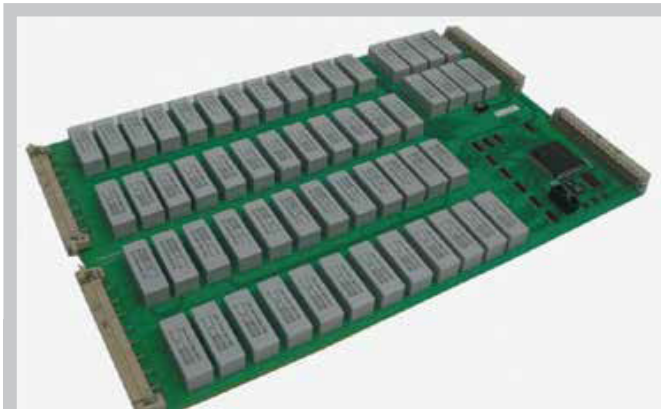


Рисунок 3
Пример высоковольтной платы на 6 кВ



Рисунок 4
Пример оснастки – интерфейс под разъемы заказчика

паразитных сопротивлений не постоянны и зависят от множества факторов (наработка реле, температура и т. д.). Используя четырехпроводную схему измерения, можно добиться физической компенсации паразитных сопротивлений путем подключения стабилизированного источника тока через два провода, который независимо от паразитных сопротивлений стабилизирует заданный ток, а измеритель подключается двумя другими проводами. За счет собственного высокого входного импеданса ток через измеритель не течет, а генератор тока стремится установить заданное значение. Таким образом, измеряется точное значение сопротивления проводника. Для реализации четырехпроводной (Кельвиновской) схемы измерения на тестовых системах применяется следующий принцип: необходимо подключить два канала тестера к одному выводу разъема.

После проверки электрической схемы выполняются высоковольтные проверки. Проводится измерение сопротивления изоляции и испытание ее диэлектрической прочности (проверка на пробой) на переменном токе. В соответствии с требованиями ТУ на жгут они могут проводиться по следующим алгоритмам: каждый проводник и корпус, проводники между собой. Важно учитывать, что

Таблица 2
Номенклатура коммутационных плат производства компании Sefelec

Напряжение постоянного тока, В	Напряжение переменного тока, В	Количество каналов
500	350	128
1 000	750	128
2 000	1 500	64
3 000	2 000	32
4 200	3 000	24
6 000	4 200	8



Рисунок 5
Вариант оснастки –
«запараллеливание»

в жгуте могут быть цепи различного назначения, например, сигнальные и силовые. Требования к испытательному напряжению у них будут разные, поэтому важно, чтобы коммутатор мог настраивать испытания группы точек против группы точек. Это позволит провести проверки за одно подключение разными напряжениями и при этом не повредить сигнальную часть (подразумевается наличие двух реле на одном канале коммутатора).

Всем известно, что театр начинается с вешалки, значит тестер жгутов – с коммутационной платы. Номенклатура коммутационных плат производства компании Sefelec – производителя тестеров электробезопасности, тестеров жгутов и кабелей, тестеров коммутационных плат, высоковольтных кабельных тестеров – представлена в **таблице 2**.

Обычно выходные разъемы тестовых систем жгутов – это разъемы коммутационных плат. На них установлены массовые разъемы DIN41612. Эти разъемы – самые популярные в системах автоматического контроля благодаря высоким эксплуатационным характеристикам и широкой номенклатуре. Однако у любого разъема есть такой параметр как количество сочленений. Поэтому переходники, необходимые для стыковки испытываемых изделий, не рекомендуется изготавливать на сами выходные разъемы – необходимо делать промежуточную оснастку. Суммарное количество типов разъемов, используемых в изделиях, охватывает практически всю номенклатуру как советской, так и российской промыш-



Рисунок 6
Пример колонны

ленности. Это обусловлено тем, что при проектировании изделия по кооперации задействовано множество предприятий и все используют свои «любимые» соединители. Ситуация усугубляется еще и тем, что в новых разработках используются импортные соединители, а на многих российских предприятиях уже были в эксплуатации тестовые системы жгутов и от них сохранилось большое количество переходников.

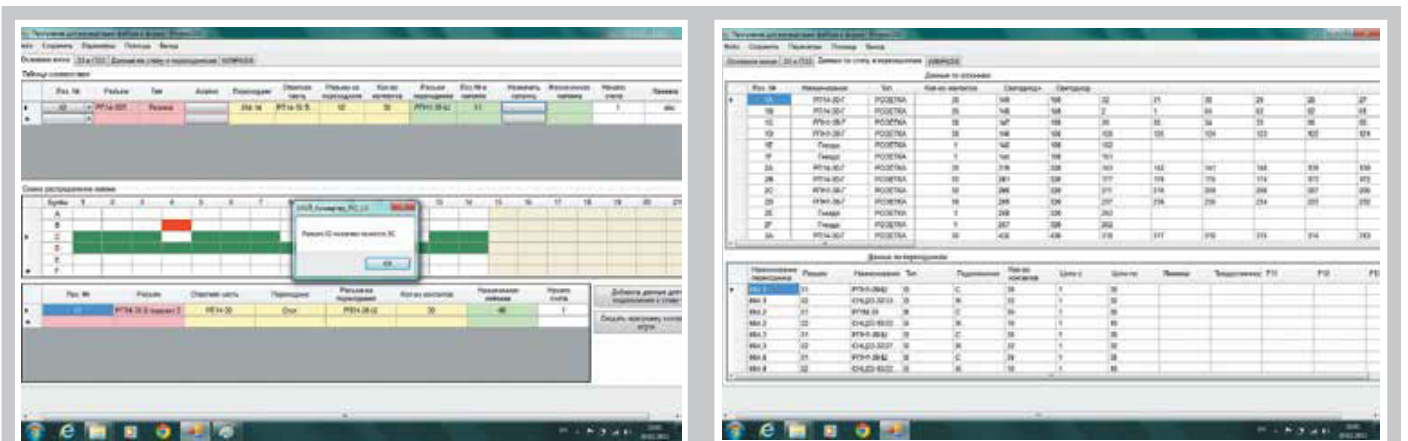


Рисунок 7
Программное обеспечение универсальной панели для контроля кабельно-жгутовой продукции и проводного монтажа



Рисунок 8
Вариант оснастки – рабочее место контроля жгутов



Рассмотрим варианты оснастки, которые будут использоваться нашими заказчиками для тестовых систем.

1. Интерфейсы на разъемах заказчика интересны с точки зрения сохранения существующего техпроцесса. Из нашего опыта: мы устанавливали на лицевую панель тестера разъемы 6P-150, 6P-100, их применение позволило нашим заказчикам сохранить переходники, которые они использовали для работы с системой АСК МКИ, и максимально быстро ввести оборудование в эксплуатацию (**рисунок 4**). Однако в настоящий момент существуют определенные риски, связанные с нестабильностью поставок этих разъемов с предприятия, находящегося в г. Полтава.

2. Другой заказчик самостоятельно разработал несколько панелей, подключение которых позволило проводить контроль определенной номенклатуры изделий. Интересным техническим решением стала разбивка жгутов на группы, анализ соединителей и разбивка на панели по следующему принципу: если разъемы не используются вместе (в одном жгуте), они спаяны в параллели и выведены на каналы тестера (**рисунок 5**). Это позволило на 256 тестовых каналах разместить количество соединителей, суммарно в три раза превышающее количество подключенных выводов разъемов.

Систематизировав накопленный опыт, конструкторский отдел **ООО «Остек-Электро»** разработал универсальное рабочее место для контроля кабельно-жгутовой продукции и проводного монтажа. Первый образец панели был введен в эксплуатацию в 2013 году, а в 2014 начался серийный выпуск этого изделия.

Из чего же состоит универсальная панель? Базой служит рабочее место регулировщика серии «Атлант» производства **ООО ПО «ГЕФЕСД»**. На столешницу устанавливаются колонны (**рисунок 6**), которые подключаются к тестовой системе. Таким образом, панель представляет собой наборное поле из разъемов, необходимых для подключения испытываемых жгутов.

Для быстрого поиска разъемов и формирования тестовых программ было разработано специальное программное обеспечение. Если проектирование жгутов выполняется в САПР, то можно создавать тестовую программу в автоматическом режиме. Для этого в ПО загружается схема в виде таблицы и спецификация. Далее алгоритм автоматически подберет правильные ответные части,

к которым необходимо подключить проверяемый жгут, а по схеме ЭЗ составит программу тестирования. Формат данных может настраиваться под конкретную систему проектирования. Заложенный функционал позволяет работать не только в автоматическом, но и в ручном режиме. При работе в ручном режиме оператор задает название разъема, а ПО отображает, какой из разъемов можно использовать для подключения к жгуту. Когда разъемы выбраны и жгут подключен, оператору остается только запустить процедуру автообучения, и программа контроля будет сформирована тестовой системой с эталонного жгута (**рисунок 7**).

Такой подход к организации испытаний жгутов дает следующие преимущества:

- простота управления оснасткой – вся оснастка уже подключена к тестеру, а светодиодная индикация показывает, к какому из разъемов необходимо подключиться;
- снижение требований к испытателю – оператор выбирает готовую программу из списка и, следуя инструкциям, выполняет испытание, по результатам контроля получает «Протокол» и приступает к следующему изделию;
- наращиваемость – при необходимости универсальный комплекс можно дополнить еще одним рабочим местом;
- использование в качестве тестовой системы тестера SYNOR5000 (Sefelec), который внесен в Госреестр СИ РФ.

На протяжении последних пяти лет Остек активно работает с французской компанией Sefelec и уже внедрил на производствах более 30 систем контроля жгутов серии SYNOR5000, которые хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. В прошлом году компании заключили соглашение о расширении сотрудничества и приступили к совместному производству тестеров на территории России. Наши конструкторы и технологи прошли обучение на заводе-изготовителе и подготовили техническую документацию, необходимую для производства. В апреле мы планируем получить первый образец тестера, изготовленный на нашем производстве, и будем рады продемонстрировать его работоспособность в нашем демонстрационном зале.

Система электрического контроля SPEA 4060: необходимость или излишество на производстве?

Арсений Ликий

Именно такой вопрос невольно возникает у руководителя. Ну, в конце концов, производство работает и без подобных средств, почему необходимо оснастить его столь непростым оборудованием? Вопрос справедливый, но нужно учитывать, что технологический и технический облик изделий весьма существенно изменился за последние годы.

Электронный блок или модуль состоит из различных компонентов. Развитие современных технологий сводится к повышению быстродействия, улучшению стабильности параметров и, что немаловажно, к уменьшению геометрических размеров компонентов. Вместе с тем, повышается степень интеграции радиоэлементов на печатной плате – в результате появляется возможность изготавливать устройства с увеличенным функционалом и меньшими габаритными размерами.

Однако не стоит забывать о контроле выпускаемых изделий. Если при использовании дискретных компонентов сохраняется возможность ручного контроля параметров печатных узлов, то повышение степени интеграции ЭРЭ и снижение геометрических размеров обуславливают использование автоматизированных систем электрического контроля, таких как SPEA 4060 (рисунок 1).

Система электрического контроля SPEA 4060 позволяет проверять печатные платы на соответствие конструкторской документации.

Кратко этапы проверки можно разделить на следующие:

- Проверка на короткие замыкания и целостность токов едущих проводников (дорожек печатной платы) (рисунок 2).
- Измерение параметров компонентов (R, C, L) и автоматическая проверка соответствия перечню элементов.
- Измерение параметров полупроводниковых компонентов (измерение падения напряжения рп-перехода).
- Проверка микросхем на целостность защитных диодов, обрыв внутри кристалла.
- Проверка микросхем на контрафакт.



Рисунок 1
Система электрического контроля SPEA 4060

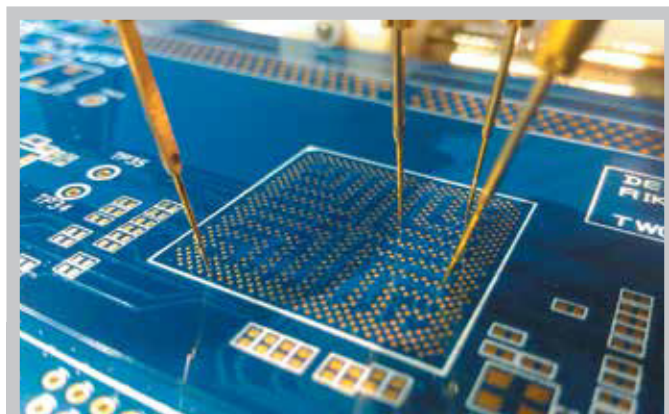


Рисунок 2
Проверка на отсутствие короткого замыкания и целостность цепи



Рисунок 3
Специалисты анализируют дефект платы, загруженной в SPEA 4060



Рисунок 4
Тестирование печатной платы

SPEA 4060 оснащена шестью летающими пробниками (четыре сверху и два снизу), которые позволяют осуществлять контроль двусторонних печатных плат. Три цифровые камеры дают возможность оператору проводить визуальный контроль тестируемого узла, не извлекая плату из системы. В качестве дополнительной опции может использоваться автоматическая оптическая инспекция печатных плат.

Вся необходимая информация загружается в систему из любых современных САПР в три шага (PCAD, Altium Designer, OrCAD и т.д.), после чего можно приступать к отладке тестовой программы и, наконец, тестированию.

Одним из главных преимуществ системы автоматического контроля SPEA 4060 является точность контактирования (5 мкм), а также низкая погрешность измерений (0,01%) в широком диапазоне измерения.

Необходимость внедрения современных систем электрического контроля ощущается на всех типах производства: от единичных и мелких серий до серийного изготовления электронных модулей или блоков.

В марте 2015 года Владимирская область пополнилась еще одним предприятием оборонного комплекса, на котором был запущен участок электрического внутрисхемного контроля с системой SPEA 4060.

Перечень задач, выполняемых с помощью внедренной технологии, является классическим для таких машин в условиях опытного производства. Так как производство опытных образцов подразумевает мелкую серию плат, а иногда сводится к единичному производству, процесс тестирования готовых изделий становится весьма трудоёмким и затратным. Использование SPEA 4060 на мелкосерийном производстве позволяет сократить время и ре-

сурсы, затрачиваемые на тестирование готовых модулей, в несколько раз, так как отпадает необходимость изготовления оснастки или стенов под разные типы изделий.

Элементная база, используемая на данном предприятии, состоит, преимущественно, из отечественных компонентов. В ближайшее время предприятие собирается полностью перейти на использование российских ЭРЭ. Стоит отметить, что хотя система электрического контроля SPEA имеет огромную базу данных импортных компонентов, однако тестирование отечественных микросхем не составляет сложной задачи: гибкость настроек позволяет протестировать абсолютно любую микросхему.

Одними из наиболее часто встречающихся проблем при производстве радиоэлектронной техники являются дефекты печатной платы: обрыв токоведущих дорожек, короткие замыкания между слоями и близко расположенными проводниками, отсутствие металлизации переходных отверстий и т.п. Если при производстве модуля была использована печатная плата, имеющая какие-либо дефекты, а монтажный цех уже установил все необходимые компоненты на ПП, то поиск неисправности в таком случае становится весьма сложной задачей, так как помимо дефектов ПП параллельно могут встретиться дефекты элементной базы, ошибки монтажников и многое другое.

Система электрического контроля SPEA позволяет тестировать печатные платы на этапе входного контроля, проверяя целостность цепей и отсутствие коротких замыканий. Подготовка такого проекта, при наличии всей необходимой документации, занимает не более 10 минут, после чего можно приступать к тестированию печатной платы (**рисунки 3 и 4**).

Так как предприятие производит опытные изделия, которые измеряются единицами экземпляров, очевидна необходимость использования ручного труда на этапе монтажа компонентов на печатную плату. Применение автоматизированной линии на данном типе производства представляется весьма затратным процессом – под каждое изделие необходимо создавать свою программу.

Но с другой стороны, использование ручного труда подразумевает увеличение списка возможных дефектов в готовом устройстве. Причина этому – человеческий фактор. Монтажник может перепутать номинал компонентов, полярность, некачественно выполнить пайку, в результате чего возникают как скрытые, так и плавающие дефекты.

Система электрического контроля SPEA избавлена от влияния человеческого фактора на этапе тестирования. Даже если оператор пытается задать программу или параметры тестирования, которые не отвечают требованиям либо заведомо содержат неверные данные, система автоматически выдаст предупреждение о возникшей ошибке с требованием перепроверить тот или иной пункт тестовой программы.

Применение на производствах системы SPEA 4060 избавляет от необходимости изготовления стенов тестирования, оснастки для проверки работоспособности конкретного устройства или каких-либо адаптеров. Именно шесть летающих пробников делают SPEA 4060 гибкой системой тестирования, не требующей дополнительных адаптеров под каждую плату.

Тестер Voltech AT3600. Преимущество автоматизированного решения

Алексей Юдин

Рабочее место сотрудника тестирования моточных изделий на многих российских предприятиях представляет собой стол, заставленный старыми советскими приборами. Как правило, эти приборы довольно простые и всем знакомые: вольтметры, амперметры, генераторы сигналов, частотомеры, осциллографы, измерители иммитансов и другие (рисунок 1). Для измерения некоторых параметров на базе этих приборов выстраиваются целые измерительные комплексы, громоздкие и сложные.

Роль сотрудника, тестирующего выпускаемые предприятием катушки и трансформаторы, обычно проста. Надо перемещаться от одного прибора к другому, подключать изделие к оснастке или выводам прибора, устанавливать необходимый режим тестирования, запоминать результат измерения и заносить его в таблицу. На это уходят десятки минут, а при сложном изделии с большим числом обмоток время может существенно увеличиваться. Тестовый инженер занимается монотонной работой, требующей аккуратности и внимания. Когда премия этого специалиста зависит от количества годных изделий, при этом изделие не проходит тестирование высоким напряжением (например, завышен ток утечки), то, не подключив выводы обмоток к пробойной установке, можно добиться необходимого результата тестирования. Поэтому, хотя от тестового инженера и не требуется особых знаний, но все же от его работы зависит очень многое, от него зависит самое главное – результат тестирования.

Для минимизации ошибок, которые может допустить человек сознательно или по невнимательности, и увеличения скорости тестирования разрабатываются специальные автоматические системы контроля, в том числе и контроля качества моточных изделий по электрическим параметрам. Эти системы дают возможность подключать изделия к оснастке только один раз, проводить весь процесс тестирования на одной установке и получать полный отчет о тестировании по каждому измеряемому параметру. Весь процесс сводится к нажатию нескольких клавиш. Из протокола тестирования можно получить всю необходимую информацию: кто тестировал и когда, серийный



Рисунок 1

Приборы, используемые для контроля изделий по электрическим параметрам

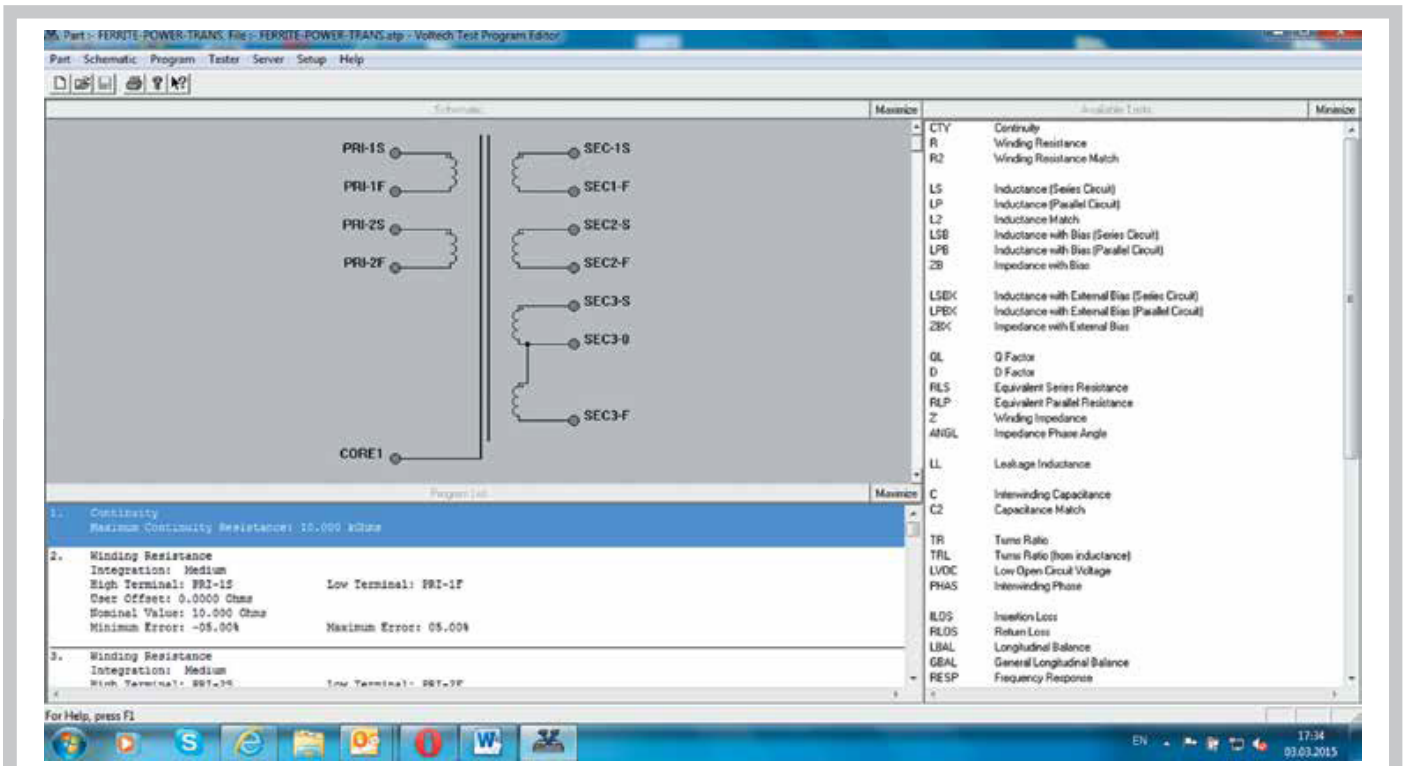


Рисунок 2
Программа Voltech AT Editor для подготовки тестовой последовательности

номер изделия, какие параметры измерялись тестером, какие результаты тестирования по каждому параметру получили.

Конечно, подготовку тестовой программы никто не отменял, но ее нужно будет подготовить всего один раз. К тому же процесс подготовки программы простой и интуитивно понятный.

Рассмотрим процесс подготовки тестовой последовательности в программе Voltech AT Editor **рисунок 2**. Программа разбита на три окна. Если условно пронумеровать окна слева направо и сверху вниз, то первое окно программы показывает схемы подключения обмоток изделия к оснастке. Второе окно представляет собой список

тестов, доступных на установке. Третье окно – это наша программа, куда попадают только необходимые нам тесты. Все действительно очень просто: двойным нажатием выбирается тест из списка, например, «измерение сопротивления обмотки». Далее задаются параметры тестов. Обязательными параметрами являются наименования выводов обмоток, между которыми необходимо проводить измерения, и диапазон, в котором мы ожидаем получить результат тестирования. Для некоторых тестов необходимо указать выводы, на которые подается сигнал, амплитуду и частоту.

В тестер моточных изделий Voltech AT3600 загрузка подготовленной программы с персонального компьюте-

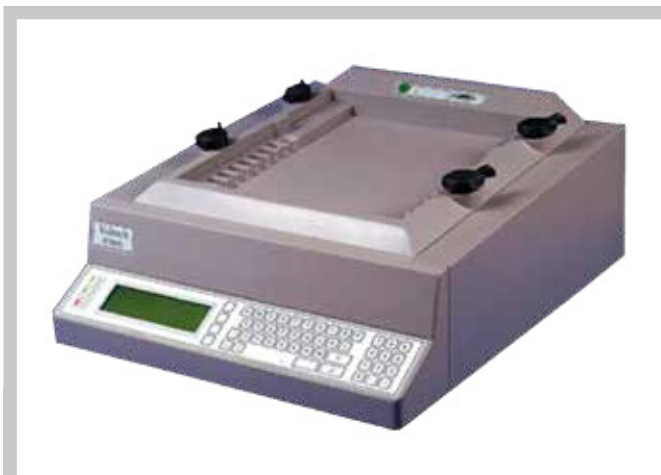


Рисунок 3
Общий вид установки тестирования моточных изделий Voltech AT3600



Рисунок 4
Оснастка для подключения внешних приборов AC Interface fixture



Рисунок 5
Пример рабочего места оператора. Тестер Voltech AT3600, генератор сигналов ГЗ-56/1, ноутбук с ПО

ра происходит по последовательному порту (Com-порту). Таким же способом тестер после измерения всех параметров обменивается результатами измерений с компьютером.

Рассматриваемый в этой статье тестер Voltech AT3600 компании Voltech Instruments позволяет измерять более 40 параметров **рисунок 3**. Перечень значительно перекрывает список тестов, обычно используемых при тестировании на производстве. Благодаря обширному списку проверяемых параметров тестер заменяет весь привычный спектр оборудования. К наиболее распространенным тестам можно отнести: измерение сопротивления, индуктивности, добротности, индуктивности рассеяния, межобмоточной емкости, коэффициентов трансформации и фазировки, сопротивления изоляции, тока утечки и др.

Отличительная черта данного тестера в том, что он дает возможность проводить тестирование как при низком, так и высоком напряжении. Нет необходимости отключать изделие и перемещать его к отдельной установке после измерения нескольких параметров. Весь процесс тестирования непрерывен, никаких отключений не требуется.

Тестирование напряжения и тока холостого хода – наиболее часто встречающиеся тесты в ТЗ на проверку. Так как многие предприятия проводят эти измерения на рабочей частоте трансформатора, можно столкнуться с ограничениями внутреннего генератора, используемого в установке Voltech AT3600. Для расширения частотного диапазона компанией Voltech Instruments предусмотрена специальная оснастка AT Interface fixture для подключения приборов **рисунок 4**.

Используя такую оснастку, можно подключить внешний генератор сигналов. Таким образом, ограничения внутреннего генератора для двух данных тестов в 1,5 кГц преодолеваются, и далее тестер полноценно используется в задачах, где требуется частота значительно выше, например 200 кГц. Все ограничения теперь зависят только от подключаемого генератора сигналов **рисунок 5**. Время тестирования одного трансформатора сокращается до нескольких минут. Большую часть времени занимает тест высоким напряжением, т.к. обычно при тестировании высокое напряжение подают в течение 60 секунд.

Тестирование проходит в автоматическом режиме, поэтому влияние оператора сводится к минимуму: исключается возможность неправильного подключения изделия к оснастке, исключается наличие неподключенных выводов, что гарантирует полноценный контроль согласно техническому заданию предприятия на тестирование. Установка компактна, занимает небольшую площадь и размещается на одном рабочем столе. Используя установку тестирования моточных изделий Voltech AT3600, можно сократить количество сотрудников, участвующих в процессе, до одного, и добиться значительного уменьшения времени тестирования, повышая эффективность производства.

Комплексное тестирование: современные методы

Арсений Ликий
Юрий Ерендеев
Иван Дергунов

Совершенствование современной элементной базы, технологий производства и изготовления электронных блоков и модулей позволяет создавать высокотехнологичные решения во всех сферах радиоэлектронной промышленности: от наручных часов до систем управления летательными аппаратами. Вместе с увеличением функциональных возможностей уменьшаются геометрические размеры компонентов, а значит и конечных продуктов. Параллельно с повышением эффективности, а в ряде случаев и универсальности изготавливаемой продукции (с точки зрения применения), встает необходимость проводить качественный электрический контроль печатных узлов.

Наиболее верное решение – проверка на отсутствие дефектов на каждом этапе производства, до того, как устройство собрано полностью. В противном случае будет намного сложнее локализовать и устранить возникший дефект, а также предупредить появление такого дефекта в будущем.

Тестирование печатных узлов можно разделить на следующие этапы:

- **внутрисхемный контроль, реализуемый на базе системы электрического контроля с летающими пробниками SPEA:**
 - тестирование печатной платы до монтажа компонентов;
 - проверка установленных компонентов на соответствие конструкторской документации;
 - контроль параметров электрических цепей;
 - проверка микросхем на целостность защитных диодов и контрафакт;
 - прошивка микросхем;
 - опционально – оптическая инспекция;
- **периферийное сканирование цифровых узлов на базе контроллера JTAG:**
 - тестирование межсоединений;
 - функциональный контроль памяти и логических элементов;
 - идентификация производителя компонента (проверка на контрафакт);

- прошивка микросхем;

- **функциональный контроль с использованием модульной измерительной системы стандарта PXI от компании National Instruments.**

Казалось бы, зачем усложнять этап контроля выпускаемой продукции и внедрять в производство дополнительные системы тестирования, если можно обойтись обычным стендом для функционального контроля? И действительно, при производстве изделий невысокой стоимости и низком проценте брака этого может быть достаточно – неисправный модуль можно попросту утилизировать. Однако если на плату устанавливаются дорогостоящие компоненты или же процент брака по тем или иным причинам высок, требуется локализация и устранение дефектов, а на основе полученной статистики появляется возможность предупредить появление ранее выявленных дефектов в будущем. Так как же грамотно применить доступные современные средства тестирования и электрического контроля выпускаемой продукции?

Рассмотрим конкретный пример. Предприятие занимается изготовлением высокочастотных электронных модулей с цифровым управлением. Как можно организовать контроль выпускаемой продукции на всех этапах производства?

Первый этап – входной контроль печатных плат и компонентов. Большинство отказов связано именно с дефектами печатных плат. И если обрыв или короткое



Рисунок 1
Система электрического контроля SPEA 4060 с шестью летающими пробниками

замыкание токоведущих дорожек можно выявить довольно легко, то некачественную металлизацию переходных отверстий весьма сложно. Данный дефект можно отнести к классу плавающих: при проведении испытаний изделия в камере низких температур устройство перестаёт корректно работать – пропадает контакт в переходном отверстии за счёт сжатия металла при отрицательных температурах, но при нормальных условиях устройство работает вновь. И хорошо, если процент таких дефектов невысок, если на плату не устанавливаются дорогостоящие прецизионные компоненты или микропроцессоры. А если устанавливаются? Неужели электронный модуль стоимостью пару тысяч долларов можно просто выбросить из-за невозможности локализации и устранения возникшего дефекта? Или тратить драгоценное время профессиональных инженеров? Конечно, в некоторых ситуациях с платы можно демонтировать самые дорогие компоненты и использовать их на другом изделии, но, к сожалению, это не всегда возможно. Кроме того, ряд дополнительных дефектов может возникнуть внутри этих компонентов в результате демонтажа. Именно поэтому так важно выполнять монтаж печатной платы только после того, как она прошла входной контроль.

Второй этап контроля – проверка смонтированных на плату компонентов на соответствие конструкторской документации: проверка номиналов и допусков пассивных компонентов, правильность установки полярных компонентов, проверка микросхем на целостность защитных диодов (и проверка на контрафакт), повторная проверка на отсутствие обрывов соединений и коротких замыканий после этапа монтажа. На этом этапе можно предупредить дефекты, возникающие после подачи питания на устройство из-за неверно установленных компонентов (например, сильно завышенное напряжение на логике 3.3 Вольта; нарушение полярности питания и др.).

Учитывая, что в качестве примера мы рассматриваем ВЧ-модуль с цифровым управлением, весьма интересными и важными являются параметры цепей. Система электрического контроля SPEA (рисунок 1) позволяет проводить особый вид теста – NZT-тест, благодаря которому становится возможным произвести замер параметров це-



Рисунок 2
Станция периферийного сканирования JTAG JT5705/USB

пей. Самый актуальный параметр, это, пожалуй, ёмкость токоведущих дорожек относительно экрана. Ведь если речь идёт о ВЧ- и СВЧ-диапазонах, важно иметь нормированное волновое сопротивление. Зная индуктивность проводников, которая закладывается разработчиками на этапе проектирования и разводки печатной платы, а также получив фактическое значение ёмкости, можно рассчитать довольно точно волновое сопротивление. Более того, задав жёсткое ограничение диапазона ёмкости по тем или иным цепям, можно проводить отбраковку плат по данному параметру.

На третьем этапе выполняется периферийное сканирование с использованием технологии JTAG (протокол IEEE 1149.1). Именно периферийное сканирование позволяет убедиться в исправности работы цифровых компонентов, функционально проверить работу микросхем памяти и логических элементов, провести тест идентификации (проверить ID-код компонента) и, что самое главное, провести тест межсоединений. В принципе, некоторые возможности системы электрического контроля SPEA и станции периферийного сканирования JTAG (рисунок 2) перекликаются: тест межсоединений и проверка на целостность токоведущих дорожек, а также на отсутствие КЗ практически взаимозаменяемы, кроме одного случая – тестирования BGA-компонентов. Из-за своих конструктивных особенностей контакты BGA-микросхем «скрыты» от глаз. Безусловно, если разработчик устройства спроектировал его таким образом, что каждая цепь, подходящая к выводу BGA-компонента, выходит на верхний (или нижний) слой печатной платы, то можно протестировать её при помощи SPEA. В противном случае – только через JTAG. Конечно, такой дефект, как непропайка шарика BGA-компонента, можно локализовать при помощи рентгена, однако для работы с рентгеном требуется высокая квалификация инженера. Да и стоимость станции периферийного сканирования как минимум в три раза ниже стоимости самой простой рентгеновской установки.

Используя контроллер JTAG, можно программировать микросхемы, проверять NAND-память на наличие сбойных секторов («банок»), контролировать доступность и управляемость тех или иных цепей. Весьма актуально ис-



Рисунок 3
Модульная измерительная система National Instruments

пользование JTAG-станции для разработчиков цифровых узлов. После сборки опытных образцов разработчик может проверить работу всех функциональных узлов в определённых ситуациях, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Например, принудительно выставить определённый логический уровень на каком-либо выводе компонента (конечно, если цепь, к которой подключён данный вывод, является управляемой, например, вывод ЦПУ) и проанализировать отклик всей схемы на искусственно созданную нестандартную ситуацию. При помощи тестирования с использованием станции периферийного сканирования JTAG также может выявиться дефект разварки кристалла, который даст о себе знать только после монтажа компонента на печатную плату под действием температуры во время монтажа.

Четвёртый этап включает в себя функциональный контроль готового изделия, снятие требуемых параметров и исследование характеристик. На данном этапе весьма успешно применяется модульная измерительная система стандарта PXI от компании National Instruments (**рисунок 3**). Благодаря модульной системе можно переконфигурировать комплекс измерительных приборов в соответствии с нуждами производства. Стоит отметить, что у компании JTAG Technologies есть модули периферийного сканирования стандарта PXI, которые можно интегрировать в измерительный комплекс National Instruments.

Таким образом, комплексное тестирование цифровых, аналоговых и цифро-аналоговых изделий можно проводить на одном универсальном рабочем месте, что является отличной альтернативой устаревшим как морально, так и физически функциональным адаптерным стендам с не конфигурируемыми параметрами, которые всё ещё находят применение на предприятиях спецтехники.

Виды оснасток для тестеров жгутов и кабелей. Что выбрать?

Игорь Смирнов

Перед всеми пользователями систем автоматического тестирования кабельно-жгутовой продукции когда-либо вставал вопрос: а каким образом мы будем состыковывать нашу измерительную систему со всем многообразием жгутов или блоков на нашем производстве? Ведь просто приобрести систему контроля или даже создать её – недостаточно, главная трудность как раз и заключается в том, как предусмотреть её стыковку с проверяемыми образцами изделий.

На сегодняшний день можно выделить три основных направления проектирования и создания оснасток:

1. Универсальное автоматизированное рабочее место контроля типа «УЛЕЙ» (рисунок 1).

Применяется на многономенклатурных производствах с небольшой серийностью и большим числом разнообразных разъемов. Главное преимущество – это простота эксплуатации, всего за несколько шагов вы получаете ответ о годности жгута.

Оператор выполняет несколько действий:

- выбирает в ПК заранее написанную тестовую программу;
- подключает жгут к стенду «УЛЕЙ» с помощью интуитивно понятной светодиодной индикации над каждым необходимым разъемом;
- нажимает кнопку «СТАРТ» и получает распечатку отчета «ГОДЕН» или «НЕ ГОДЕН» со всеми параметрами*;
- на основании полученных данных принимает решение о передаче изделия на доработку или отправке его дальше с пометкой «ГОДЕН».

Если в изделии есть ошибки, они отражаются в отчете: повышенное сопротивление изоляции, не прошел тест на диэлектрическую прочность изоляции («пробой»), есть обрывы или замыкания и т.д.

2. Набор технологических кабелей-переходников под всю номенклатуру проверяемых изделий (рисунок 2).

Используется так же, как и в пункте 1, на многономенклатурных производствах с самыми разнообразными разъемами на проверяемых изделиях.

Суть работы довольно проста: на измерительной



Рисунок 1
Универсальное автоматизированное рабочее место контроля жгутов и кабелей «УЛЕЙ»



Рисунок 2
Технологические кабели для соединения тестера и проверяемого изделия

системе стоят разъемы одного типа (DIN41612, 6P100, СНЦ144 и т.д.), к ним оператор каждый раз подключает технологический кабель-переходник, на одном конце которого разъем для соединения с тестером, а на другом – ответная часть разъема проверяемого изделия. Затем к этому разъему на технологическом кабеле подключается проверяемое изделие.

Преимущество этого способа – относительно бюджет-



Рисунок 3
Специализированная оснастка с параллельным подключением некоторых разъемов



Рисунок 4
Специализированная оснастка с 4-проводным подключением



Рисунок 5
Рабочее место контроля 30-летней давности

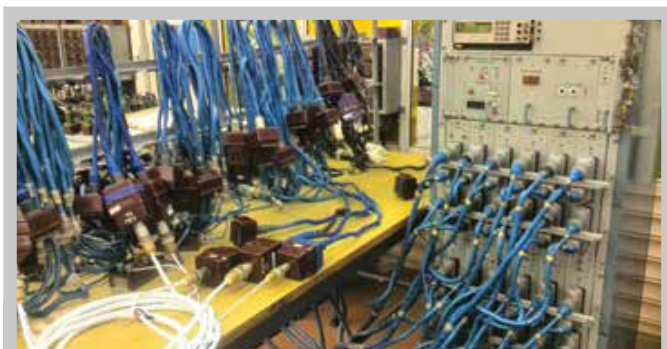


Рисунок 6
Технологические кабели для соединения системы типа КУСТ (1975г. выпуска) и АСК

ная стоимость самого тестера. Но в тоже время неудобство при подключении каждый раз переходников, необходимость места для хранения этих самых переходников, поиск нужных в огромной куче других. И не стоит забывать, что количество сочленений у разъемов на выходе тестера не бесконечно.

3. Собственные специализированные оснастки под конкретные группы изделий (рисунок 3 и 4).

Обычно создаются на предприятиях с мелко- и средне-серийным производством, с небольшой номенклатурой изделий. Можно назвать такие оснастки «простой» версией «УЛЬЯ» – небольшое количество разъемов, без светодиодной индикации, малые габариты. Но свои задачи такой вариант также с успехом решает. Часто в этом решении применяется метод параллельных подключений, что позволяет сократить количество тестовых каналов. Принцип работы идентичен «УЛЬЮ»: оператор берет изделие, подключает его к оснастке и проверяет с помощью заранее написанной тестовой программы.

Преимущество такого способа перед набором технологических кабелей-переходников – это удобство работы: нет необходимости каждый раз искать и переподключать переходники, что в итоге значительно сокращает общее время на тест одного изделия.

Сегодня на рынке автоматизированных систем контроля жгутов и кабелей можно найти все три варианта создания оснастки. И в каждом отдельном случае надо детально смотреть на цели и задачи производства, чтобы подобрать наиболее подходящий вариант.

Но сейчас я предлагаю ненадолго вернуться в прошлое, во времена СССР, и на минутку представить себе – а как делали тогда? Какие инженерные мысли посещали конструкторов систем контроля и технологической оснастки? За время работы в Остеке я посетил множество разнообразных предприятий спецтехники: это авиастроительные предприятия, машиностроительные заводы и заводы по выпуску спецтехники на гусеничных шасси, корабельные верфи и конструкторские бюро, предприятия Роскосмоса, Росатома и многие другие. И, знакомясь с их жгутовым производством, а, главное, с участком тестирования, понял, что все новое – это хорошо забытое старое.

Когда только начали появляться первые системы автоматизированного контроля кабелей, жгутов и ячеек (еще даже на перфолентах), появились и первые виды оснасток. И были они... да такими же, как и сейчас – в виде универсальных панелей (рисунок 5) или в виде технологических кабелей (рисунок 6). «Велосипед» был изобретен еще тогда, просто сейчас технологии шагнули далеко вперед, и появились новые возможности для улучшений и доработок. Как когда-то компьютеры занимали огромные площади – целые залы и лаборатории, а все их вычисления сводились к простому калькулятору, так и оснастки были громоздкие, неудобные, работающие на переключении тумблеров. Но на тот момент это была автоматизация, это было быстро, удобно и шло в ногу со временем.

А если говорить о технологических оснастках на-

стоящего времени, о решениях типа «УЛЕЙ» (рисунок 7), то тут улучшения коснулись самых разных аспектов, и это:

- компактное (по сравнению с прошлым), размещение разъемов на минимальной площади и с учетом геометрических размеров каждого проверяемого жгута;
- возможность доустановки разъемов в свободные колонны при внесении изменений в КД на проверяемые объекты;
- удобство подключения и выбора разъемов с помощью светодиодной индикации;
- лучшие технические характеристики самого тестера с возможностью проведения самых разнообразных проверок в максимальных диапазонах точности, что подтверждено метрологически.

Нынешние эффективные решения создаются определенными компаниями на рынке, специалисты которых за время своей работы накопили огромный опыт и знания по созданию различных видов технологических оснасток. А раньше собственные решения на предприятиях обычно создавались группой высококлассных специалистов, которые, безусловно, решали поставленную перед ними задачу, но тратили на это много времени, сил и средств. И эти решения были «закрытыми», они не дублировались на другие предприятия.

Специалисты «Остек-Электро», благодаря своему многолетнему опыту работы с автоматизированными системами контроля кабелей и жгутов, разработали для своих заказчиков самые разнообразные виды технологических оснасток (рисунок 8). Опираясь на детальный анализ номенклатуры проверяемых изделий, а также её исполнение, серийность и другие технические характеристики, мы подбираем самый оптимальный вариант реализации технологической оснастки – будь то стандартный «УЛЕЙ», специальное исполнение или же просто переходные кабели.

Для каждого производства, для каждого проверяемого изделия или жгута можно применить технологию тестирования с любым из этих трех видов оснасток, но вот что будет наиболее целесообразным, наиболее долговечным и, главное, работоспособным – выбрать придется вам. А наша команда специалистов, включая собственное производство и конструкторский отдел, всегда готова провести анализ вашей документации на проверяемые изделия, оценить их номенклатуру и специфику, понять масштаб задачи. И далее вместе с вами выработать наиболее оптимальное и подходящее решение для производства.



Рисунок 7

Универсальное рабочее место контроля "УЛЕЙ" для проверки 270 различных типов жгутов



Рисунок 7

Технологические оснастки, разработанные специалистами ООО «Остек-Электро»

Заглушай и властвуй: как перестать беспокоиться и выбрать правильную безэховую акустическую камеру за 10 минут

Дмитрий Кондрашов

В России наблюдается стремительный рост потребностей по различным видам испытаний, связанных с проверкой функционирования устройств в той или иной среде. Но едва ли этому факту можно радоваться в полной мере. Очевидно, что данный рост – это всего лишь закономерное движение после чудовищного спада, если не сказать, провала последних десятилетий в отечественной промышленности. В очередной раз с горечью приходится вспоминать избитые фразы и заявления о полной потере колоссального потенциала ВПК, созданного в СССР. Но несмотря на текущие экономические трудности можно отметить, что российские производители проявляют все большую заинтересованность в улучшении качества выпускаемой продукции и её способности выдерживать самые жесткие виды нагрузок. Слово «качество» подразумевает, в первую очередь, полное соответствие международным и российским стандартам производимой аппаратуры, а не рекламную уловку, которой грешат многие в современном мире, связывая это понятие с мифическим «врожденным» талантом, обусловленным страной происхождения или каким-либо другим свойством.

Сегодня можно с уверенностью сказать, что благодаря некоторым быстроразвивающимся в России областям испытаний можно ожидать улучшения качества и надежности изделий в целом. При этом добиться реальных результатов становится все сложнее. Перед современным российским производителем стоит настоящая дилемма, которая заключается в поддержании качества продукции на уровне советских стандартов – с одной стороны и согласованием на производстве устаревших стандартов с новыми ГОСТами, которые диктуют новейшие технологии – с другой. Одним из выходов из такой проблемной ситуации является не замена старого ГОСТа на новый, а смена технического подхода и использование современных материалов и технологий, которые должны полностью соответствовать необходимым требованиям. К примеру, общеизвестен факт, что в отечественных

ГОСТах на экранированную камеру четко указано, что конструкция помещения должна быть сварная. Однако большинство современных производителей предлагает модульную разборную конструкцию. При этом модульные экранированные камеры во многих случаях обладают лучшими характеристиками по экранировке и способны работать вплоть до 40 ГГц (при использовании специализированного материала до 110 ГГц). Модульная конструкция в несколько раз легче и имеет огромные преимущества при сборке. Это позволяет размещать экранированную камеру (**рисунки 1 и 2**) в любом помещении и на любом этаже, отсутствие сварочных работ гарантирует чистоту монтажа и сохраняет новое помещение. Кроме того, при необходимости можно без труда разобрать данную камеру и перенести в другое здание или на другой объект при условии, что в дальнейшем вам будет необходимо



Рисунок 1
Экранированные камеры Frankonia в процессе сборки

переаттестовывать вашу камеру, но эти затраты будут несравнимо малы по сравнению с полной заменой сварного помещения. Это один из примеров того, как применение современных технологий и рациональный подход к устаревшим стандартам позволяют в конечном итоге сэкономить бюджетные средства и найти оптимальное решение вашей задачи.

В России в последние 5-7 лет количество безэховых экранированных камер и сопутствующего оборудования, а также проведение комплексных испытаний на ЭМС и антенных измерений растут семимильными шагами. Это означает, что появляется больше молодых специалистов, которые могут работать с современными средствами тестирования, делиться опытом с другими отечественными производителями и, наконец, брать все самые лучшие решения от мировых лидеров области и создавать отечественные аналоги. Не меньшими по сложности организации и измерениям видами тестирования являются также различного рода акустические испытания. Конструкция безэховой акустической камеры принципиально отличается от её собратьев из СВЧ-диапазона, а сложность реализации и построения во многих случаях гораздо выше и требует вовлечения большого количества перво-классных специалистов. Поэтому хочется уделить особое внимание акустическим испытаниям, т. к. столь интенсивного развития и увеличения потребностей, как в тестировании на ЭМС, на данный момент не наблюдается.

В данной статье будут рассмотрены, прежде всего, современные стандарты, которые постоянно видоизменяются и имеют очень много схожих особенностей, однако качество изделий по этим стандартам на выходе будет сильно различаться. Также мы рассмотрим непростой выбор технического решения, которое будет полностью соответствовать вашим ожиданиям, опишем самые современные средства акустического тестирования и покажем принципиальную разницу между ними.

Как известно, в сфере измерения акустических параметров есть два вида специализированных ISO стандартов для расчета уровней звукового давления в лабораторных условиях:

- ISO 3745 – точный метод;
- ISO 3744 – инженерный (расчетный) метод.

Данные стандарты отличаются, в первую очередь, подходами к проведению тестирования, включая обеспечение



Рисунок 2
Камеры устанавливаются в новом отремонтированном помещении

безэховой среды для акустических испытаний. В данной статье мы попытались изложить в удобной и краткой форме основные различия между этими двумя стандартами с точки зрения процедур квалификации акустической камеры и их влияния на достоверность полученных данных и взаимозаменяемость. Сравнение стратегий проведения аттестации акустической камеры будет приведено с рекомендацией для увеличения скорости проведения теста, а также анализа и отображением результатов тестирования.

Стандарты ISO 3744 и ISO 3745 – это часть серий стандартов ISO 3740, которые устанавливают методы для определения уровней звукового давления (Sound Pressure Level, далее SPL) для различных типов оборудования путем измерения звукового давления. ISO 3745 является точным (прецизионным) методом, а ISO 3744 – методом инженерного типа (расчетным). Оба этих стандарта требуют обеспечения условий свободного поля или свободного поля с плоской отражающей средой, которая предполагает проведение измерения в безэховой или полубезэховой камере (**рисунок 3**). Таким образом, установленная на предприятии или в лаборатории безэховая акустическая камера должна в полной мере отвечать всем требованиям, которые предписывает тот или иной стандарт.

На данный момент существуют два основных требования для акустической среды, которые должны соответствовать ISO 3744 и ISO 3745:

- допустимая погрешность создаваемого свободного звукового поля в безэховой камере (Free Field Adequacy, далее – FFA);
- фоновый шум (Background Noise).

Если требования по фоновому шуму в камере зависят от уровня шума тестируемого источника звука, то основной критерий для FFA не зависит от источника звука, который испытывается внутри заглушенного помещения. Стандарты ISO 3744 и ISO 3745 прежде всего нацелены на обеспечение свободного звукового поля в безэховой камере при помощи определения допустимого отклонения от идеального значения свободного поля. Другими словами, проводя измерения в безэховой камере, мы должны быть полностью уверены, что отклонение от теоретического значения акустического свободного поля минимально, и аппроксимируемая



Рисунок 3
Акустическая безэховая камера IAC Acoustics

вычисленная звуковая мощность максимально близка к реальному значению звуковой мощности источника.

Требования к испытаниям по стандартам ISO 3745 и ISO 3744

Раздел А. Требования к безэховой камере по стандарту ISO 3745

Допустимая погрешность создаваемого свободного звукового поля в безэховой камере (FFA).

Главный критерий для FFA – правильная конструкция и размещение поглощающего материала самой камеры, независимо от тестируемого источника звука, как описывалось выше. Основным принципом является сравнение уменьшения SPL относительно дистанции от испытуемого изделия в безэховой камере и сравнения ожидаемого уменьшения SPL в реальном условии свободного поля, т.е. звуковое давление снижается по отношению к расстоянию согласно закону обратной квадратичной зависимости. За точку отсчета принимают тестируемый источник звука, который должен быть всенаправленным и генерировать достаточную выходную мощность таким образом, чтобы его амплитуда в самых удаленных углах безэховой камеры была выше фонового шума не менее, чем на 10 дБ. Например, для испытания источника случайного шума измерения должны проводиться с большим количеством регистрируемых точек, расположенных как минимум в пяти направлениях от геометрического центра источника до углов безэховой камеры. Традиционно данное измерение выполняется в виде регистрируемого звукового давления от микрофона, который медленно перемещается от источника к каждому из пяти концов направляющих. Использование современного оборудования, которое позволяет организовать многоканальную систему сбора данных гораздо эффективнее и быстрее, позволяет одно-

временно захватывать большее количество данных от микрофонов, расположенных по всему периметру камеры. На рисунке 4 показаны «телескопические» микрофонные системы, которые были использованы для процедуры аттестации по стандарту ISO3745 в безэховой камере на рисунке 3.

Измеренное звуковое давление снижается с увеличением расстояния от источника звука, оно сравнивается с теоретическим падением уровня (6 дБ за двойную дистанцию) от точки источника в свободном звуковом поле, и разница должна быть меньше, чем значение, приведенное в t1. Если эта разница превышает максимальное значение, то должен быть использован стандарт ISO 3744. Таким образом, данное отношение определяет стандарт тестирования, по которому необходимо проводить измерения.

Другим способом проведения испытаний является метод, приведенный в разделе Б, который оценивает «качество свободного поля» безэховой камеры с определенным тестируемым источником шума. Микрофоны находятся на двух измеряемых полусферах с разными радиусами и расположены по центру относительно источника звука. Основное отличие заключается в усреднении значений звукового давления, снятых микрофонами с внутренней полусферы S1 и внешней полусферы S2, которое вычисляется по формуле:

$$\delta = L_{p1} - L_{p2} - 10 \log (S_2/S_1) \text{ dB, где:}$$

L_{p1} – усредненное SPL на поверхности 1 (S_1), в дБ

L_{p2} – усредненное SPL на поверхности 2 (S_2), в дБ

Если значение δ меньше, чем 0,5 дБ в каждой полосе частот, тогда камера аттестуется по стандарту ISO 3745, но когда тестирование проводится определенным источ-

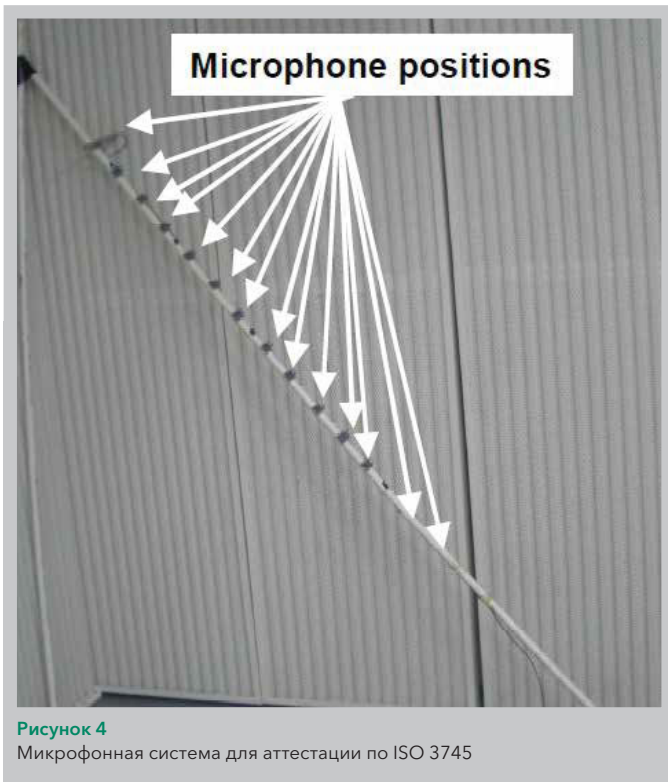


Рисунок 4
Микрофонная система для аттестации по ISO 3745

ником, то используется метод для аттестации, приведенный в разделе Б (условная совместимость).

Фоновый шум

На каждой измеряемой позиции и в каждой полосе частот уровень от источника звука должен быть выше, по крайней мере, на 10 дБ уровня фонового шума.

Раздел Б. Требования к безэховой камере по стандарту ISO 3744

Допустимая погрешность создаваемого свободного звукового поля в безэховой камере (FFA).

Главным критерием для FFA по стандарту ISO 3744 является правильная конструкция и размещение поглощающего материала самой камеры. Средой для проведения испытаний может выступать как полубезэховая камера, так и стандартное помещение при условии, что будут выполняться требования, приведенные в разделе А. Используя фактор коррекции окружения K_2 , который основывается на разнице между свободным полем безэховой камеры и реальным (теоретическим) значением поля. Испытания по стандарту ISO 3744 являются достоверными, если коэффициент коррекции $K_2 \leq 2$ дБ в каждой полосе частот.

Двумя видами подтверждения соответствия данному стандарту являются:

- метод сравнения абсолютных величин, при котором измеряется SPL опорного источника звука и сравнивается с калиброванным значением амплитуды;
- метод расчета коэффициента поглощения в безэховой камере, при котором коэффициент K_2 вычисляется при измерении поглощения внутри камеры прямым способом или с помощью аппроксимирования.

Фоновый шум

Таблица 1

Допустимое отклонение измеренного SPL от рассчитанных значений, определенных на основе закона обратной квадратичной зависимости

Тип камеры	1/3 полоса октавы (Гц)	Допустимое отклонение (дБ)
Безэховая камера	< 630	1,5
	От 800 до 5 000	1,0
	> 6,300	1,5
Полубезэховая камера	< 630	2,5
	От 800 до 5 000	2,0
	> 6,300	3,0

Усреднение всех данных, снятых с разных позиций микрофона на измерительной поверхности, и полученное значение уровня фонового шума в каждой полосе частот должно быть ниже не менее чем на 6 дБ уровня тестируемого источника звука. Если разница между источником и фоновым шумом больше, чем 10 дБ, то проведение коррекции измеренных уровней не требуется. Однако если разница лежит в значениях от 6 до 10 дБ, следует применять другой коэффициент коррекции K_1 , который подробно описывается в стандарте ISO 3744.

Технические решения для создания правильной безэховой камеры

Развитие и применение различных видов тестирования становится все более актуальным в России. Если рассматривать ситуацию в мировом масштабе, то можно также увидеть возрастающий интерес к проведениям акустических испытаний в безэховых камерах. На сегодняшний день ведущим разработчикам и производителям с помощью новейших технических решений удалось добиться снижения стоимости разработки, изготовления и сборки акустических камер, а также простоты обслуживания и увеличения срока службы материалов по сравнению с предыдущими камерами. И в первую очередь, уделяется особое внимание тем поглотителям, которые используются для создания свободного звукового поля, а также модернизации уже имеющихся объектов для минимизации капиталовложений.

Акустическая камера представляет собой очень точное средство для измерения и контроля метрологических величин, что хорошо видно из ГОСТов, которые регламентируют работу данного оборудования. В акустической камере помимо измерения звуковой мощности проводят точные измерения вибрации изделий. И безусловным лидером в данной области является компания IAC Acoustics. С 1949 года она производит сложнейшие расчеты и сборку различных средств тестирования «под ключ». На данный момент реализовано более 1000 различных проектов по всему миру, включая Российскую Федерацию и страны Таможенного союза.

Что-то же делает безэховую камеру IAC Acoustics особенной?

1. Конструкция акустической камеры и её тип. Три основных типа камер:

- безэховые;
- полубезэховые;
- реверберационные.

2. Современные поглотители звука, отвечающие тре-



Рисунок 5
Пример реализованной акустической камеры IAC Acoustics с материалом PlanarCHOIC

бованиям стандарта ISO 3745 и ISO 3744:

- IAC PlanarCHOIC – плоские поглотители;
- IAC Metadyne – клиновидные поглотители;
- IAC Microdyne Schedule – клиновидные поглотители для научных исследований и максимальной шумоизоляции.

3. Система двойных стен и дверей для обеспечения защиты от внешнего шума, влияющего на результаты измерений:

- IAC Noise-Lock – система двойных дверей;
- IAC Hardliner – система стеновых панелей.

4. Система виброизолированного пола, позволяющего измерять частоту вибрации от 4,5 Гц.

5. Система «глушителей» для вентиляции.

6. Система контроля температуры, давления и влажности, которые сильно влияют на результаты точных измерений.

7. Системы коммуникаций, обеспечивающие исключение влияния внешних воздействий вибрации и шума.

8. Возможность экранирования акустической камеры до 80 дБ.

И последним, но не менее значимым преимуществом является колоссальный опыт и огромный инженерный

потенциал сотрудников компании. Детально описывать каждое преимущество в данной статье не представляется возможным, поэтому остановимся на одном из самых важных пунктов – поглотителях звука.

Плоские поглотители IAC PlanarChoic

Благодаря плоским поглотителям IAC PlanarCHOIC возможна работа со стандартом ISO 3744 (**рисунок 5**). Данные поглотители экономят пространство и деньги, т.к. по стандарту обеспечения свободного поля длина клиновидного поглотителя должна быть обратно пропорциональна частоте среза. К примеру, клиновидные поглотители под частоту сигнала 25 Гц по длине должны составлять около 3 м (!). Соответственно, это огромные затраты на материал и размеры используемого помещения, и такое помещение не всегда можно найти на предприятии.

Плоский поглотитель – это модульные перфорированные панели со специальным негорючим наполнителем. За время многолетней интенсивной работы с помощью сложных расчетов специалисты IAC Acoustics добились отличных результатов по созданию свободного акустического поля с материалом PlanarCHOIC. Эффективность данного материала и подтвержденные в независимых лабораториях сертифицированные результаты измерений PlanarCHOIC представлены на **рисунке 6** и **рисунке 7**. Используемый материал можно красить в цвета заказчика, он негорючий и сохраняет свою форму на многие десятилетия, в отличие от стекловолокна или пенных материалов, которые уже через пару лет теряют свои свойства и внешний вид.

Клиновидные поглотители IAC Metadyne

Безэховые и полубезэховые камеры, в которых применяются поглотители Metadyne® (**рисунок 8**), были выбраны ведущими мировыми компаниями для испытаний и проведения измерений благодаря множеству уникальных преимуществ по сравнению с камерами, создаваемыми с использованием других материалов, таких как стекловолокно или пены. Как уже говорилось, длина клиновидного поглотителя с частотой работы 25 Гц должна составлять более 3 м. Для стекловолокна и пены это очень большая проблема, т.к. при такой длине клинья провисают под собственным ве-



Рисунок 6
Эффективность IAC PlanarCHOIC на частоте 160 Гц и отклонение от закона обратной квадратичной зависимости, кривая 1

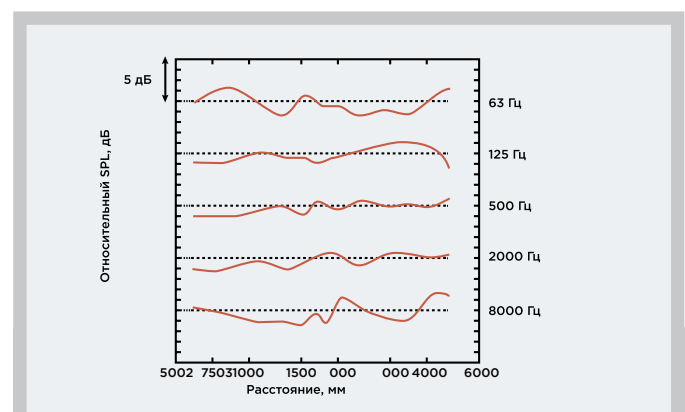


Рисунок 7
Измеренные кривые IAC PlanarCHOIC по закону обратной квадратичной зависимости



Рисунок 8
Пример реализации безэховой акустической камеры на основе клиновидных поглотителей IAC Metadyne

сом и быстро теряют работоспособность. Это ведет к замене поглотителей и, как следствие, к значительным дополнительным затратам. Клинья Metadyne® были разработаны IAC в качестве решения ряда проблем, связанных с использованием 100 % пены или стекловолокна. Длина клиновидного поглотителя рассчитывается по нижней границе частоты среза рабочего диапазона. IAC стала первым производителем, который обеспечил акустические характеристики высочайшего стандарта с широким диапазоном клиньев, полностью установленных в перфорированные металлические кожухи. Клинья Metadyne® идеально подходят для крупных устройств и продукции, требующей измерения на низких частотах. Прочная конструкция клиньев и их долговечность необходимы лабораториям, работающим с тяжёлым оборудованием и/или воспламеняющимися материалами. Все клинья Metadyne® производятся на заводах IAC в соответствии с самыми жесткими стандартами. Это значит, что унифицированная обработка может быть выполнена на крупных мировых проектах, обеспечивается акустическая характеристика каждого клина.

Возможности и преимущества клиновидных поглотителей Metadyne® предоставляют:

- гарантированную акустическую характеристику с очень низкими частотами среза;
- соответствие международным стандартам по испытаниям, включая ISO 3745, ISO 3744, ISO 26101;
- превосходную огнестойкость и ударопрочность;
- повышенную долговечность и длительный срок службы в отличие от любого другого типа клина;
- лёгкость очистки для поддержания внешнего вида на протяжении срока эксплуатации;
- благоприятную для здоровья и безопасную рабочую среду;
- разнообразные заказные варианты лакокрасочных покрытий для обеспечения соответствия цветам заказчика.

Сравнение плоских и клиновидных поглотителей

С помощью плоских звукопоглощающих панелей в полубезэховых камерах можно создать свободное звуковое поле. Такие панели, как правило, используются, если пространство ограничено, так как они занимают меньше места в отличие от камеры с покрытием из клиновидных форм. Плоский безэховый диапазон поглощения IAC Planarchoic™ может быть настроен для работы с определёнными частотами, также как и диапазон с клиньями Metadyne®. Несмотря на то, что камеры, покрытые Planarchoic™, обладают преимуществом в виде увеличения доступной площади помещения, площадь свободного поля является ограниченной (**рисунок 9**).

Камеры со свободным полем Planarchoic™ – всегда полубезэховые. Как правило, они большие по размеру, могут устанавливаться на жесткой поверхности при отсутствии структурно-передаваемой вибрации и шума. Камеры Planarchoic™ подходят для измерения звуков автомобилей, трансформаторов и прочего промышленного оборудования, не требующего высокой точности измере-

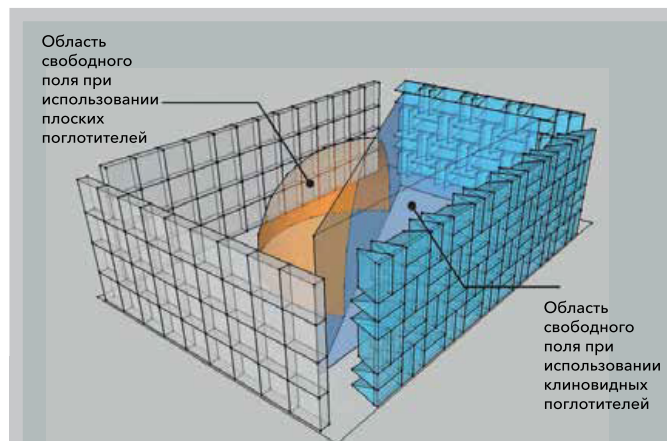


Рисунок 9

Область свободного звукового поля внутри полубезэховой камеры при сравнении поверхностей, покрытых плоскими поглотителями и клиньями

ний.

Особое внимание следует уделять отношению объёма камеры Planarchoic™ к размерам объекта испытания для обеспечения свободного звукового поля за счёт сокращенного пространства.

Хотя плоские поверхности способны отражать меньше звуковых волн, но, несмотря на акустическую обработку, их эффективность, как правило, не столь высока, как у клиновидных поглотителей. Однако существуют комбинированные решения (**рисунок 10**), когда безэховые клинья совмещают с плоскими поглотителями. Это дает дополнительное приращение к эффективности звукопоглощения. Данный тип камер не очень популярен и используется при решении специфических задач.

Поэтому все прецизионные акустические измерения зависят от правильно подобранного материала. Для разработки и исследований нужна высокая точность, и в большинстве случаев необходимо использовать клиновидные поглотители.

Все камеры IAC с клиновидными поглотителями сертифицированы в соответствии с ISO 3745 в части, касающейся определения точных уровней акустической мощности (Класс 1). Камеры с плоскими поглотителями, установленными на поверхностях соответствуют требованиям ISO 3744, который распространяется на неточные измерения уровней акустической мощности (Класс 2).

Совместимость со стандартом ISO 3745 – это основная цель, которую преследует большинство организаций во всем мире, занимающихся измерением мощности звука для различных видов испытаний. Данный стандарт гарантирует высочайший уровень точности измерений, однако для достижения столь высоких требований необходимо обладать значительным опытом построения безэховых камер и идеальными условиями, которая эта камера должна обеспечивать. Во многих случаях стандарт ISO 3744 также может предоставить хорошие показатели по точности, которые будут достаточными для измерения некоторых типов устройств, где высокая точность слишком дорога и избыточна. В t2 представлены основные различия двух стандартов ISO 3744 и ISO 3745, которые основываются на уровне точности амплитуды звукового сигнала.

Мы надеемся, что информация, представленная в ста-



Рисунок 10

Полубезэховая камера с плоскими поглотителями на стенах и с клиньями на крыше для увеличения эффективности поглощения

тье, поможет специалистам разобраться в основных аспектах безэховых камер и сделать правильный выбор, руководствуясь не рекламными материалами, а современными стандартами тестирования. Статья рассчитана на тех специалистов, которые только задумываются над проведением акустических испытаний и измерений или не имеют достаточных знаний в этой области. Разумеется, ни один специалист не сможет подобрать полностью готовое решение за короткий период времени, т.к. перед разработкой камеры необходимо рассчитать уровень внешних воздействий, которые находятся в непосредственной близости от акустической камеры. Это особенно критично для предприятий, расположенных в черте больших городов или шумных объектов (например, аэропорт). Также необходимо рассчитать виброизолированный пол для безэховой камеры, учитывая все тонкости имеющегося у заказчика помещения. После прочтения этой статьи вы сможете определить необходимый тип камеры, оценить, по какому стандарту проводить испытания, выбрать необходимый тип поглотителя и требуемую систему коммуникаций в камере. Вся остальная работа по разработке, сборке и аттестации будет выполнена специалистами ООО «Остек-Электро».

Таблица 2

Таблица стандартных отклонений SPL по стандартам ISO 3744 и ISO 3745

Значение в Гц	Допустимое стандартное отклонение (σ), 1/3 полосы октавы центральной частоты		
	ISO 3745		ISO 3744
	Безэховая камера, дБ	Полубезэховая камера, дБ	Значение в дБ
от 50 до 80	2	2	5
от 100 до 630	1	1,5	3
от 800 до 5000	0,5	1	2
от 6300 до 10000	1	1,5	1,5
от 12500 до 20000	2	2	2,5
Средневзвешенное значение уровня звукового давления	0,5	0,5	1,5

Кабельный вездеход

Тимофей Максимов

Кабельное производство – основа электротехнической отрасли любой страны. В наследство от СССР России досталось огромное количество предприятий, производящих кабели самого разного назначения. Увы, на многих из них контроль качества осуществляется с использованием устаревших решений, не позволяющих сохранять конкурентное преимущество выпускаемой продукции, да и количество подделок на рынке немалое. Очевидно также, что санкционный режим и пертурбации в экономике оказывают дополнительное давление на предприятия. В этих условиях возникает дилемма – какую же спасительную стратегию выбрать? Какой антикризисный маневр предпринять?

Первый путь – сэкономить на закупках современного оборудования и использовать всё ту же устаревшую производственную базу, а также закупать дешевые материалы и комплектующие. Второй путь – оптимизировать производственные процессы за счет повышения качества продукции и увеличения эффективности, тем самым подняв свой конкурентный уровень и ликвидировав лишние затраты. Согласитесь, что экономия ресурсов при повышении качества продукта – единственно верный путь, который заведомо сложнее, ибо требует от руководства предприятия решительности в действиях и обдуманного подхода.

Контроль качества токопроводящих жил (ТПЖ) стоит на начальном этапе проверки кабельной продукции и требует особенной точности. Как правило, таким контролем занимается лаборатория при производстве, проверяя образцы из партии изделий. Для работы в лаборатории используются высокоточные приборы, измеряющие сопротивление – микрометры, а также специальные оснастки, позволяющие нормировать измерения на длину в 1 м. Для компенсации температурных отклонений и повышения точности измерений применяются специальные ванны с погружением исследуемого образца в водную среду.

Инновационное решение, позволяющее упростить технологический процесс, а также интегрировать приборную часть и программную систему, состоит из микро-

метра MGR10 и термостатической испытательной ванны с насосом для циркуляции воды (**рисунок 1**). Микрометр MGR10, занесенный в Госреестр СИ, имеет разрешение до 0,1 мкОм, что дает возможность контролировать на соответствие стандартам любую, даже самую «жилистую» кабельную продукцию. Решение прекрасно показало себя на предприятиях кабельной промышленности, что позволило нашим заказчикам серьезно модернизировать процесс контроля производимой продукции и, соответственно, поддерживать конкурентное преимущество по качеству.

Следующий этап – проверка готового кабеля или провода в изоляции. В зависимости от сферы применения данная продукция дифференцируется по разным электротехническим показателям и степеням готовности. Кабели могут иметь разный материал токопроводящих жил, разное сечение, материал и толщину изоляции, структуру, важно наличие защитного экрана или брони. От этого зависят допустимые показатели тока и напряжения. Но любой кабель, будь то высоковольтный силовой кабель для прокладки под землей или же для установки в автомобиль, самолет или подводную лодку, должен соответствовать стандартам качества токопроводящих жил и изоляции!

Передовые решения в области контроля качества кабельной продукции подразумевают два типа рабочих мест. Первое из них представляет собой многофунк-



Рисунок 1
Фиксация кабельной жилы (слева) и микроомметр MGR10 (справа)

циональную мощную пробойную установку серии DT с матрицей коммутации для контроля длинных кабелей. Допустим, завод выпускает многоканальный кабель с экранированием, километр которого наматывается на деревянную бобину (рисунок 2). Её устанавливают в специально огороженной зоне, свободные концы каналов и экрана подключают к матрице коммутации и в автоматическом режиме проверяют сопротивление каналов, отсутствие межканальных коротких замыканий, измеряют сопротивление изоляции и контролируют диэлектрическую прочность изоляции на высоком напряжении. Комплексная проверка свернутого в бобину кабеля выполняется просто и за считанные минуты с подготовкой соответствующего протокола испытаний.

Второй тип рабочего места предназначен для входного контроля на предприятиях-потребителях кабельной продукции. Как правило, кабели предварительно подготавливаются под конечное изделие, так что их длины невелики. Поэтому мощная многофункциональная пробойная установка будет неудобной и излишней по параметрам. С небольшими кабелями прекрасно справится симбиоз микроомметра MGR10 и настольной пробойной установки серии XS до 6 кВ постоянного тока и до 5 кВ переменного тока (существуют модели до 400 кВ). Пробойные установки серии XS, как и микроомметр MGR10, внесены в Госреестр СИ. Мощности 500 ВА для высоковольтной проверки подготовленных под изделие кабелей пробойной установке хватает за глаза!

Оба прибора имеют гибкое управление: либо с лицевой панели каждого отдельно, либо через программное обеспечение они объединяются в единую систему, дающую богатые возможности по настройке программы тестирования, сбору и обработке результатов, их протоколированию и печати. Опциональная высоковольтная матрица EXS3200 позволяет автоматически переключать измерительную шину, если изделие многоканальное. Если же необходимо провести контроль изоляции неэкранированного кабеля, то рабочее место также оборудуется

специальной ванночкой, в которой намешивается электропроводящий раствор. Достаточно размешать в воде в определенной пропорции поваренную соль для приготовления относительно неагрессивного проводящего раствора. Кабель погружается в раствор проводящими концами наружу, их соединяют и подают на них высокое напряжение. На сам раствор через установленный в ванночке электрод подается нулевой потенциал. Таким образом, охватывается вся поверхность изоляции, и даже самый скрытый дефект будет гарантированно обнаружен – при входном контроле на предприятии, а не у конечного «боевого» изделия в самый ответственный момент! Данная технология совмещает отработанную методику контроля и выводит её посредством современной приборной части и информационной интеграции в область передовых и наиболее востребованных.

«Вишенкой на торте» среди уровней кабельной продукции является готовый жгут с разъемами. Согласитесь, сам по себе многоканальный тестер кабелей и жгутов уже мало кого удивляет. Сегодня многие предприятия российской промышленности, выпускающие электротехнические изделия, успешно перевооружились различными системами серии Synor5000, а также отечественными системами серии «Улей». Но данные системы работают в помещении, где есть подключение сети, и где они не подвергаются агрессивным воздействиям и перемещениям. Но что делать, если объект контроля находится вне территории предприятия, где есть необходимое подключение для оборудования и нет агрессивных воздействий? Ведь возникает же такая потребность, когда кабельно-жгутовые системы или блоки надо проверить буквально в поле! Или на борту сложной специальной техники, где незаменимой оказывается мобильность тестера! Представьте себе проверку жгутов, протянутых внутри узких отсеков подводной лодки – тут нужны не только матросы соответствующей комплектации, но и проверочное оборудование.

В этих случаях наилучшим решением был бы мобильный кабельный тестер Модуль М серии «Улей»



Рисунок 2
Бобина с кабелем (слева) и подключение к пробной установке (справа)

(рисунок 3) со специальным защищенным ноутбуком для управления тестером и хранения данных. Но сразу возникает вопрос к оснастке: если мобильный кабельный тестер обладает небольшими размерами, то как совместить в нем все необходимые подключения к объекту контроля? Ведь количество типов разъемов может исчисляться не десятками, а сотнями. А сам мобильный тестер при этом содержит до 384 каналов. Ответ заключается в специально разработанной мобильной оснастке, выполненной в виде съемной панели с разъемами. Каналы панели коммутируются с тестером пружинящими пробниками фирмы INGUN, сама панель при этом надежно фиксируется. Очевидно, что панелей может быть множество в зависимости от номенклатуры и сложности изделий.

Автономность тестера обеспечивают литий-ионные аккумуляторы большой емкости, позволяющие непрерывно работать в любом режиме 8 часов. И это заявленная характеристика – испытания же показали не менее 15 часов непрерывных работ! Список типов проверок при этом не уступает «классическим» стационарным версиям кабельных тестеров и включает проверку распайки жгутов, измерение сопротивления изоляции, проверку электрической прочности изоляции на постоянном и переменном напряжении 2120/1500 В соответственно. Для экономии заряда аккумулятора можно отдельно выключать высоковольтную часть. Через встроенную розетку 220 В аккумулятор заряжается. При этом можно полноценно работать с тестером как с обычным прибором, подключенным к сети. И все это умещается в прочный корпус из металла или пластика, смягчающий вибрации и защищающий внутренние блоки от ударов, брызг, грязи. Корпус может быть оснащен выдвижной ручкой и колесами или комплектоваться специальной отдельной тележкой.

Внедрение дополнительных контрольных операций приводит к дополнительным затратам, и отдача от них не всегда поддается «оцифровке» экономическими отделами. Однако любой случай получения некондиционной продукции приведет к существенным потерям на про-

изводстве – как материальным, так и временным. Представьте, вы закупили бухту провода, получили все документы, подтверждающие качество товара, а при монтаже выяснилось, что сечение провода меньше, чем положено по ГОСТ / ТУ, изоляция повреждена или на бухту провода намотали меньше, чем должны были.

Существенным преимуществом мобильных тестовых комплексов является то, что на их основе можно организовывать участки тестирования как на заводах, так и на конечных объектах. Это позволяет сократить время монтажа, повысить качество выполняемых работ, сократить издержки на ремонт. Другое преимущество мобильности – организация сервисных бригад для обслуживания техники. Регламенты по ремонту техники разрешают проведение дополнительных испытаний, и если жгут/кабель соответствует всем требованиям – зачем его менять? В условиях санкций и увеличенного ГОЗ это единственный вариант справиться с поставленными задачами.



Рисунок 3
Модуль М в разложенном (слева) и собранном (справа) вариантах

Зачем нужно менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС?

Дмитрий Кондрашов

Если зайти сегодня в российскую ЭМС-лабораторию любого хорошо оснащенного испытательного центра, то можно увидеть огромное количество разнообразного оборудования иностранного и российского производства. При этом большинство таких лабораторий часто сталкиваются с двумя основными проблемами: ограничение по времени и по месту проведения испытаний. Во-первых, срочные заявки на тестирование необходимо совместить с плановой работой. Во-вторых, в большинстве ГОСТов на ЭМС заложено требование осуществлять измерения внутри безэховых камер, количество которых в испытательных центрах ограничено из-за немалой цены и отсутствия необходимого для установки пространства. Кроме этого, помимо времени на сам процесс испытаний, рабочее время инженера складывается из нескольких факторов: время на монтаж, настройку и согласования разнообразного оборудования, на анализ и отчет о проведенном тестировании, а также на сервисное обслуживание приборов, которое также требует значительных временных ресурсов. Поэтому общее время, затрачиваемое специалистом на весь спектр работ, является одним из самых важных критериев при выборе оборудования.

В статье мы расскажем, каким образом уменьшить общее время на проведение испытаний, применяя самые современные подходы, на примере международного ЭМС-стандарта на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю МЭК 61000-4-3 (EN-61000-4-3) и проведем сравнение с более старыми подходами к тестированию.

Согласно стандарту МЭК 61000-4-3 (EN-61000-4-3) электромагнитное поле должно формироваться на дистанции 3 метра от антенны до испытываемого устройства (далее ИУ). Такое поле называется гомогенным или тихой зоной. Площадь тихой зоны должна быть 1,5 x 1,5 м, и при этом 1 метр кабеля ИУ должен также находиться в этом поле. Однородным полем считается при условии, когда 75 % от двенадцати точек в этой зоне удовлетворяет допуску от 0 до +6 дБ.

В классических системах тестирования на устойчивость разработчик должен проанализировать огромное

количество отдельных показателей комплекса, которые нужно учитывать для интегрирования в тестовую систему. Далее рассмотрим, с какими трудностями приходится сталкиваться инженерам при проведении испытаний.

Мощность или поле?

Довольно часто значительные временные ресурсы инженер тратит при выборе усилителя мощности, расчете усиления антенны, ширины лепестка диаграммы направленности и потерь в кабеле. Все эти расчеты нужны для согласования требований стандарта на однородность тихой зоны и уровня электромагнитного поля.

Для обеспечения этих требований разработан уникальный комплекс, сбалансировано сочетающий в себе все потребности современной ЭМС-лаборатории. Система RadiField Triple-A обеспечивает гарантированное электромагнитное поле в безэховой камере и соблюдение однородности поля, выполняя все требования

стандартов (рисунок 1). Пользователь не будет беспокоиться об уровне усиленной мощности, 1 дБ точке компрессии, потере в кабеле, нестабильном излучении и т.д. Для тестирования используется только уровень ЭМ и измерения его параметров. В один форм-фактор включены сразу несколько типов оборудования: усилители, антенны и генератор сигналов. Поэтому данное решение позволяет сэкономить денежные вложения и время на установку и настройку общего комплекса для испытаний.

Как правило, в традиционной системе для измерения устойчивости стойка с усилителями находится за пределами камеры вместе со всеми другими измерительными приборами (генераторы, измерители мощности, двусторонние ответвители (DDC) и т. д., рисунок 2).

Одними из самых критичных элементов системы, влияющими на финальный уровень поля, являются коаксиальные кабели и коннекторы:

- от выхода усилителя до входа DDC;
- между выходом ответвителя и до входа проходной панели безэховой камеры;
- от выхода проходной панели камеры до входа антенны.

При расчетах инженеру необходимо учесть все потери на этих трёх участках линии. Потери могут достигать 3 дБ даже у самых качественных кабелей, включая вносимые потери, из-за длины кабеля и т.д. Как нежелательную альтернативу данному решению оборудование часто располагают внутри камеры. Причины для этого достаточно очевидны, но такой подход противоречит стандарту испытаний. И хотя данное решение исключает дополнительные потери из-за длины кабеля между антенной и выходом системы, потери никогда не будут нулевыми. Еще одним недостатком перемещения оборудования в камеру является его влияние на результаты измерения. И в то же время измерительное



Рисунок 1
Система RadiField Triple-A

оборудование должно быть само по себе устойчиво к воздействиям электромагнитного поля.

Антенна и усилитель

В ЭМС-комплексах часто встречаются нагрузки, имеющие КСВН (коэффициент стоячей волны по напряжению) более, чем 1:6. Такой КСВН значит, что 50 % выходной мощности отражается и возвращается в конечном счете на усилители. Если рассматривать диапазон частот от 20 МГц до 1000 МГц (и выше), то видно изменение КСВН и то,

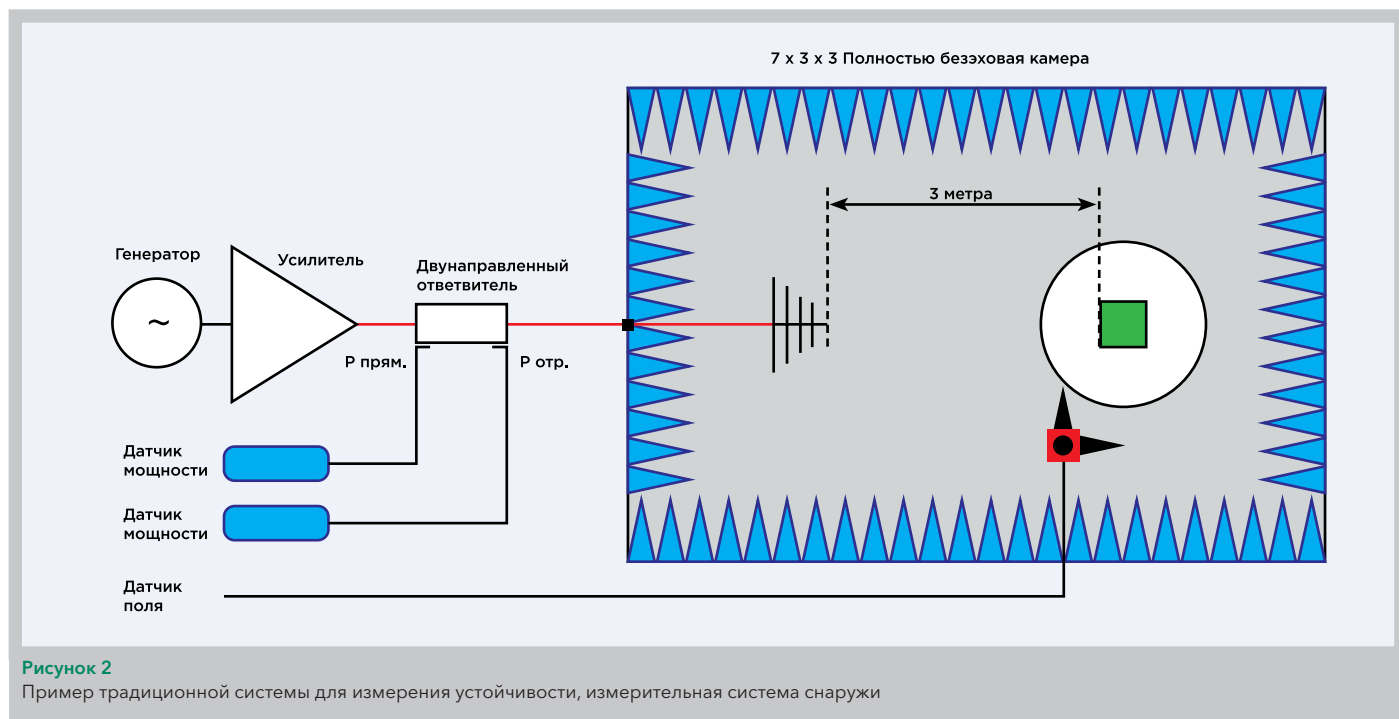


Рисунок 2

Пример традиционной системы для измерения устойчивости, измерительная система снаружи

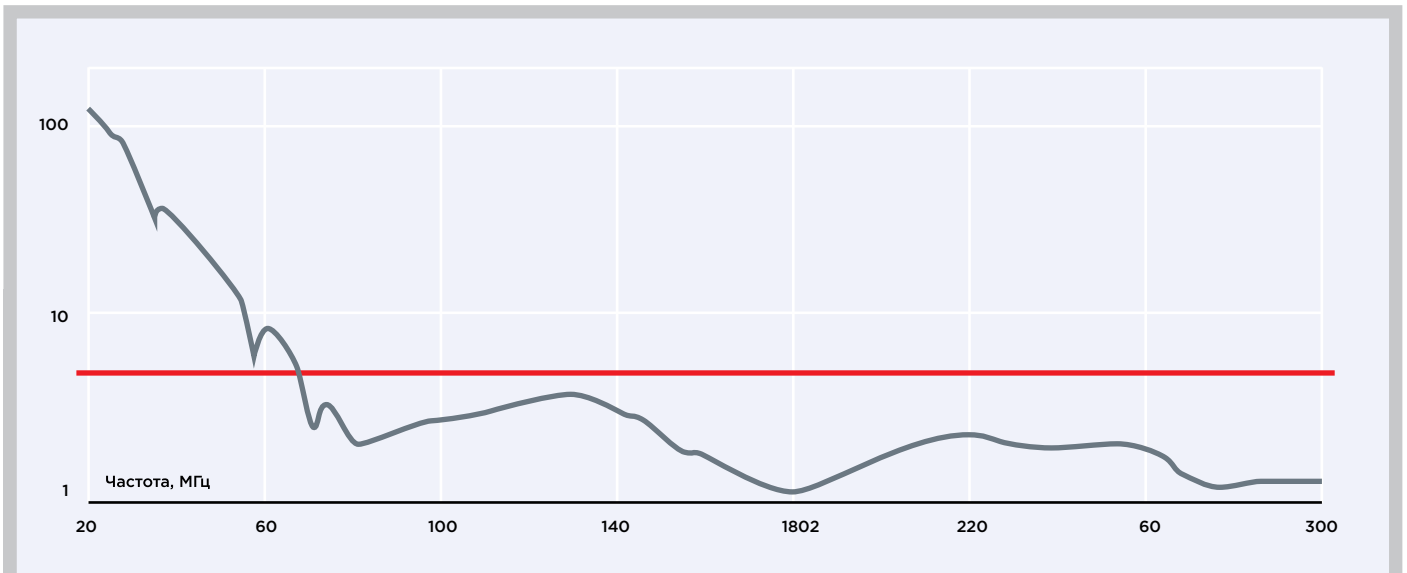


Рисунок 3
Типичное значение КСВН биконической антенны

как эти изменения должны учитываться при выборе правильного усилителя и его класса.

На графике приведен наглядный пример в диапазоне частот от 20 до 300 МГц (**рисунок 3**). Можно увидеть, что высокие значения КСВН лежат в диапазоне от 20 до 80 МГц. В этом частотном диапазоне длинные радиоволны и компактные ЭМС-антенны – это компромисс между согласованием, эффективностью (КПД) и размером антенны.

Теперь рассмотрим диапазон частот от 80 до 1000 МГц. Как известно, с ростом частот длины волн уменьшаются, и размер таких антенн намного ближе к соответствующим длинам волн. Типичными антеннами на высоких частотах являются логопериодические и рупорные антенны, КСВН которых гораздо меньше 1:3, что позволяет работать на более высоких частотах с меньшими потерями.

Однако если рассмотреть график отношения частоты

к мощности поля на входе широкополосной логопериодической антенны для 80 МГц, то можно увидеть следующие данные (рисунок 4):

- с помощью усилителя создается поле 10 В/м в немодулированном непрерывном режиме при выходной мощности более, чем 50 Вт!
- пиковая мощность огибающей создает только 10 В/м + 80 % АМ при мощности уже более 161,5 Вт (+5,1 дБ в непрерывном режиме);
- средняя мощность с 80 % модуляции при не менее 66 Вт средней мощности (+1,2 дБ в непрерывном режиме).

На графике можно увидеть, что огибающая АМ симметрична по отношению к пиковому напряжению несущей непрерывного сигнала (**рисунок 5**). Это означает, что усредненное напряжение модулированного сигнала такое же, как среднее значение уровня напряжения в непре-

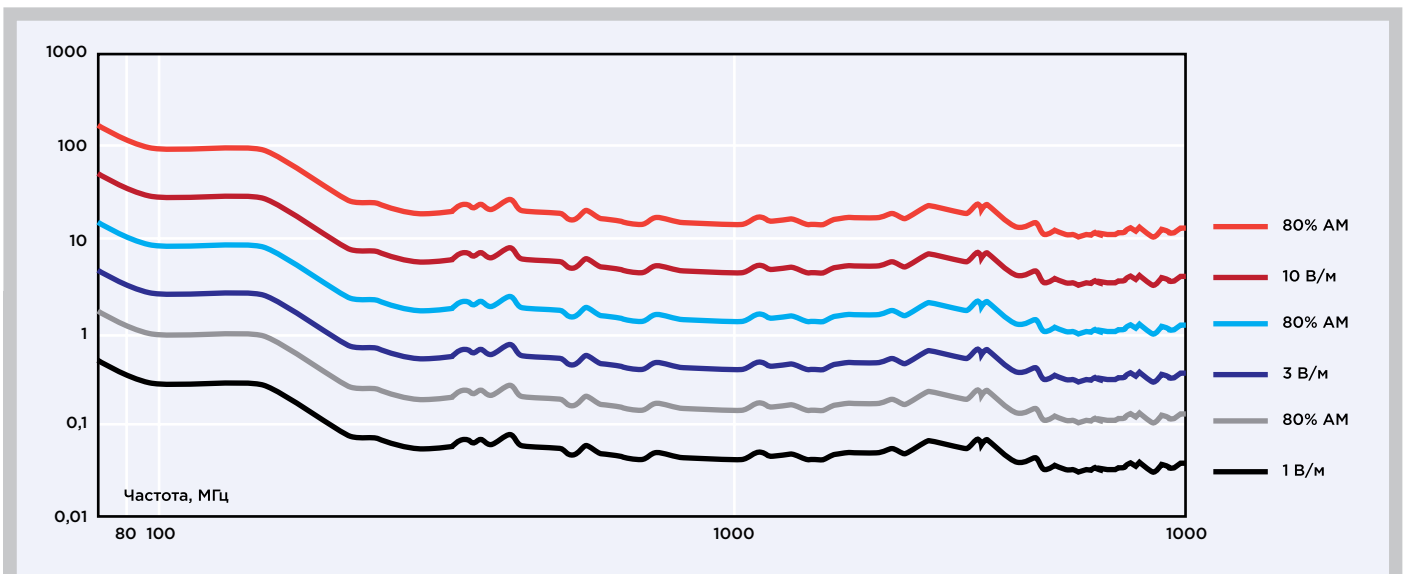
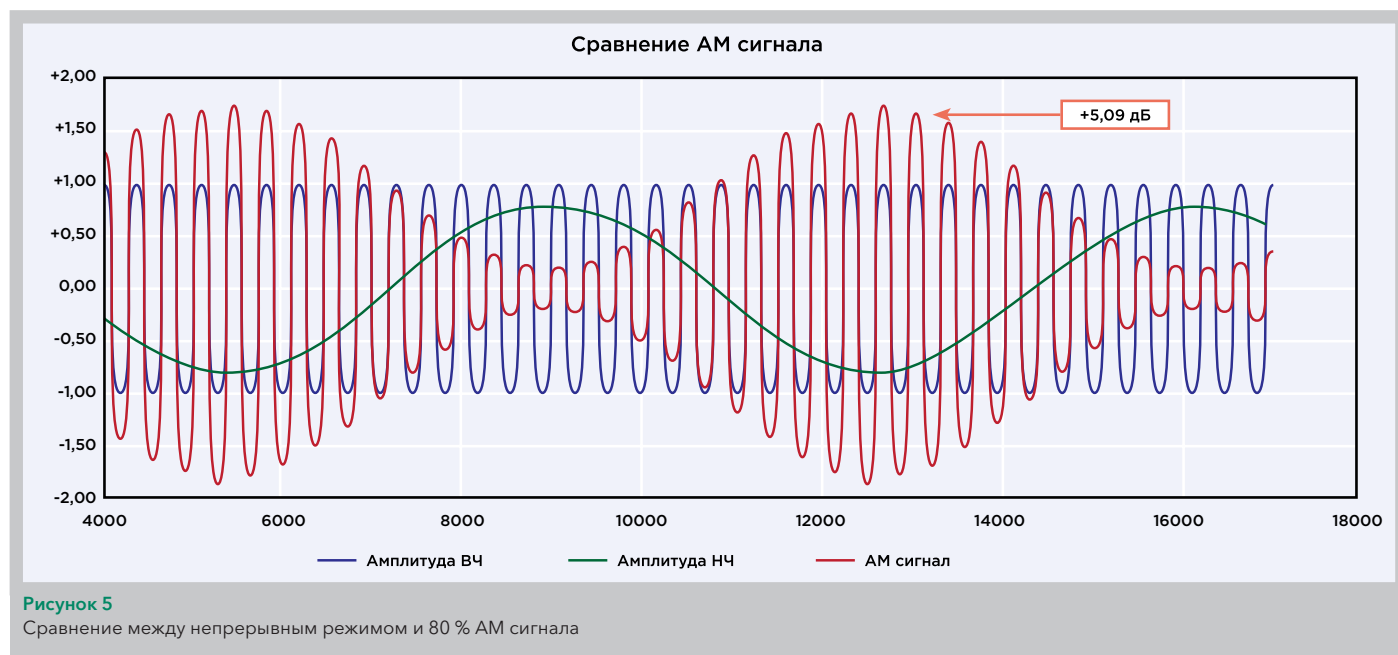


Рисунок 4
Входная мощность поля на дистанции 3 м



рывном режиме. Однако это условие нельзя применить к мощности сигнала, т.к. мощность сигнала выражается через мощности двух среднеквадратичных напряжений $P=U^2/R$. Таким образом, средняя мощность АМ сигнала немного (1,2 дБ) выше по сравнению со значением немодулированной мощности сигнала. Часто встречаются усилители мощностью 150 Вт, которые могут работать с таким типом антенн. Но нужны ли усилители класса А для решения задач измерений? Или подойдут усилители класса АВ?

Как простой пример, возьмем значение отраженной мощности и требования по искажениям. На частоте 80 МГц требуемая прямая мощность 162 Вт (пиковая мощность огибающей). Но мы все равно используем усилитель на 66 Вт средней мощности, так как АМ симметрична к непрерывному уровню мощности сигнала. И в итоге мы получаем огромное количество тепла на выходе с той же мощностью.

Усредненная отраженная мощность – это 50 % с КСВН антенны 1:6 от прямой мощности, т.е. 33 Вт. Это значит, что такая антенна может легко работать с мощностью 160 Вт по классу АВ. При этом усилитель имеет максимальное КСВН 1:3, что соответствует 25 % от прямой мощности, т.е. 40 Вт.

Поэтому в традиционных системах на ЭМС-устойчивость необходимо учитывать дополнительные параметры, такие как:

- точка 1 дБ компрессии, которая позволяет оценить, насколько искажен сигнал в пиковых значениях модуляции;
- регулировка уровня КСВН, т.к. в случае высокого рассогласования антенны передаваемая мощность может вернуться обратно в усилитель.

Теперь рассмотрим традиционные антенны для тестирования на устойчивость в частотном диапазоне от 1 ГГц до 6 ГГц. Как и в диапазоне от 300 МГц до 1000 МГц здесь преимущественно используются классические логопериодические и рупорные антенны,

и основной разницей между ними является коэффициент усиления. Данный коэффициент крайне важен для тестирования по стандарту МЭК 61000-4-3. Среднее значение коэффициента усиления для логопериодической антенны составляет от 7 до 8 дБи, однако рупорная антенна с увеличением частоты дает коэффициент усиления до 12 дБи, что полностью не соответствует МЭК 61000-4-3. Более высокое усиление антенны привлекательно, но оно также имеет негативную сторону, т.к. такое усиление сокращает зону тестирования, которую облучает антенна. Другими словами, при использовании высокого усиления требование тихой зоны 1,5 x 1,5 м не может быть соблюдено. С более низким усилением и широким -6 дБ углом логопериодической антенны облучение требуемой площади не является проблемой. Но для более низкого усиления необходимо больше мощности для создания антенной требуемого уровня напряженности поля.

И, как мы уже убедились, КСВН на СВЧ-частотах гораздо ниже, поэтому нет причины для приобретения дорогого усилителя класса А и можно ограничиться АВ-классом, который в системе Radifield будет намного ниже по стоимости.

При разработке ЭМС-системы для тестирования на устойчивость постоянно требуется выбор усилителя – и это один из наиболее часто обсуждаемых вопросов среди производителей данного оборудования и пользователей. На первый взгляд кажется, что лучший выбор – это класс А, т.к. мощность уходит в нагрузку и, таким образом, на антенну не влияет увеличение рассогласования. Но данный класс имеет ряд существенных недостатков, и, как видно из предыдущих примеров, далеко не всегда подходит для решения задачи по тестированию на ЭМС. Подробнее о классах усилителей и их конструктивном построении мы расскажем в следующей статье.

Далее рассмотрим уникальное решение, не имеющее аналогов и способное сохранить не только время и деньги, но и сэкономить пространство, уменьшая габариты и стоимость безэховой камеры в целом.

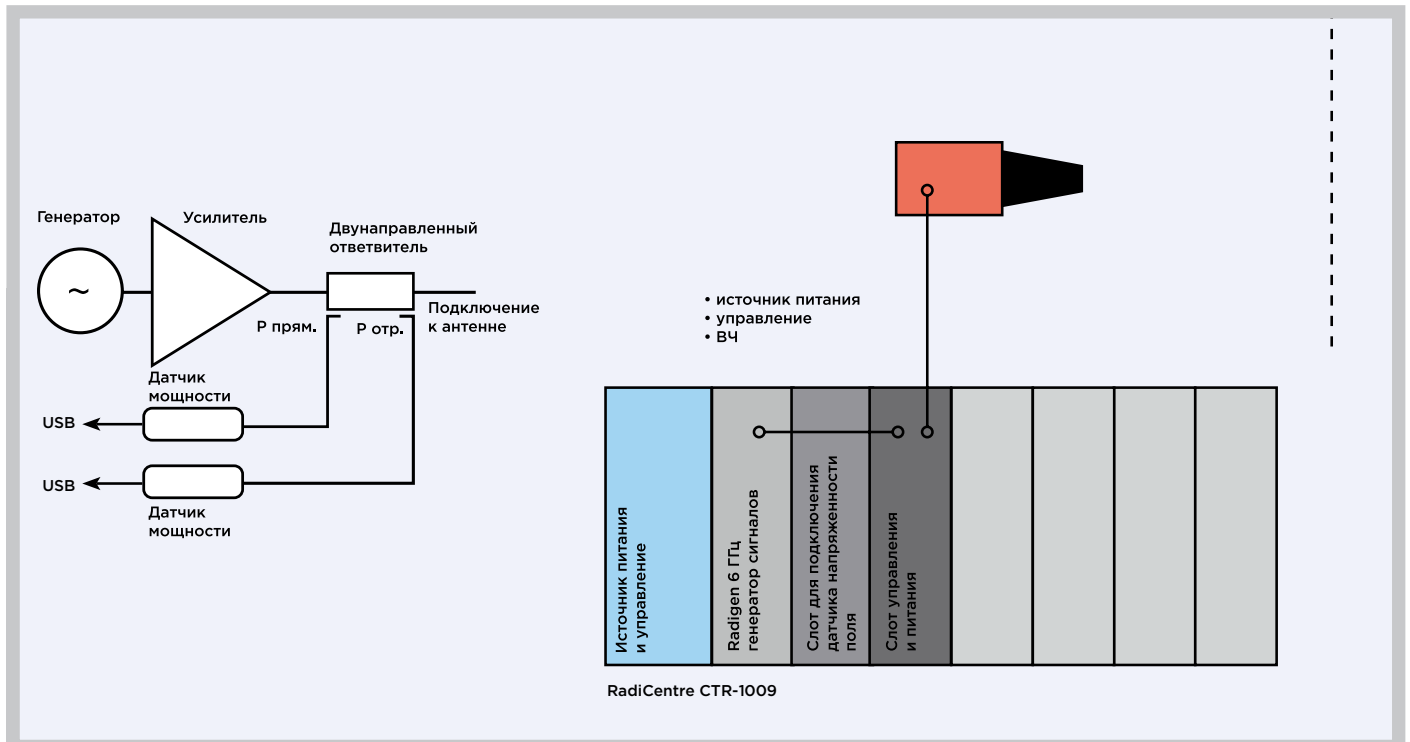


Рисунок 7
Сравнение традиционной системы и решения RadiField Triple A

Система RadiField Triple A задает новые стандарты в испытаниях на ЭМС, предлагая следующие преимущества:

- упрощенную систему и подход к тестированию; гарантированный уровень электромагнитного поля согласно ГОСТ;
- высокий уровень интеграции, позволяющий самостоятельно создавать гибкую систему;
- значительное снижение стоимости за счет отсутствия необходимости покупки различного дорогостоящего СВЧ-оборудования;
- низкую стоимость владения и обслуживания.

Сравним для примера две конфигурации системы (**рисунок 6 и рисунок 7**).

Как видно из схем подключения, сложность организации по тестированию на ЭМС в традиционной системе гораздо выше, а в решении RadiField Triple A исключены основные трудности с согласованием и проведением измерений. Данная система построена на модульной системе RadiCentre, в которую уже включены генератор до 6 ГГц, лазерный модуль для подключения датчика напряженности поля и источник питания с контроллером. В комплексе используются два коаксиальных кабеля, и лишь один из них подключен к источнику питания и к

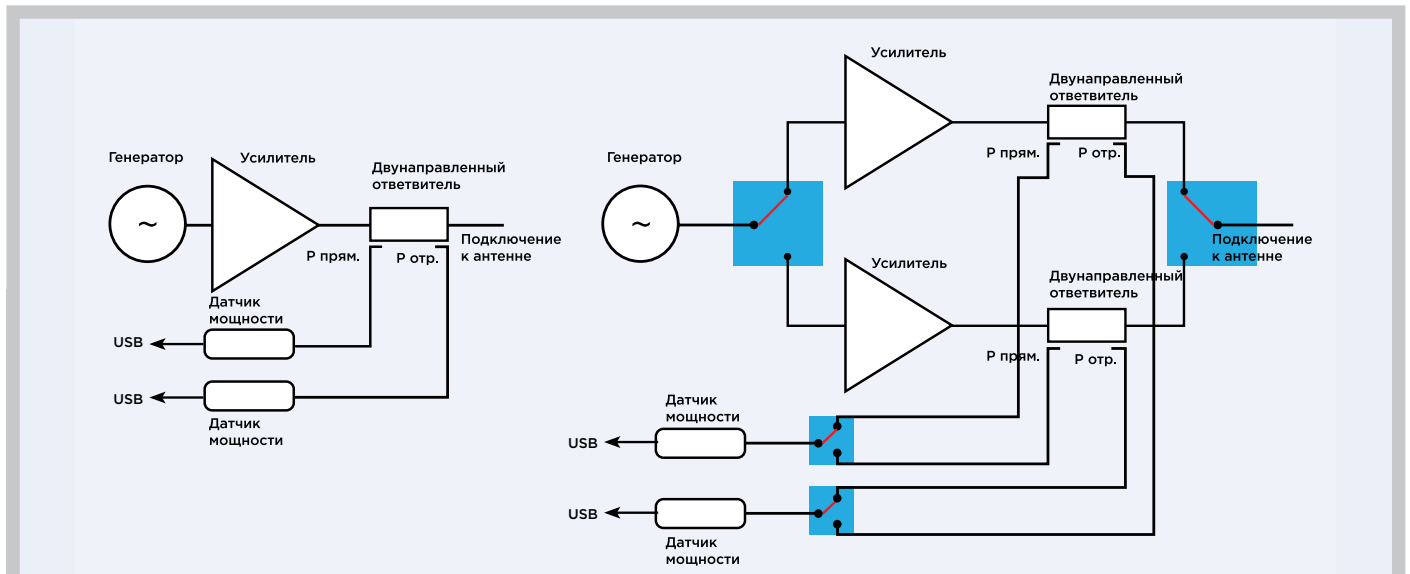


Рисунок 6
Традиционные системы с однополосными и двухполосными РЧ-усилителями

системе RadiField Triple A. Этот кабель используется для питания, контроля, коммутации и передачи РЧ-сигнала. Второй кабель подключен к выходу генератора и входу источника питания. Все потери по кабелю исключены. Все генерируемые РЧ-сигналы напрямую поступают в антенну и преобразуются в электромагнитное поле. Где же найти классическую измерительную систему, в которой дорогостоящие кабельные сборки и генераторы передают сигнал к антенне на большое расстояние без потерь?

Внешний вид комплекса Radicentre и RadiField Triple A представлен на **рисунке 1** и **рисунке 8**.

В системе RadiField Triple A реализована концепция сведения к минимуму времени, которое затрачивается на установку системы и подготовку к работе. Данный комплекс со встроенными генератором и лазерным датчиком поля располагается непосредственно в экранированной операторской камере инженера. Специалист использует при этом только два кабеля, которые подключаются через проходные панели из операторской к безэховой камере. Отсутствие дополнительных кабелей существенно увеличивает скорость переключения и работы измерительного комплекса.

Кроме времени тестирования важным фактором является и соблюдение стандартов. С системой RadiField определение уровня напряженности ЭМ-поля упрощено максимально возможно. Используется трехметровый эквивалент или ТМЭ, который позволяет просто и легко пересчитать силу ЭМ-поля на другой дистанции с соблюдением правила 3 метров. Строго говоря, при установке нового объекта для тестирования вся настройка сводится к пересчету по формуле: $3 \times \text{ТМЭ}/d$.

Типичные примеры пересчета значение по формуле $3 \times \text{ТМЭ}/d$:

$10 \text{ В/м} \times 3 / 10$ равно $3,0 \text{ В/м}$ на 10 метрах.

$10 \text{ В/м} \times 3 / 1$ равно $30,0 \text{ В/м}$ на 1 метре.

Инженерам не нужно беспокоиться об усиленной мощности, усилении антенны и калибровке усиления на разных дистанциях, о потерях в кабеле и частоте и т.д. Достаточно просто задавать необходимый уровень поля в программном обеспечении, дистанцию и частотный диапазон (**таблица 1**).

Помимо времени и соблюдения стандартов любому инженеру приходится учитывать погрешность и надежность измерительного оборудования. Необходимо учитывать, что ЭМС-испытания на устойчивость основаны на установке тестируемого устройства в уже откалиброванное поле. Такая калибровка осуществляется с помощью датчиков напряженности поля в не менее, чем в 16 равноудаленных в пространстве точках однородной зоны. Во время проведения тестирования датчик поля должен быть удален из плоскости измерения, и поле облучает испытуемое устройство с откалиброванными значениями. При проведении процесса калибровки регистрируются значения отношений между измеренными уровнями поля и измеренными уровнями мощности на выходе направленного ответвителя, установленного за РЧ-усилителем мощности. Также во время тестирования после удаления датчика поля из безэховой камеры из-



Рисунок 8
Базовое шасси RadiCentre для управления системой RadiField

Таблица 1
Значения для модульных генераторов

Модель генератора	Частота, ГГц	Тестовая дистанция и уровень поля, В/м		
		1 м	ТМЭ	10 м
RFS1006A	1 – 6	9	3	0,9
RFS1006B	1 – 6	30	10	3
RFS1003A	1 – 3	9	3	1
RFS1003B	1 – 3	30	10	3

мерительное программное обеспечение «проигрывает» записанные уровни мощности, используя показания с направленного ответвителя в прямом и отраженном режимах. Теперь мы имеем измеренный участок от генератора сигналов до направленного ответвителя. Тем не менее, любое изменение уровня поля влечет изменения в значениях потерь в кабеле, потерях на переключении и потерях на соединителях. На **рисунке 9** красным цветом отмечен участок, который не был измерен, и, таким образом, показания с него не являются достоверными. Поэтому ошибки и погрешности измерения всегда присутствуют при проведении тестирования классическим методом, хотя инженер может даже не подозревать об их присутствии.

В системе RadiField все источники подобного рода ошибок полностью исключены. Облучающая антенна интегрирована с усилителем мощности и направленными ответвителями в одном корпусе, что позволяет устранить все возможные ошибки и проводить достоверные измерения.

Однако несмотря на огромное количество преимуществ, которыми обладает система RadiField, почти всегда самым важным критерием выбора оборудования является стоимость, которая складывается не только из разовой оплаты при размещении заказа, но и из стоимости последующего владения в целом. Если сравнивать классический комплекс на испытания ЭМС-устойчивости и систему RadiField, то общая стоимость системы RadiField будет значительно ниже, чем традиционные аналоги. В т2 приведено сравнение системы RadiField и других систем (которые мало чем отличаются друг от друга, так как должны выполнять требования основного стандар-

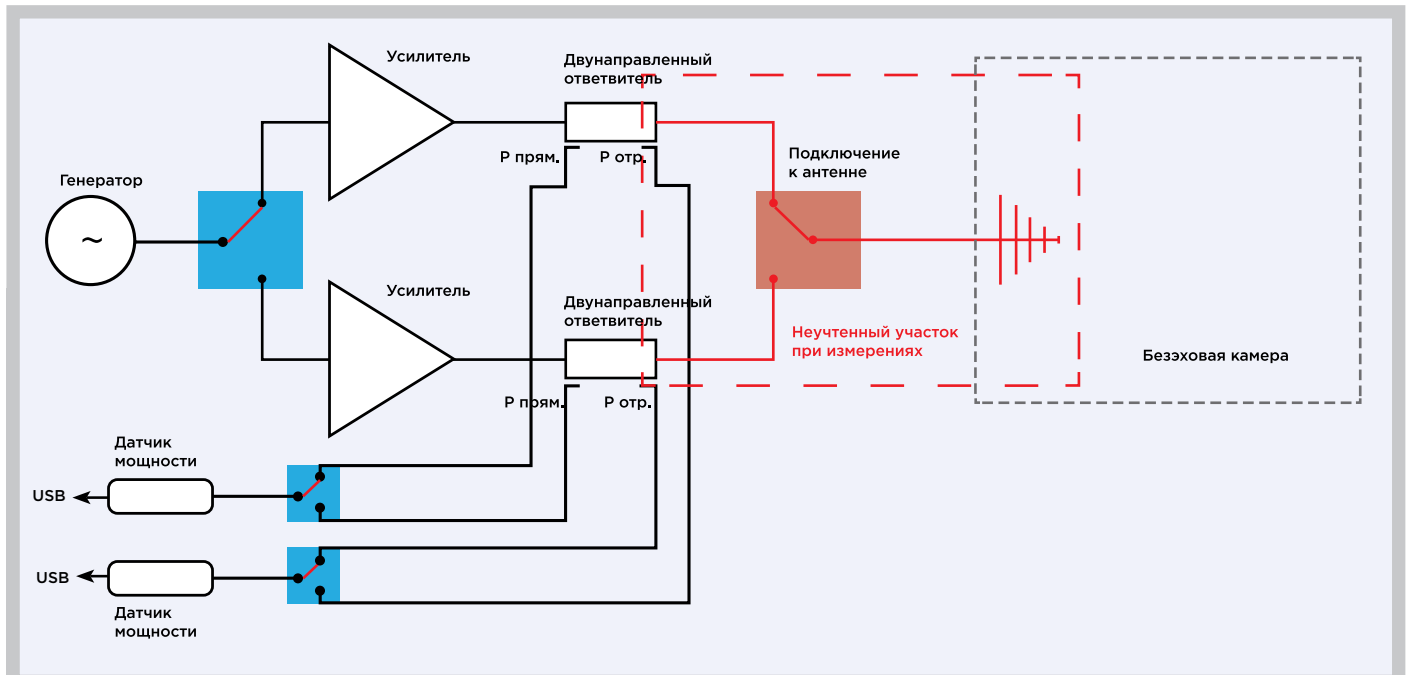


Рисунок 5
Пример ошибки источника сигнала в испытаниях на устойчивость

та). Как видно из таблицы, количество устройств в классических системах гораздо больше, чем в системе RadiField, что влечет за собой большое количество проблем с согласованием и эксплуатацией. Не только базовая стоимость системы RadiField значительно ниже аналогов, но и стоимость установки, настройки и обслуживания также гораздо ниже. Помимо меньшего количества устройств, которые собраны и откалиброваны у одного производителя, вы аттестуете один раз всю систему в комплексе и получаете один сертификат вместо нескольких.

Одним из самых важных преимуществ системы RadiField с технической точки зрения является избавление от дополнительных кабельных сборок, которые негативно влияют как на скорость работы с системой, так и на дополнительные погрешности при измерениях. Больше не требуется отдельно подбирать генератор, усилитель или датчик поля – все это уже включено и согласовано в системе. Отсутствие дорогостоящих приборов позволяет значительно сократить стоимость системы в комплексе.

В данной статье мы не затронули один из самых важных инструментов для проведения измерений – безэховую камеру и принципы её построения. Это очень обширная тема для обсуждения, как и тема выбора правильного усилителя. В следующей статье, посвященной испытаниям на ЭМС, мы подробно расскажем о безэховых камерах и классическом подходе к тестированию, а также о новейших разработках, которые появляются в российских лабораториях.

Ни для кого не секрет, что не существует универсальных комплексов, способных удовлетворить потребности абсолютно всех заказчиков. Любой измерительный комплекс имеет ряд недостатков, с которыми приходится мириться. Но в современных реалиях при усложнении оборудования и постоянных требованиях к увеличению функциональности измерительных

приборов в конечном итоге пользователь переплачивает за множество ненужных опций, которые по умолчанию заложены в стоимость оборудования. Измерительные приборы, выпускаемые передовыми производителями, в большинстве своем должны работать в широком спектре областей. Чтобы добиться подобной универсальности необходимо увеличивать функциональную и элементную базу. А любое увеличение комплектующих всегда ведет к удорожанию системы даже при массовом производстве. Поэтому необходимо тщательно подходить к покупке столь дорогостоящего оборудования и стараться не вкладывать финансовые средства в избыточные по своему функционалу приборы. При выборе оборудования необходимо, прежде всего, опираться на поставленные задачи, с которыми должен справляться ваш измерительный комплекс, а также понимать принцип подхода к испытаниям, который предлагает вам использовать современный производитель.

Таблица 2
Сравнение системы RadiField и классических систем по количеству используемых устройств

Классические системы	Система RadiField Triple A
Генератор сигналов – 1 шт.	Система Radicentre – 1 шт.
Усилители мощности – 2 шт.	Система RadiField Triple A – 1 шт.
Ответвитель – 2 шт.	Кабели и соединители – 2 шт.
Измеритель прямой мощности – 1 шт.	
Измеритель отраженной мощности – 1 шт.	
Антенна – 1 шт.	
Датчик поля – 1 шт.	
Кабели и соединители – 6 шт.	

Комплексные решения для проведения зондовых измерений.

Особенности измерений на полупроводниковой пластине

Игорь Васильев

Контроль электрических параметров является обязательным этапом при производстве устройств электронной техники. А при изготовлении полупроводниковых приборов контроль их характеристик требуется на всех этапах производства. Один из видов такого контроля – зондовые измерения, которые позволяют оценить качество исходной пластины, провести межоперационный контроль, параметрический и функциональный анализ созданного изделия. Кроме того, измерения на пластине проводятся для верификации основных параметров разрабатываемых устройств перед корпусированием для выбраковки и сортировки по градации процента разброса номиналов, что дает возможность избежать дополнительных затрат и снизить себестоимость изготавливаемой продукции.

На первом этапе испытаний выполняются параметрические измерения по постоянному либо низкочастотному сигналу без проверки функционала устройства. В этом случае на вход устройства подается сигнал, и регистрируется отклик на выходе. Как правило, параметрический контроль включает в себя ВАХ-, ВФХ- и импульсные измерения. Выполнив параметрические измерения, можно составить карту пластины и определить долю бракованных устройств. Исходя из полученных данных и процентного соотношения выхода годных кристаллов на пластине, проводится оценка качества и эффективности технологического процесса изготовления кристаллов. Высокая доля бракованных структур свидетельствует о проблемах в технологическом процессе.

На следующем этапе тестирования выполняется полный набор методик измерения и контроля характеристик исследуемого устройства (ИУ), благодаря чему можно построить поведенческую модель для описания ИУ. Такая модель включает функциональные особенности прибора и позволяет производить дальнейшую доработку его характеристик посредством компьютерного моделирования и создания нового технологического процесса.

Несмотря на то, что кристаллы, расположенные на

одной подложке, проходят единый технологический процесс, всегда существует некоторый разброс параметров устройств. С помощью зондовых измерений можно провести сортировку изготовленных устройств по категориям в зависимости от отклонения конкретного параметра от требуемой величины. Такая сортировка приборов дает возможность гарантировать заданный уровень точности параметров выпускаемых устройств.

Для выполнения описанных выше измерений необходима зондовая станция (**рисунок 1**), которая позволит соединить исследуемый прибор с измерительным устройством и обеспечит целостность и достоверность полученных результатов. С увеличением рабочих частот и уменьшением размеров разрабатываемых устройств необходимо учитывать некоторые особенности измерений на пластине. Для получения достоверных результатов, в первую очередь, нужно обратить особое внимание на характеристики СВЧ зондовых головок, а также корректное проведение процедуры калибровки.

Основные параметры СВЧ зондовой головки:

- **Небольшие размеры наконечника для уменьшения негативного воздействия на ИУ (емкостная связь);**
- **Постоянное сопротивление на всем протяжении**



Рисунок 1
Ручная зондовая станция BD-8 компании EverBeing с возможностью проведения СВЧ- и DC-измерений

зондовой головки (низкий КСВН);

- Малые потери СВЧ-сигнала;
- Полоса пропускания, достаточная для тестирования параметров ИУ;
- Простота подключения к контрольно-измерительному оборудованию.

Другой важной задачей является устранение влияния паразитного сопротивления кабелей, зондовых головок и контакта с ИУ при измерении. Для получения достоверных результатов необходимо выполнить калибровку в плоскости зонд/ИУ по TRL- (thru-reflect-line), SOLT- (short-open-line-thru) или LRM- (line-reflect-match) методике на специальной калибровочной пластине. Однако даже очень точная калибровка может содержать ошибку. Это обусловлено изменением распределения электромагнитного поля в окрестности зонда на калибровочной подложке и пластине, которое возникает из-за отличия токопроводящих и диэлектрических свойств среды окружения зонда. Поэтому калибровочная подложка должна максимально повторять свойства исследуемой структуры. Кроме того, время между калибровкой и проведением измерений не должно быть слишком большим для устранения дрейфа параметров измерительной системы.

Повторяемость и качество контакта также являют-

ся важными критериями. В случае, если СВЧ-головки не выровнены или находятся на разном расстоянии относительно друг друга, результаты измерений будут отличаться. Для выполнения качественного контактирования необходимо использовать микроманипуляторы с высоким разрешением. Например, микроманипуляторы производства компании EverBeing (**рисунок 2**) позволяют осуществлять высокоточное контактирование с разрешением от 0,35 мкм (200 витков на одном дюйме резьбы); могут выполнять прецизионное линейное перемещение в трех направлениях, а также поддерживают зондовые головки для проведения как DC-, так и RF-измерений.

При проведении измерения постоянного тока малых величин требуется тщательно подходить к выбору комплектующих зондовой станции, чтобы исключить влияние как внешних факторов окружающей среды, так и самой зондовой станции на результаты измерения. Во-первых, необходимо учесть, что внешний фоновый шум оказывает существенное влияние на процесс измерений, а держатель пластин представляет собой большую антенну, улавливающую этот шум. Во-вторых, ток утечки обычных коаксиальных кабелей составляет порядка десятка нА, что не позволяет измерять малые токи. Поэтому для снижения токов утечек необходимо использовать триаксиальные кабели, содержащие дополнительный проводник (Guard-экран) с активно управляемым потенциалом, который поддерживается равным потенциалу сигнального проводника (**рисунок 3**). При измерении токов в фемтоамперном диапазоне помимо всего перечисленного необходимо полностью изолировать зондовую станцию от внешних воздействий (механические вибрации, электромагнитные и электростатические помехи, воздействие света), а также использовать соответствующее контрольно-измерительное оборудование с заведомо большей точностью измерения.

При измерении ВФХ возникает другая особенность, которая связана с уменьшением скорости измерения за счет наличия паразитной емкости держателя пластин и влияния пьезоэлектрических эффектов, возникающих при сгибании и перемещении кабелей. Устранение паразитной емкости и снижение токов утечки оборудование EverBeing обеспечивает благодаря специальному подключению держателя пластин, которое, по

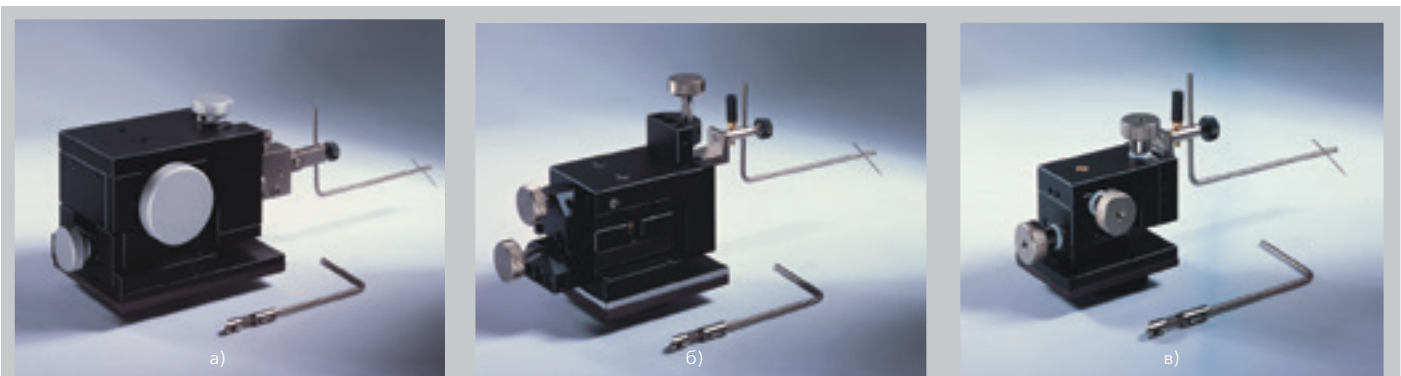


Рисунок 2
Микроманипуляторы компании EverBeing:
а) модель EB-005 с разрешением 0,35 мкм; б) модель EB-050 с разрешением 0,8 мкм; в) модель EB-700 с разрешением 1,7 мкм

аналогии с триаксиальными кабелями, содержит защитный Guard-экран (рисунок 4). Реализация такой системы подключения позволяет исключить влияние обозначенных негативных эффектов и увеличить скорость измерения.

Термоизмерения – еще один непростой момент при измерениях на пластине.

Здесь возникает целый ряд проблем, связанных как с самой системой терморегулирования, так и с появлением дополнительных внешних источников помех:

- Система регулирования представляет собой электронную систему, поэтому она является источником шума.
- Во время измерений на высоких температурах возникает окисление исследуемого устройства, вследствие чего могут заметно меняться измеряемые параметры.
- При работе в области низких температур происходит выделение влаги из воздуха и её конденсация на зондовых головках и на образце в виде инея, что также ведет к искажению результата измерений.

Для решения описанных проблем компания EverBeing предлагает держатели пластин с системой терморегулирования высокой точности (точность поддержания температуры 0,1 °С) и малыми шумами (до 10 фА). В зависимости от потребностей система может работать в диапазоне отрицательных температур как от жидкого азота, так и от охлажденного воздуха. Специальная система вентиляции устраняет из области измерения воздух, вытесняя его азотом. Благодаря этому решается проблема с окислением при высоких температурах и конденсацией влаги при низких.

Перечисленные проблемы являются значимыми при проведении зондовых измерений, однако это не полный их перечень. При организации рабочего места на конкретном участке возможно возникновение целого ряда специфических трудностей, которые не удастся решить стандартными средствами. В таких случаях инженеры компании EverBeing могут доработать или модифицировать любое стандартное оборудование под конкретные нужды пользователя. Кроме того, EverBeing предлагает готовые комплексные решения, которые гарантируют токи утечки не более 10 фА и возможность проведения термоизмерений в диапазоне температур от -60 до 300 °С. Решение включает в себя непосредственно зондовую станцию, термостол с воздушной системой регуляции нагрева, виброизоляционный столик и экранированную камеру. Уникальность такого решения состоит в возможности его модульной комплектации и дооснащения в зависимости от требований конкретной задачи.

Для автоматизированного измерительного комплекса, состоящего из зондовой станции и измерительного оборудования, существует возможность написания специального программного обеспечения, которое даст возможность проводить заданный набор тестов и разбраковывать кристаллы по категориям в зависимости от разброса их характеристик. Такой подход позволяет объединить оборудование от разных производителей в единый измерительный комплекс, что обеспечивает гибкость при проведении измерений.

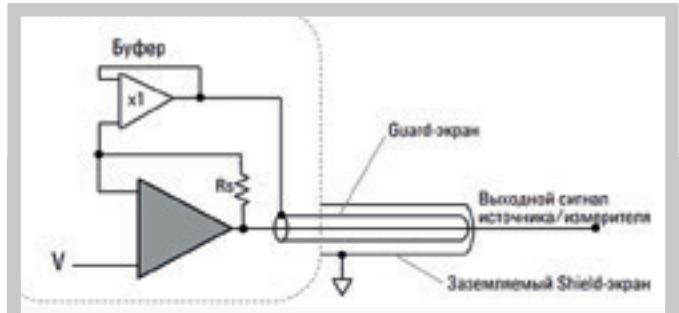


Рисунок 3
Упрощенная схема управления Guard-экрана в триаксиальном кабеле

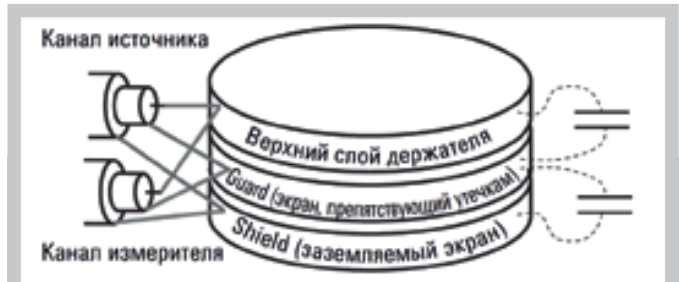


Рисунок 4
Схема подключения держателя пластин для снижения собственной емкости и токов утечки



Рисунок 5
Криогенная зондовая станция CG-196 позволяет проводить измерения в диапазоне от -196 до +1000 °С при давлении 0,1 Па



Рисунок 6
Установка для измерения физических параметров материалов четырёхзондовым методом

Кроме стандартного оборудования компания EverBeing предлагает решения для проведения измерений на пластинах при криогенных температурах. Установка CG-196 (**рисунок 5**) позволяет работать в широком диапазоне температур от -196 до 1000 °C при давлении до 0,1 Па. Охлаждение происходит с помощью жидкого азота, который поступает из входящего в комплект сосуда Дьюара и контролируется с помощью соответствующего клапана и давления подаваемого азота (газа). Органы управления микроманипуляторов расположены за пределами камеры, что дает возможность оператору корректировать положение игл без необходимости разгерметизации установки. Это особенно удобно при работе на очень низких или высоких температурах, так как из-за термического расширения или сжатия материалов необходима корректировка положения игл для обеспечения качественного контакта. Микроскоп расположен на специальной раме и может легко перемещаться, когда требуется вскрытие камеры или установка игл на контактные площадки. Собственная разработка и изготовление позволяют снизить стоимость такой установки на 30-40 % по сравнению с аналогами на российском рынке.

В технологии производства кремниевых интегральных схем и при отработке новых технологических процессов особо важным является контроль удельного сопротивления полупроводниковых и металлических функциональных слоев. Для этих целей компания EverBeing предлагает установку SR-4 (**рисунок 6**), которая с помощью четырехзондового метода позволяет определить поверхностное и удельное сопротивление. Особенностью данной установки является простой способ контактирования к исследуемому образцу и возможность проведения измерений при разных температурах. Помимо этого, установка на зондовую станцию магнитопроводов для измерения эффекта Холла, позволяет определить дополнительные характеристики материала, такие как: концентрация, тип и подвижность носителей заряда.

Используя оборудование компании EverBeing можно создать автоматизированный измерительный комплекс, удовлетворяющий современным требованиям, предъявляемым к зондовым измерениям (**таблица 1**), и тем самым обеспечить контроль электрических параметров при производстве устройств электронной техники.

Таблица 1
Преимущества оборудования компании EverBeing

Задача	Решение от EverBeing	Преимущества
Воспроизводимый механический контакт с ИУ	Прецизионные микроманипуляторы с разрешением 0,35 мкм	Высокоточное линейное перемещение по трем осям Оптимальное соотношение цена/качество Собственное производство в Тайване
Снижение влияния зондовой станции и внешних воздействий на результаты измерений	Подключение по схеме Кельвина держателя пластин для снижения паразитной емкости, специальные держатели игл с малыми токами утечки, экранированные камеры, виброизоляционные столы	Проведение измерений с точностью до 10 фА, снижение емкости держателя пластин Доработка стандартных решений под конкретные нужды заказчика Исключение влияния света и вибрации
Проведение термоизмерений	Системы терморегулирования на основе жидкого азота или охлажденного воздуха Система вентиляции для работы в области высоких и низких температур	Возможность проведения измерений в широком диапазоне температур (-65 до +300 °C) Устранение проблемы с окислением образца на высоких температурах и с выпадением инея на низких Уровень цен на 30-40 % ниже по сравнению с аналогичной продукцией, представленной другими компаниями на российском рынке
Докомплектация зондовой станции	Модульная система оборудования, позволяющая дооснащать станцию дополнительными опциями	Возможность поэтапного оснащения зондовой станции Более гибкий подход при выборе оборудования Дооснащение станций сторонних производителей
Автоматизация процесса измерений	Специальное программное обеспечение, написанное под нужды заказчика	Создания автоматизированного измерительного комплекса «под ключ» Увеличение скорости проведения измерений Вывод результатов измерений в удобном для заказчика виде
Проведение криогенных или высокотемпературных измерений	Криогенные станции низкого давления	Проведение измерений в диапазоне от -196 до +1000 °C при давлении 0,1 Па Вывод органов управления положением микроманипуляторов за пределы камеры для удобного контактирования Легкий способ перемещения микроскопа благодаря креплению на специальной раме
Измерение электрофизических параметров материалов	Четырехзондовые установки для измерения удельного и поверхностного сопротивления Установки для измерения эффекта Холла	Измерение удельного сопротивления пластин диаметром от 50 до 300 мм при разных температурах (150, 300, 400 и 500 °C) Измерение концентрации, типа и подвижности носителей заряда

Импульсный тестер.

Прибор для диагностики состояния изоляции электродвигателей при ремонте и техническом обслуживании

Алексей Юдин

Внеплановые остановки производства – затратное «удовольствие». На особо важных объектах, где причиной остановки является, например, поломка электродвигателя, стоимость простоя в течение одного часа может составлять десятки тысяч, а то и миллионы рублей. Основная задача в ходе превентивной проверки – сокращение до минимума таких внеплановых остановок и простоев. Согласно данным института инженеров электротехники и электроники¹ 26-36 % всех неисправностей электродвигателей составляют дефекты изоляции. Вот тут и возникает вопрос: что и чем измерять, чтобы обнаружить дефекты в изоляции электрических машин?

Чтобы ответить на данный вопрос, необходимо понимать, какие возможные дефекты могут возникнуть в обмотке электрической машины. Рассмотрим, например, статор. Дефекты в статоре можно разделить на две группы: дефекты в обмотке относительно корпуса статора и дефекты в обмотке между витков (рисунки 1 и 2).

Для выявления дефектов в изоляции относительно корпуса проводят тест высоким напряжением постоянного тока, а для выявления дефектов между витками – импульсный тест. При ремонтных работах или периодических технических обслуживаниях необходим компактный прибор, удобный для транспортировки к месту тестирования.

Вторым критерием подбора оборудования является максимальное выходное напряжение прибора, которое можно подать на обмотку при тестировании на пробой или импульсном тестировании для выявления межвитковых дефектов. Для расчета необходимого максимального напряжения прибора следует знать рабочее напряжение двигателя, который будут проверять, или напряжение тестирования высоким напряжением переменного тока. Существующие стандарты, регламентирующие тестовое импульсное напряжение, приводят разные данные. Обычно исправные катушки в электродвигателе способны выдер-

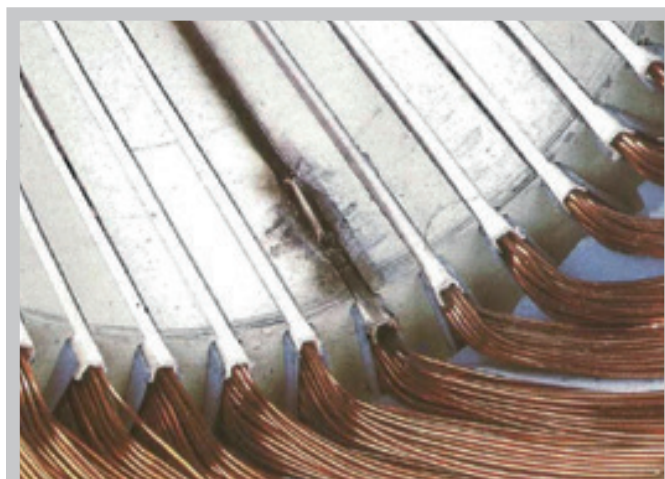


Рисунок 1
Замыкание в пазу на корпус

жать большие напряжения, чем указанные в стандартах. Для грубых расчетов, когда речь идет о диагностике или ремонте, то есть не о новом двигателе, можно пользоваться следующими формулами для определения необходимого импульсного напряжения:



Рисунок 2
Короткое замыкание между витками

$$U_{\text{тест. HVAC}} = 2 \times U_{\text{ном.}} + 1000 \text{ В}$$

$$U_{\text{имп.}} = 1,5 \times U_{\text{тест. HVAC}}$$

$U_{\text{тест. HVAC}}$ – максимальное напряжение высоким напряжением переменного тока

$U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение электродвигателя

$U_{\text{имп.}}$ – импульсное напряжение тестирования

Тестер должен удовлетворять полученным расчетным данным. Импульсное напряжение достаточной амплитуды необходимо еще и для того, чтобы обнаружить все типы дефектов, которые могут возникнуть в изоляции соседних витков. Дело в том, что межвитковые замыкания условно разделяют на две группы: постоянные и возникающие только при подаче повышенного напряжения. Обнаружить дефекты первой группы проще, т.к. это постоянный контакт двух соседних витков с дефектом в изоляции. Вторая же группа относится к тому случаю, когда между витками с дефектом в изоляции нет постоянного контакта, а сам дефект возникает только при большой разнице потенциалов между витками в зоне повреждения изоляции. Тест импульсным напряжением может создать достаточную разницу потенциалов между одиночными витками в короткий промежуток времени.

На **рисунках 3 и 4** показаны возможные варианты переносных исполнений импульсного тестера от компании Schleich MTC2. Это наиболее актуальное исполнение для тех предприятий, которые занимаются ремонтом и диагностикой электродвигателей. Максимальное импульсное напряжение у тестера в таком исполнении – 15 кВ. Из-за размеров корпуса данный тестер нельзя укомплектовать тестом высокого напряжения переменного тока и тестом обнаружения частичных разрядов. Вернее, можно, но это будет отдельный стационарный прибор, подключающийся к тестеру через специальный интерфейс. И будет потеряно одно из основных преимуществ этого оборудования – мобильность.

К обязательным тестам, которые всегда включены в комплектацию переносного исполнения, относятся:

- Тест импульсным напряжением.
- Тест высоким напряжением постоянного тока.

В качестве опции мобильные тестеры можно дооснастить тестом измерения сопротивления с температурной компенсацией.

Одним из преимуществ импульсных тестеров компании Schleich является их полностью автоматизированный процесс тестирования – однократное подключение выводов тестера к проверяемому статору, в дальнейшем не требуется проводить никаких манипуляций с зажимами независимо от типа испытания. Используя одни и те же зажимы, можно измерять активное сопротивление и проводить тест высоким или импульсным напряжением.

Рассмотрим на примере тестирования статора процесс поиска неисправностей с помощью импульсного тестера Schleich MTC2-15 кВ. Программное обеспечение позволяет проводить тестирование в ручном и автоматическом режимах по уже созданной тестовой программе. Последний режим наиболее актуален при серийном производстве. Оператору необходимо загрузить заранее подготовленную тестовую программу и запустить процесс



Рисунок 3
Мобильное исполнение тестера Schleich MTC2-6 кВ



Рисунок 4
Мобильное исполнение тестеров Schleich MTC2-6 кВ, MTC2-12 кВ, MTC2-15 кВ

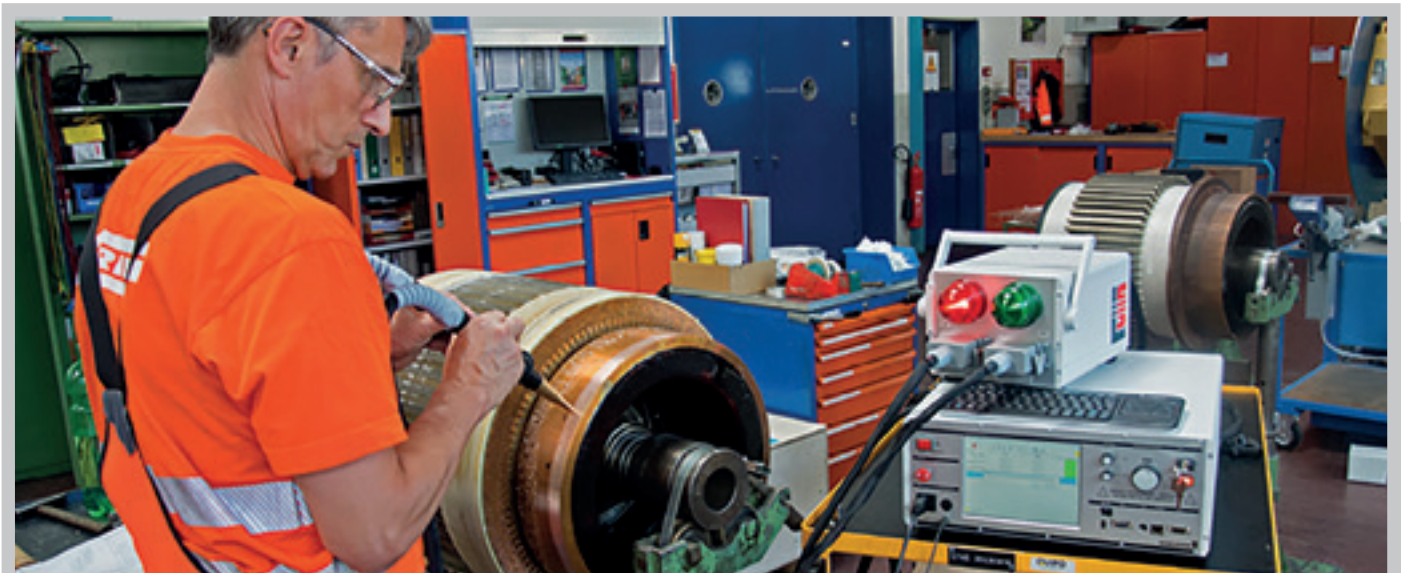


Рисунок 5
Проверка якоря на межвитковые замыкания импульсным тестом на установке Schleich MTC2

тестирования. А в случае диагностики статора при проведении ремонтных работ у оператора с большой вероятностью не будет готовой тестовой программы.

После запуска ручного режима тестирования необходимо выбрать схему включения фаз статора и номинальное напряжение (**рисунок 6**). Эта функция предотвращает испытание с применением слишком высокого испытательного напряжения. Тестером предусмотрены максимальные испытательные напряжения в зависимости от номинального напряжения (**таблица 1**).

Тестер обнуляет все предыдущие значения тестирования. В нашем примере статор имеет соединение фаз по схеме звезда, номинальное напряжение при данном типе соединения фаз - 415 В.

Далее переходим к тесту измерения активного сопротивления. Тестер делает замеры сопротивления между указанными на дисплее клеммами. Значения отображаются приведенными к температуре +20 °С, чтобы их можно было сравнить с другими, полученными позже при тестировании в других температурных условиях. Также тестер показывает значения без компенсации по температуре, окружающую температуру, при которой проводились измерения, максимальный разброс между измеренными значениями в абсолютных величинах и процентах (**рисунок 7**). Если активные сопротивления удовлетворяют условиям тестирования, можно переходить к следующему

Таблица 1
Максимальные испытательные напряжения в зависимости от номинального напряжения

Номинальное напряжение	Максимальное испытательное напряжение
110 В	1900 В
230 В	2200 В
400 В	2700 В
500 В	3000 В
660 В	3500 В
Максимум	Напряжение ограничивается максимальными возможностями тестера

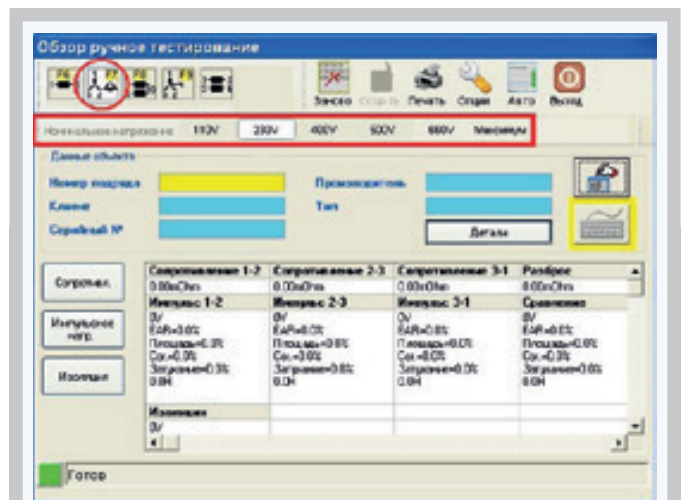


Рисунок 6
Программное обеспечение тестера Schleich MTC2. Ручной режим тестирования: выбор схемы включения фаз и номинального напряжения



Рисунок 7
Программное обеспечение тестера Schleich MTC2. Ручной режим тестирования: замер сопротивления по всем фазам

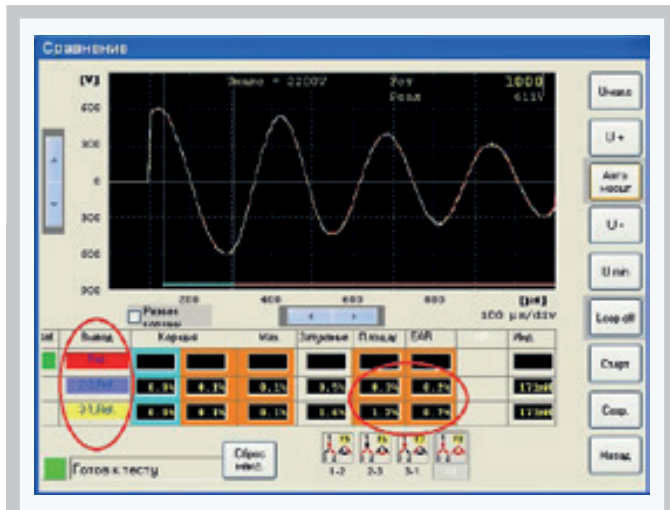


Рисунок 8
Тест высоким напряжением постоянного тока, расчет коэффициентов абсорбции и поляризации

тесту.

Проверка импульсным напряжением межвитковой изоляции проводится приложением скачкообразного импульса напряжения между двумя зажимами испытуемых катушек. Межвитковое испытательное напряжение генерируется затухающим колебательным разрядом конденсатора. Если все затухающие осциллограммы, полученные по обмоткам двигателя, совпадают, то можно говорить об отсутствии дефектов. В тестере предусмотрено несколько методов сравнения осциллограмм, которые базируются на измерениях площадей под осциллограммой. Главное, что для пользователя есть критерий, по которому браковать обмотку – разница в площадях, выраженная в процентах. Естественно, что данная разница будет сильно зависеть от изделия. Но обычно, если активные сопротивления одинаковые, то при условии отсутствия дефектов осциллограммы совпадают, а значит, и разница в процентах между площадями будет стремиться к 0% (**рисунок 8**).

Рисунок 9 показывает разницу между двумя наиболее распространенными методами сравнения, используемыми в импульсных тестерах компании Schleich.

Формула первого метода сравнения:

$$EAR = |Adiff| \times 100 \% / |Aref|$$

Aref - площадь под базовой осциллограммой;

Adiff - разница между базовой и сравниваемой осциллограммами.

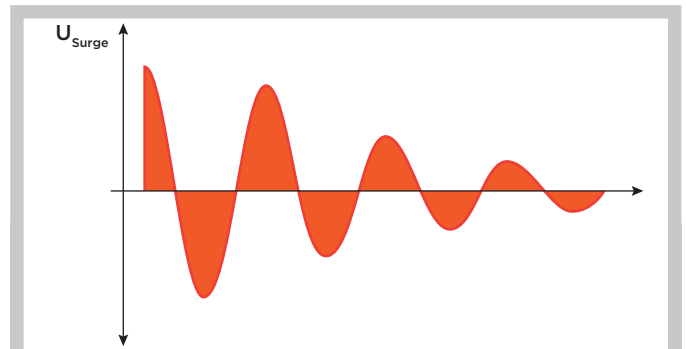
Формула второго метода сравнения:

$$EDiffAR = ||Aref| - |Ablue|| \times 100 \% / |Aref|$$

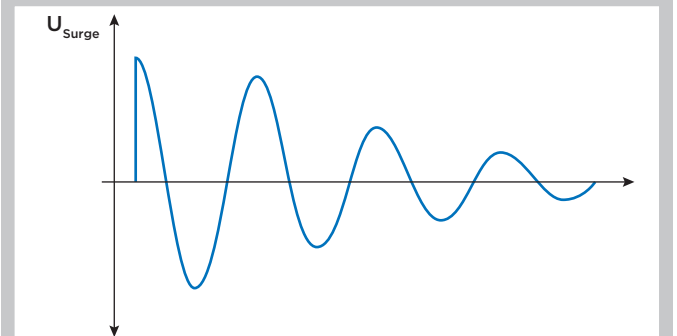
Aref - площадь под базовой осциллограммой;

Ablue - площадь под сравниваемой осциллограммой.

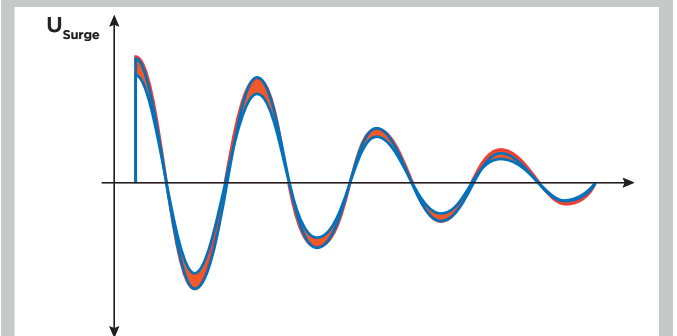
Тест высоким напряжением постоянного тока выявляет дефекты в корпусной изоляции. Критерий отбраковки – ток утечки или сопротивление изоляции. Можно настраивать скорость нарастания и время выдержки высокого напряжения при тестировании. Также тестер измеряет коэффициент абсорбции и поляризации (**рисунок 10**).



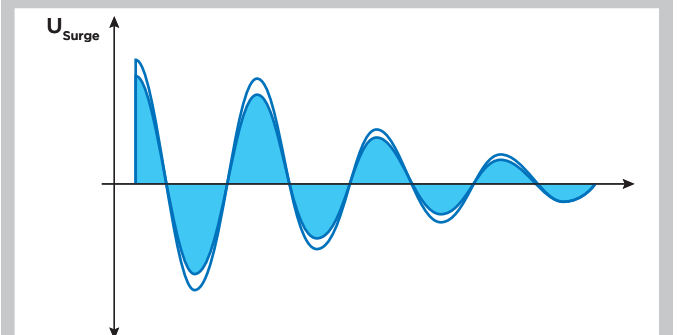
A_{ref} – площадь под базовой осциллограммой



Вторая (сравниваемая) осциллограмма



A_{diff} – разница площадей между базовой и сравниваемой с базовой осциллограммами



A_{blue} – площадь под второй осциллограммой

Рисунок 9
Используемые площади в двух наиболее распространенных методах сравнения осциллограмм компании Schleich

Коэффициент абсорбции измеряют по формуле:

$$Каб = R60 / R15$$

R60 и R15 – сопротивление изоляции, измеренное соответственно через 60 и 15 с после приложения напряжения мегаомметра.

Для неувлажненной обмотки при температуре 10-30 °С: Каб=1,3-2,0, а для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Это различие объясняется разной длительностью заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции. Коэффициент поляризации показывает способность заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, что определяет степень старения изоляции. Метод измерения основан на сравнении показаний мегаомметра, снятых через 60 и 600 секунд после начала испытаний. Значение коэффициента показывает остаточный ресурс изоляции.

Коэффициент поляризации определяется следующими показателями:

- **Меньше 1** – изоляция является опасной;
- **От 1 до 2** – изоляция сомнительная;
- **Больше 2** – изоляция хорошая.

Абсолютно все импульсные тестеры компании Schleich позволяют выявить дефекты в изоляции обмотки. Это касается как корпусной изоляции, так и межвитковой. Программное обеспечение тестера предоставляет возможность пошагового тестирования для быстрого тестирования двигателя без готовой тестовой программы. Результаты проверки сохраняются, их можно распечатать. Мобильные тестеры полностью адаптированы по конструкции и программному обеспечению для проведения периодических испытаний электродвигателей, а также испытаний после капитального и текущего ремонта.

Мобильные тестеры компании Schleich уже давно являются обычным оборудованием при тестировании электродвигателей в странах Европы и Америки. Учитывая стоимость прибора и типы дефектов, которые он может выявлять, а также оценивая возможные риски при поломке электродвигателей, вопрос о необходимом оборудовании и типах тестирования можно считать закрытым.

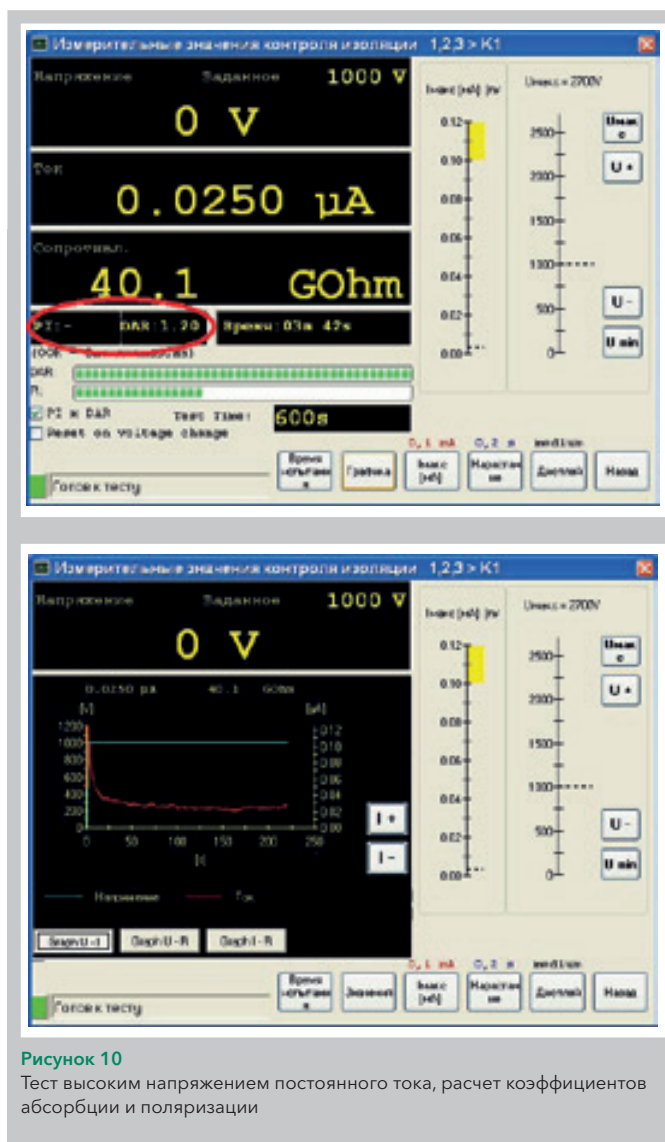


Рисунок 10
Тест высоким напряжением постоянного тока, расчет коэффициентов абсорбции и поляризации

Психология измерений

Андрей Насонов

Психология измерений – что это, парадоксальная игра слов или шутка? Вовсе нет. Это наиболее точное определение причин низкого качества выпускаемой продукции и неудовлетворительных темпов технологического развития. Что имеется ввиду? Какие бы современные технологии мы не использовали, основной производительной силой все равно будет оставаться человек. Именно он принимает решение о том, что нужно делать, а без чего можно обойтись. Человеку свойственно двигаться к цели наиболее быстрым и легким путем, то есть минимизировать затраты. Это происходит инстинктивно, потому что заложено в нашу психологию на генетическом уровне. Нам хочется победить как можно быстрее и легче. Казалось бы, в чем проблема, если цель достигнута?

А проблема в том, что именно считать целью. Инстинктивно, чтобы облегчить достижение положительного результата, человек упрощает цель. То есть чтобы стимулировать выработку гормона счастья дофамина, можно доказать теорему Пуанкаре, а можно просто в домино выиграть. Рассмотрим, как это работает в промышленности. Например, есть задача разработать и освоить в производстве новое технически сложное изделие электронной техники. Первый этап – разработка и согласование технического задания (ТЗ). Не важно, кто его разрабатывает, все равно согласовывать его между собой будут заказчик и исполнитель. Важно – на что нацелены согласующие стороны.

Целью заказчика в общем случае является получение изделия наилучшего качества за наименьшие деньги. Желание само по себе уже противоречивое. Хуже всего, что заказчик обычно не обладает знаниями, позволяющими оценить реальную сложность задачи, именно по этой причине ТЗ в большинстве случаев составляет исполнитель. Исполнитель заинтересован получить заказ, а значит, постарается заказчика излишне не пугать, особенно, когда есть конкуренты. К тому же ТЗ подписывает, как правило,

разработчик изделия, и не факт, что он будет задумываться обо всех проблемах, которые возникнут на стадии производства. То есть такие понятия как тестопригодность изделия, соответствие конструкции имеющемуся технологическому оборудованию и прочие якобы мелочи не учитываются.

Можно возразить, что в ТЗ есть пункты, определяющие уровень надежности и качества изделия. Зачем еще что-то? Разработчик сам решит, что необходимо для выполнения ТЗ. Вполне возможно, что решит, но только на опытных образцах, которые сам настроит и проверит. А что будет при запуске в серийное производство – неизвестно. Там другой уровень квалификации регулировщиков, а настраивать изделие так же долго, как опытный образец, – совершенно недопустимо. В момент согласования ТЗ и заказчик, и исполнитель если и понимают все возможные проблемы, то не спешат задуматься о них. Работает классический подход «я подумаю об этом завтра». А завтра будет уже поздно и даже не по времени, а по затратам. Стоимость необходимого оборудования для тестирования и измерений, как правило, весьма значительна. И если это не учесть при подписании ТЗ, начнутся рассуждения



Рисунок 1
Адаптерное устройство для компонентов 1206 ЛДПА.441532.008

на тему «как сделать попроще». И делают проще, превращая этап запуска в производство в длительную и весьма нервную эпопею. Зато сколько положительных эмоций, когда получилось. Правда, с дополнительными затратами, в том числе временными.

По факту же – сами создали себе проблему и «героически» её решили. Почему так жестко? А потому, что отдельного этапа освоения в производстве не должно быть вообще. В ТЗ для разработчика должно быть сразу написано все, что нужно, чтобы он выдал не просто комплект КД, а абсолютно все необходимое для производства: весь техпроцесс, все оборудование и оснастку для тестирования, все программы для автоматов, все инструкции, маршруты и т. д. Понятно, что, разрабатывая изделие на таких условиях, он учтет в конструкции технологические особенности производства и требования по тестопригодности, и не надо будет ничего дорабатывать. Предвижу возражение: это что же получается, конструктор должен отвечать за все? Вообще-то, да. Это не значит, что он должен все сам сделать, нет, но именно он должен обо всем подумать, подключить необходимых соисполнителей и определить размер необходимых ресурсов. И тут может выясниться, что трудоемкость разработки приборов и оснастки, необходимых для организации производства и испытаний, превышает трудоемкость разработки самого изделия. Именно разработка. Одна из широко распространенных иллюзий – что все можно купить стандартное, без доработки или дооснащения.

Например, необходимо организовать входной контроль SMD-компонентов резисторов. Имеется омметр с подходящими характеристиками. А как подключаться? Необходим адаптер. Это уже не совсем стандартное оборудование. Не может быть, чтобы такая простая задача превратилась в большую проблему! Но на практике – может. На рынке нельзя найти ничего готового, что можно было бы использовать в производственных условиях, и, самое главное, чтобы это было метрологически состоятельно. Необходимо кельвиновское четырехконтактное подключение, а доступны только разнообразные приспособления от различных приборов. Но они двухконтактные и, следовательно, вносят погрешность при измерении. И это, строго говоря, лабораторные приспособления, а ни-



Рисунок 2
Измеритель параметров ферромагнитных сердечников тороидальной формы типа Ш1-23 ЛДПА.411174.001ТУ

как не промышленное оборудование.

И адаптерные устройства пришлось разрабатывать в России (рисунок 1). Типов корпусов у компонентов много, а значит и адаптеров будет большое количество. Но ведь речь идет об использовании оборудования на производственном предприятии, значит необходимы не омметр с адаптерами, а полноценное рабочее место входного контроля. И это не только стол, стул и приборы, это инструкции и методики и метрологическая аттестация.

При организации входного контроля или, как правильнее говорить, верификации закупленной продукции (ГОСТ 24297-2013) могут возникать совершенно неожиданные проблемы, связанные с отсутствием оборудования.

Например, необходимо организовать входной контроль ферритовых колец. В ТУ на эти изделия имеется методика, которая предусматривает следующую последовательность действий: на кольцо наматывается пробная катушка, обычно 10 витков; затем проводится измерение ее индуктивности; и по известной формуле, учитывающей размеры кольца, – расчет величины начальной магнитной проницаемости. Весьма значительный и трудоемкий процесс. А можно использовать специализированный прибор Ш1-23, российское изделие, не имеющее иностранных аналогов (рисунок 2). Кольцо надо надеть на стержень магнитного датчика и считать значение начальной магнитной проницаемости с экрана.

Многие думают: вот начнут возникать проблемы с комплектующими, тогда и будем решать, зачем заранее об этом думать, тратить время и силы? Психологически такая точка зрения понятна – это та же минимизация усилий. Это все равно, что, садясь в лодку, не думать о спасательном жилете. А зачем? Начнем тонуть – подумаем. С входным контролем ситуация еще хуже. Особенно если учесть, что лодки все-таки не часто переворачиваются, а контрафакт и брак есть всегда.

То же самое наблюдается и при подготовке оборудования для настройки и испытаний изделия. Даже если состав необходимых средств измерений определен, далеко не всегда задумываются о том, как подключатся к изделию. А ведь для этого многое необходимо сделать еще при проектировании.

Наиболее наглядный пример – когда на плате изделия

имеются компоненты, поддерживающие технологию тестирования JTAG, но соответствующие выводы микросхем на плате не доступны, что делает невозможным использование технологии при производстве изделия. После уже ничего нельзя будет сделать, только заново проектировать плату. Придется использовать другие технологии, которые на два порядка дороже, чем JTAG. А всего-то надо было в ТЗ обозначить требования к оборудованию для тестирования.

Разумеется, возникает вопрос: а что же делать, если подобный подход к делу в принципе соответствует нормальной психологии человека? Существует только один вариант. Если человек стремится максимально облегчить путь к поставленной цели, то надо обозначать цель по-другому. Например, на предприятии осваивается новое изделие. Цель понятна: разработать и изготовить, получить прибыль. Многие так и поступают. С точки зрения рядового исполнителя цель обычно видна, это нормальный тактический подход. Но должен быть еще и подход стратегический. С этой точки зрения каждое новое изделие должно способствовать развитию предприятия. Должны появляться новые технологии и оборудование. Это вопрос руководства предприятия, и здесь существует масса механизмов управления, которыми надо воспользоваться. Например, чтобы в ТЗ появились конкретные пункты, предписывающие провести ряд работ для обеспечения последующего производства, необходимо издать соответствующий стандарт предприятия и добиться его

выполнения.

Разумеется, на стратегическом уровне принятия решений определяется, какие технологии необходимо осваивать для обеспечения развития предприятия. Конечно, технологическое оборудование для внутрисхемного тестирования (**рисунок 3**) весьма недешево.

Без этой технологии добиться приемлемого на современном уровне качества выпускаемой продукции практически невозможно. Однако ничего не изменится, если просто приобрести оборудование. Эффективность его использования будет весьма незначительна. Необходимо обучить персонал и не только тех, кто будет на нем работать, но, прежде всего, разработчиков и технологов. Только тогда начнут появляться новые разработки, конструкция которых в полной мере соответствует возможностям современных технологий. И опять же, чтобы не искушать соблазном не делать «лишнего», надо четко регламентировать использование технологии на уровне внутриводских стандартов.

В процессе принятия решений об освоении новых изделий целесообразно привлекать специалистов инженеринговых компаний. Но не для того, чтобы они выполняли функции арбитра между заказчиком и исполнителем. Их основная роль – использовать свои знания о современных технологиях для помощи в выборе наиболее рациональных подходов, учитывающих положительный опыт других предприятий.



Рисунок 3
Тестер с летающими пробниками SPEA4060

Электротест алюминиевой катанки

Тимофей Максимов

С самого зарождения цивилизации человек учился добывать и использовать металл себе во благо. Первым металлом, доступным для обработки, стала медь, которая в сочетании с оловом превратилась в бронзу. Затем себе на службу человек взял серебро, золото и железо. Технология обработки металлов совершенствовалась и давала толчок для развития сложных инженерных устройств: от мелкой механики и ювелирных изделий до строительных конструкций. Металл активно завоевывал технический мир и в итоге стал его неотъемлемой частью.

И тем не менее, алюминий, столь привычный нам сегодня, «проспал» даже Промышленную революцию и начал масштабно использоваться только с обретением человечеством технологического уровня, достаточного для его получения в больших количествах. Открытый в 1886 году Чарльзом Холлом и Полем Эру метод растворения глинозема в криолите с использованием электролиза требовал значительных энергозатрат, что затрудняло его применение. И даже сейчас процесс промышленного получения алюминия сложен и ответственен. А спрос на «летучий» металл при этом огромен: аэрокосмическая отрасль, строительство, медицина, машиностроение, электротехника и электроника – только первые строчки в очереди его потребителей!

Очевидно, что для применения в этих отраслях каче-

ство каждого сплава алюминия должно жестко контролироваться. На качество влияют множество факторов – это и включение паразитных сопутствующих металлов, таких как титан, медь, железо; это и конечный состав с легирующими металлами от меди до редкоземельного скандия; также необходимо отслеживать в структуре заготовок из металла наличие шлаковых включений и каверн. Как и чем это контролировать? Одна из стратегий контроля представляет собой измерение электрического сопротивления, так как на него существенно влияют и химический состав сплава, и наличие неоднородностей в материале.

Электротехническая и энергетическая промышленности используют около 30 % произведенного алюминия. Для этого полученный алюминиевый сплав преобразуют в цилиндрическую катанку определенного сечения. Самым

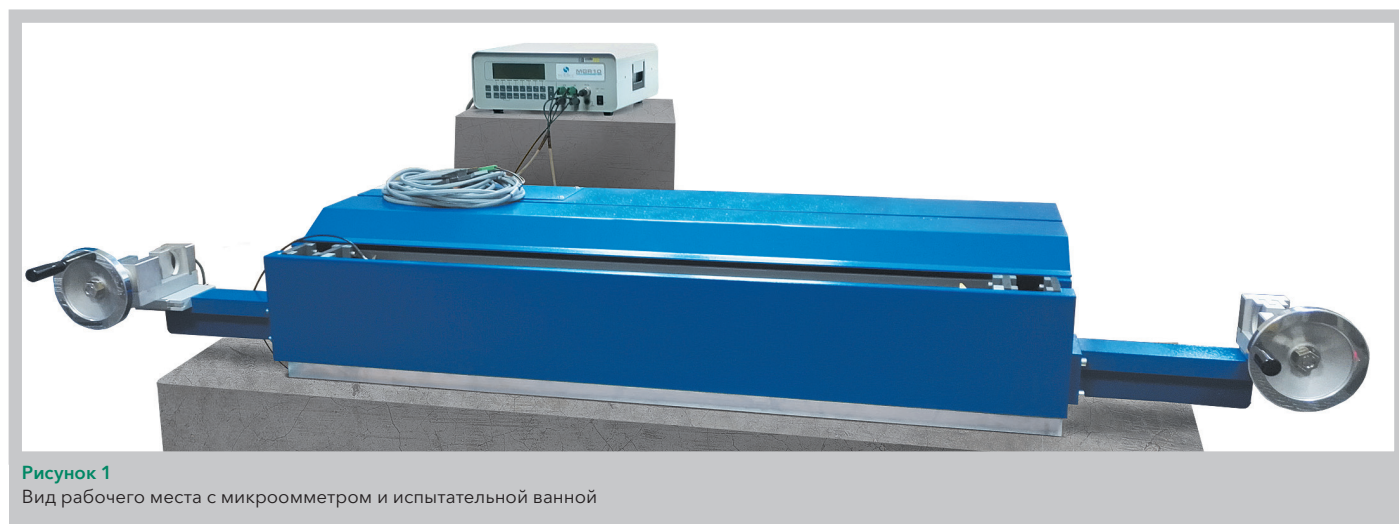


Рисунок 1
Вид рабочего места с микроомером и испытательной ванной

удачным решением для контроля такой продукции является измерение электрического сопротивления метрового образца. Для отслеживания малейших химических и физических отклонений измерение должно быть максимально точным. Прецизионные микроомметры не позволяют в полной мере достичь требуемых показателей точности. Чтобы повысить точность измерений эталонного образца катанки необходимо дополнительно использовать водяную испытательную ванну для термостатирования образца.

Для решения этой задачи мы используем комплект оборудования, состоящий из микроомметра MGR10 и специальной испытательной ванны МК-4 французской фирмы Sefelec (рисунок 1).

Методика испытаний следующая. Образец катанки длиной около 2 метров фиксируется в испытательной ванне с помощью специальных краевых зажимов и натягивается (рисунок 2). Подключение к образцу осуществляется по 4-проводной схеме (методу Кельвина), где токовые выводы коммутируются с зажимами изделия, а потенциальные соединяются с механизмом, отмеряющим 1 метр изделия. Таким образом, компенсируется влияние измерительных проводов на значение сопротивления образца.

Ванна состоит из двух отсеков: накопительного и испытательного. После фиксации образца включается встроенный в ванну насос и перекачивает воду из накопительного отсека в испытательный. Таким образом, уровень воды доходит до образца. В течение минуты образец достигает температуры окружающей среды, даже если он прибыл на испытания сразу после термической обработки. В этот момент измеряется сопротивление образца, затем насос выключается, и вода перетекает обратно в накопительный отсек. Остается только извлечь изделие из зажимов.

Измерения сопротивления осуществляются высокоточным микроомметром MGR10 (рисунок 3), достигающим точности не менее $0,03\% + 0,02\%$ минимальной шкалы 3 мОм. Специальным пробником считывается температура жидкости в ванне с точностью до десятой доли градуса и производится пересчет измеренного значения на $20\text{ }^\circ\text{C}$ или другую выбранную пользователем температуру.

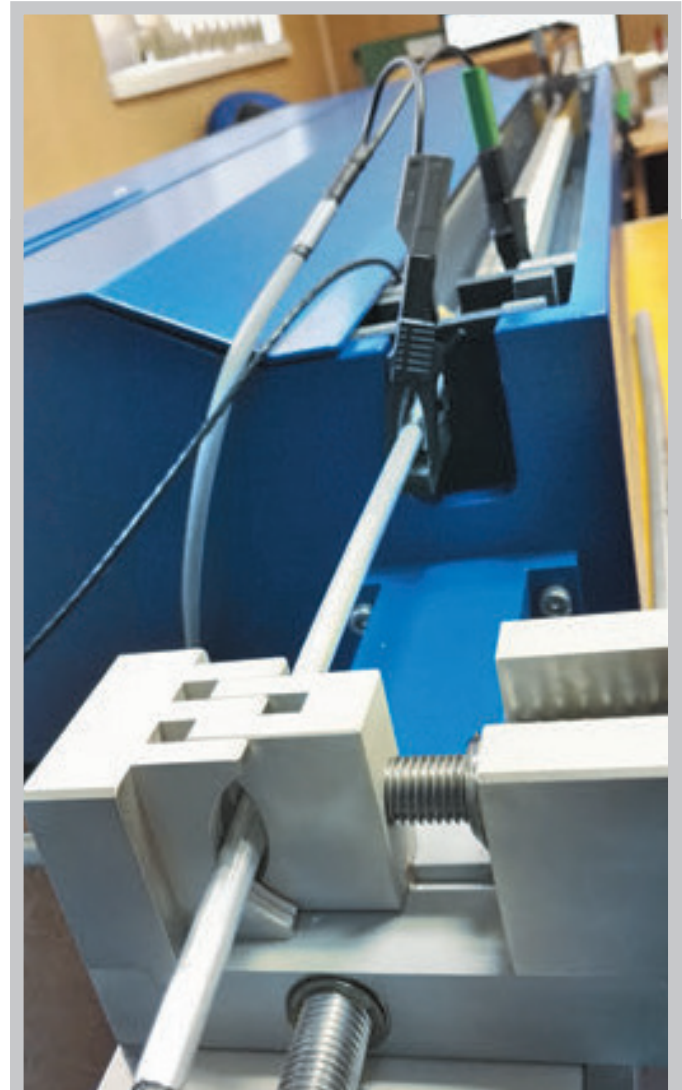


Рисунок 2
Зажим алюминиевой катанки в испытательной ванне

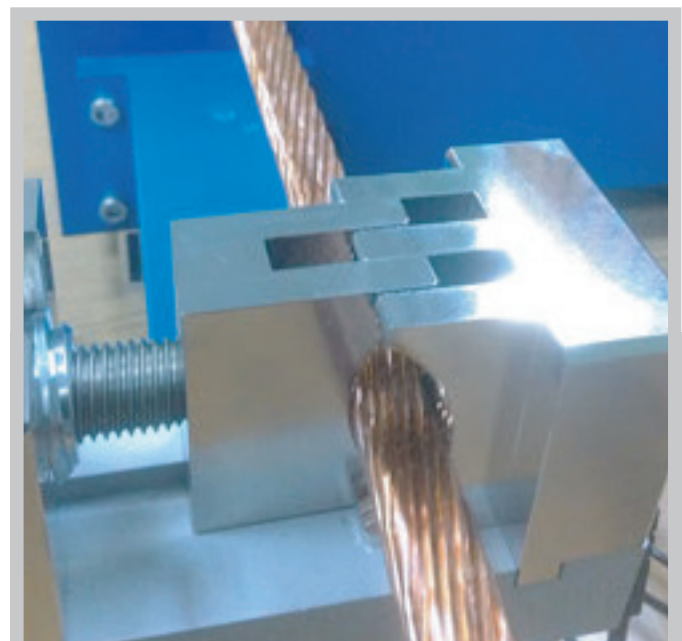


Рисунок 4
Медная кабельная жила в испытательной ванне



Рисунок 3
Микроомметр MGR10

Компенсация вычисляется по формуле

$$\frac{R_x}{(1 + \alpha(t - 20^\circ\text{C}))}$$

R_x – измеренное сопротивление, а R_c – пересчитанное.

Температурный коэффициент α выбирается пользователем, исходя из материала образца, например, для алюминия $\alpha \approx 4100$ единиц/млн/°С.

Широкий функционал прибора позволяет выбирать различные режимы измерений. Например, для нестабильных образцов можно использовать режим, позволяющий произвести до 32 замеров с вычислением среднего значения, а также проводить измерения сопротивления со сменой полярности. Этим достигается наилучшее качество измерения.

Это решение хорошо зарекомендовало себя не только на предприятиях алюминиевой, но и кабельной промышленности, где используются как цельные, так и многопроволочные свитые жилы из алюминиевой или медной проволоки (**рисунок 4**). Существенной разницы в методике испытания нет – алюминиевая катанка это или свитая медная жила. Необходимо лишь правильно установить настройки на микроомметре, например, температурный коэффициент сопротивления материала.

Алюминий – непростой в изготовлении металл. И для контроля качества ответственных изделий из него требуется надежная, достоверная и в то же время простая в использовании техника.

Микроомметр MGR10 и испытательная ванна МК-4 позволяют гарантированно находить малейшие отклонения сопротивления образцов, на которое влияют химический состав сплава и дефекты структуры. Отслеживая качество и надежность своей продукции и вовремя устраняя дефекты, производитель выходит на новый конкурентный уровень.

Внутрисхемное тестирование на установках SPEA 40XX теперь доступно каждому!

Игорь Смирнов

Первые системы с летающими пробниками для внутрисхемного контроля собранных печатных узлов появились в России около 15 лет назад. В то время уже работали первые линии поверхностного монтажа, изделия постепенно перерабатывались с учетом требований к SMD-компонентам, появлялись тематические журналы, статьи, проводились выставки и семинары для быстроразвивающейся отрасли. Однако понятие внутрисхемного контроля было еще в диковинку, системы с летающими пробниками можно было увидеть только на зарубежных выставках, и у специалистов не было понимания – а зачем нам это нужно? Ведь всю жизнь проверяли собранные узлы на стендах функционального контроля, и работало! Да, были ошибки, проблемы, брак, но ведь можно же сделать еще – а вдруг следующий блок будет без дефектов и точно заработает?

Но бесконечно так продолжать было нельзя – изделия становились все сложнее, компоненты все меньше, а ошибок все больше. И тогда специалисты решили пристальнее присмотреться к диковинной машине – системе с летающими пробниками, и к возможности проведения на ней внутрисхемного тестирования (ICT, In-Circuit Test) еще до этапа функционального контроля изделия.

Что же такое внутрисхемный контроль? Это средство локализации дефектов компонентов и дефектов изготовления печатного узла, при котором без подачи рабочего напряжения питания осуществляется проверка изделия на короткие замыкания, обрывы и целостность цепей, проводятся параметрический контроль дискретных компонентов и структурный тест. И только после положительных результатов выполнения внутрисхемного контроля мы имеем право отдать изделие на функциональный контроль, не опасаясь внести вторичные дефекты.

Технология внутрисхемного контроля довольно быстро завоевала популярность среди специалистов. Разработчики и конструкторы, технологи и инженеры, начальники цехов и высшее руководство предприятий – все

понимали необходимость проведения ICT для повышения качества своей продукции. И результаты не заставили себя ждать – системы с летающими пробниками начали быстро распространяться по производственным предприятиям России, делая особый акцент на повышении качества производимой РЭА и обеспечении задела при построении высокотехнологичного производства. На сегодняшний день насчитывается около 100 единиц установок такого типа в России и странах СНГ, из них половина – это системы с летающими пробниками серии SPEA 40XX (рисунок 1).

В России основная масса установок с летающими пробниками эксплуатируется на предприятиях, производящих многономенклатурную мелкосерийную продукцию и изделия ответственного применения.

Однако есть и успешно реализованные проекты в частных компаниях: кто-то имеет собственное сборочно-монтажное производство и пользуется на выходе ICT, кто-то производит изделия на стороне, оставляя себе лишь внутрисхемное тестирование, программирование и итоговый функциональный контроль. И вот здесь возникает резонный вопрос – а что делать тем, кто отдает сборку своих изделий контрактникам и при этом не имеет у себя системы с летающими пробниками? А проверять изделие с помощью внутрисхемного тестирования сейчас становится почти обязательным требованием. Есть ли в России контрактные сборщики печатных узлов, которые могут сделать ICT? Теперь мы с уверенностью можем сказать – да!

Первой и пока единственной компанией, контрактным производителем электроники с возможностью проведения внутрисхемного тестирования на базе оборудования компании SPEA, стало ООО «АТ» (входит в холдинг «А-Контракт», г. Санкт-Петербург). В конце 2017 года компанией «Остек-Электро» на предприятие была поставлена установка SPEA 4040, проведен шефмонтаж и обучение персонала. На мой взгляд, это событие станет поворотным, революционным в развитии систем с летающими проб-

никами на рынке контрактного производства электроники. ООО «АТ» теперь может предлагать своим клиентам эксклюзивную услугу внутрисхемного тестирования на установке SPEA 4040, ранее недоступную никому из контрактников. Теперь любая компания может проверить свое изделие на системе с летающими пробниками, обратившись в ООО «АТ».

На сегодняшний день ООО «АТ» – один из крупнейших и узнаваемых контрактных производителей электроники на рынке России. Имея в своем арсенале две высокопроизводительные линии поверхностного монтажа, участок опытного производства, участок функционального контроля, цех выводного монтажа, компания готова выполнить заказы по производству электронных блоков любого уровня сложности. И они ежедневно доказывают это на деле.

О том, сколько усилий было затрачено на подбор системы с летающими пробниками, почему для задач внутрисхемного тестирования была выбрана именно SPEA, сколько времени на это ушло и о других интересных деталях рассказывает директор по производству ООО «АТ» **Федоров Сергей Валерьевич**.

Сергей Валерьевич, расскажите, пожалуйста, о компании «АТ», о том, какие услуги вы предлагаете своим клиентам сегодня.

ООО «АТ» входит в холдинг «А-Контракт», и наша основная услуга – это контрактное производство электроники. На сегодняшний день мы обладаем широким спектром оборудования и компетенций в области приборостроения, позволяющим поставлять нашим клиентам как отдельные электронные блоки, так и полностью собранные и работоспособные изделия. Мы стремимся предоставлять нашим клиентам максимальный набор услуг, связанный с производством электронных блоков: от участия в разработке и оптимизации изделия к серийному производству

до функционального контроля, упаковки и отправки готовых изделий в адрес конечного потребителя. Как правило, работа начинается с получения от наших клиентов конструкторской документации на изделие в виде электронных файлов из различных САПР, спецификации и т. д. На этом этапе мы проводим технологическую экспертизу проекта (DFM), позволяющую до запуска изделия в производство выявить недочёты и ошибки в конструкции или документации, которые влияют на его работоспособность или надёжность. На этом этапе можно произвести оптимизацию изделия для серийного производства.

Также мы можем предложить нашим клиентам поставку различных комплектующих, необходимых для производства изделий: печатные платы, электронные компоненты, корпуса и другие элементы конструкции изделий. Причём это могут быть как стандартные элементы, например, корпуса или радиаторы, так и конструкции из различных материалов, выполненные на заказ по индивидуальным проектам. Наше оборудование позволяет нам качественно выполнять и ручной, и автоматизированный монтаж поверхностных и выводных компонентов, проводить контроль выполненной работы на различных этапах вне зависимости от того, выполняется ли монтаж изделия впервые или это серийная продукция. Несколько лет назад мы внедрили на нашем производстве систему прослеживаемости (traceability). Сегодня эта система позволяет нам не только точно придерживаться маршрута движения изделия по производству, но и знать, какие работы, когда и кем были выполнены, а также какие комплектующие и от какого поставщика для этого использовались.

С момента основания компании мы уделяем особое внимание качеству. Упор на качество и ответственность за выполненную работу привели к тому, что основной нашей специализацией на рынке услуг по контрактной сборке электроники в России стало производство сложных электронных блоков и устройств, нередко эксплуатирующихся



Рисунок 1
Семейство установок с летающими пробниками серии SPEA 40XX

в экстремальных условиях, а также блоков ответственного применения. Выбор этого направления потребовал от нас обеспечения максимального контроля выполняемых операций при производстве электронных блоков, а также возможность с помощью различных методов подтвердить их работоспособность.

Так, много лет назад, мы стали одними из первых контрактных сборщиков в России, у кого появились собственные АОИ и установка рентгеновского контроля, а затем участок функционального контроля и испытаний, позволяющий производить программирование изделий и проверку их функционирования в различных климатических условиях. Следуя именно этому вектору, мы приняли решение о внедрении системы внутрисхемного контроля на своём производстве.

Когда вы впервые познакомились с понятием внутрисхемного контроля? Почему решили внедрить систему с летающими пробниками у себя на производстве?

Первое знакомство с системой внутрисхемного контроля с летающими пробниками было, наверное, на одной из выставок Productronica в Мюнхене, лет 10-12 назад...

Тогда мы увидели эти установки вживую, заинтересовались, что это такое, для чего применяется, какой эффект от внедрения мы могли бы получить. Потом технологию внутрисхемного контроля начали активно продвигать в России представители компаний поставщиков оборудования – Остек и Совтест. Проводились выездные семинары, тестировались изделия клиентов на демосистемах, писались статьи и различные новости – в общем, пиар был сильный.

У нас, как у контрактных сборщиков сложной электроники, понимание, для чего необходимо ICT, появилось почти сразу. Также сразу было понятно, что в наших условиях максимально эффективно можно использовать именно систему с летающими пробниками, как наиболее гибкую в условиях изготовления большой номенклатуры изделий.

Оставалось лишь решить финансовый вопрос, поскольку цена установки очень высока. Поскольку мы коммерческая организация, вопросы окупаемости системы и обоснования необходимости её покупки имели не последнее значение. Ну, и конечно, необходимо было определиться, с какой именно системой нам было бы удобнее работать, понять, у кого из поставщиков наиболее качественная техподдержка, разобраться в нюансах оборудования. В итоге, наш путь от осознания необходимости применения системы внутрисхемного контроля у нас на производстве до внедрения технологии занял порядка 10 лет.

Как проходил выбор поставщика оборудования, что особенно запомнилось? Почему вы выбрали для своего производства именно систему SPEA?

Изначально мы выбирали между тремя установками с летающими пробниками и, соответственно, тремя компаниями-поставщиками данного оборудования: Остек с установкой SPEA 4060, Совтест с SEICA Pilot V8 и Диполь с Такава АРТ-9600. Понимая, что установка очень сложная

в программировании и эксплуатации, одним из основных критериев выбора для нас являлась техническая поддержка. Вообще могу сказать, что выбор установки был непростой, осознанный, очень долгий по времени, так как все три поставщика систем были сильными и приложили немало усилий в конкурентной борьбе.

Особенно хочу отметить предоставление возможности посетить современные европейские производства, на которых эти системы установлены и реально используются. Это помогло лучше разобраться с особенностями работы систем внутрисхемного контроля с технической и коммерческой точек зрения. До этого момента системы ассоциировались в нашем понимании только с крупносерийными или военными приложениями. Однако оказалось, что для большинства европейских компаний, занимающихся выпуском изделий, подобных нашим, наличие систем внутрисхемного контроля является принципиальным и необходимым условием получения заказа. Потому что использование таких систем при изготовлении коммерческих заказов не только позволяет решить частные вопросы в обеспечении качества монтажа изделия, например, выявить контрафактные электронные компоненты, но и является инструментом для комплексного обеспечения качества изготовления изделия. Что, в том числе, служит имиджевой составляющей, имеющей непосредственное влияние на коммерческий успех продукта на рынке в условиях жёсткой конкуренции.

Посещение офисов и производств компаний, разрабатывающих и производящих системы внутрисхемного контроля, также имело прямую практическую пользу. В частности, посещение компании SPEA в г. Турин, Италия, совместно со специалистами компании ООО «Остек-Электро» позволило пообщаться с разработчиками ICT SPEA, разобраться в идеологии системы, понять, как разработчики и инженеры SPEA видят наиболее оптимальные приёмы использования этих систем на практике.

Отдельного упоминания достойна служба технической поддержки SPEA. Офис работает 24 часа в сутки. В нём находится база всех машин, эксплуатирующихся в настоящее время во всем мире, что позволяет сервис-инженерам имитировать сложности, с которыми сталкиваются пользователи оборудования, и давать рекомендации по их устранению в минимальные сроки. Кроме этого, компания SPEA предлагает своим клиентам возможность удаленно обрабатывать проекты (создавать программы тестирования) практически в онлайн режиме! Т.е., покупая установку серии SPEA 40XX, клиент может вообще не задумываться о создании тестовых программ, все это сделают инженеры SPEA. Применимо это, я думаю, в первую очередь, именно для Европы, для крупных частных компаний с понятной небольшой номенклатурой изделий и большой серией выпуска. Возможность удаленного создания тестовых программ, конечно же, заранее предусматривается в договоре на поставку и идет за отдельную плату, но если компания готова предлагать услуги такого уровня, то это действительно говорит о многом. И наконец, у нас была возможность посмотреть на новейшую систему SPEA 4080 за несколько месяцев до её официальной презентации на выставке Productronica (**рисунком 2**).

Также хочу отметить два мероприятия, проведенные совместно с сотрудниками ООО «Остек-Электро». Первое прошло в декабре 2014 года у нас в офисе. Это был специализированный семинар для менеджеров отдела продаж, на котором рассказывалось о технологии внутрисхемного контроля и ее особенностях, о том, зачем проводить ICT, какие преимущества даст такая проверка нашим клиентам. Необходимо было, чтобы менеджеры по продажам разобрались, какую выгоду получит заказчик: повышение качества выпускаемой продукции, 100% прохождение функционального контроля после ICT, возможность поиска контрафактных компонентов еще до их монтажа на печатный узел. Важно было, чтобы мы могли объяснить клиенту, что после прохождения ICT их блок будет именно рабочим, а не просто выглядеть как рабочий, поскольку даже оптический контроль и функциональное тестирование не всегда позволяют выявить все скрытые дефекты.

Второй подобный семинар по технологии внутрисхемного контроля был проведен уже в декабре 2016 года на нашем производстве также совместно с «Остек-Электро». Но его отличие от первого заключалось в том, что мы рассказывали о технологии ICT и необходимости её проведения уже непосредственно нашим клиентам. Более того, в этот период у нас стояла демонстрационная система SPEA 4060, работу которой мы показывали нашим заказчикам на их изделиях (рисунок 3).

Учитывая все перечисленные факторы, мы остановили свой выбор на системе внутрисхемного контроля SPEA. Компания Остек смогла предложить нам наиболее удачное решение, исходя из соотношения цена-качество и скорость поставки, а также предоставить грамотную техническую поддержку.

Вы упомянули о демонстрационной системе SPEA 4060, которая находилась у вас на производстве в опытной эксплуатации. Впервые в России установка такого уровня была предоставлена нашему клиенту в демо-пользование. Скажите, насколько был полезен период тестовой эксплуатации?

Безусловно, тестовая эксплуатация была для нас очень полезна. Система с летающими пробниками - сложная и дорогая установка. Мы сознавали, что эффект от её внедрения покроет все потраченные на это ресурсы. Но так как этот вид контроля ещё не получил распространения в нашей стране, нам необходимо было оценить возможность успешного коммерческого использования системы. Тестовая эксплуатация SPEA 4060 была просто идеальным вариантом (рисунок 4), чтобы убедиться в этом. Вообще сам факт, что компания Остек предоставила такую возможность - большая удача для ООО «АТ». Это стало одним из ключевых факторов для выбора именно SPEA.

Систему SPEA 4060 передали нам в опытную эксплуатацию сразу после выставки РАДЭЛ-2016 в Санкт-Петербурге, а ровно через год, после выставки РАДЭЛ-2017, Остек уже отгружал нам нашу систему SPEA 4040. Демосистема была предоставлена нам на довольно длительный тест, что позволило ООО «АТ» самостоятельно разобраться с особенностями работы установки, так сказать, обкатать её



Рисунок 2
Предпремьерный показ установки SPEA 4080 в г. Турин, Италия



Рисунок 3
Демонстрация работы установки SPEA 4060



Рисунок 4
Демосистема SPEA 4060 в процессе работы

на себе. И, по сути, взяв её в демо-пользование, мы стали продавать услугу ICT нашим клиентам. Менеджерам была предоставлена очень хорошая возможность потренироваться и посмотреть, какой отклик найдет на рынке услуга внутрисхемного тестирования. Мы обработали большое количество различных проектов и выяснили, что нашим

клиентам кроме классического ICT не менее интересен входной контроль сложных ИМС (поиск контрафактных компонентов), а также электрическая проверка несмонтированных печатных плат, поскольку многие платы производятся за рубежом, и не все наши клиенты доверяют тестам, которые делает изготовитель печатных плат.

Поэтому еще раз повторюсь, что тестовая эксплуатация – это прекрасный вариант понять, необходима ли вам данная технология, какую пользу она принесет и стоит ли ей вообще заниматься. Надо признать, что, взяв систему Остека на демотестирование, мы не знали, закончится ли это покупкой. Но, как оказалось, все вышло как нельзя лучше.

С какими трудностями вы столкнулись в процессе внедрения установки на производство?

Я бы выделил здесь три основные проблемы, с которыми, мне кажется, сталкиваются абсолютно все предприятия, использующие системы с летающими пробниками.

Первая и самая главная – это исходные данные для создания тестовой программы. Конструкторская документация и спецификация на изделие предоставляются заказчиками в очень плохом виде с точки зрения применения для ICT. Чтобы грамотно, а, главное, быстро запрограммировать летающие пробники, нужен определенный набор файлов с понятным, правильным содержанием. И здесь чего только не увидишь: в спецификации может быть указан один компонент, а в электронном файле он совсем другой; названия компонентов могут быть на русском языке; некоторые поля вообще не заполнены; часть документации может быть в бумажном виде; из САПР в принципе часто выгружают некорректные данные, формат которых неприменим для использования на установке и т.д. Ситуация сильно напоминает ту, что была с предоставлением данных для программирования установщиков SMD-компонентов лет 10-15 назад. Причина этой проблемы, видимо, в одном и том же – разработчики и конструкторы изделий не в полной мере используют возможности сквозного проектирования САПР. Т.е., например, трассировкой печатной платы занимается один человек, а составлением спецификации и её актуализацией – другой. Хотя современные САПР позволяют это делать «в одном процессе», не допуская различий между файлами проекта и техдокументацией.

Следующая проблема, во многом вытекающая из предыдущей, – это большие затраты времени на согласование с клиентом технических вопросов при разработке тестовых программ. Очень много времени уходит на общение из серии «что это за название цепи, куда она выходит?», «какую задачу конструктор хотел решить такой схемотехникой, зачем это нужно?» и т.д. Здесь еще надо учитывать и то, что в среднем за год мы выпускаем более 400 уникальных видов изделий, и каждый заказчик уникальный, со своим «характером».

Третья проблема – это создание внутренней инфраструктуры на производстве с учетом появления у вас новой технологии – необходимо набрать кадры (тестовых инженеров), обучить их. Обязательным условием является их желание работать с системой. Разумеется, необходи-

мо принимать во внимание, что тестовые инженеры, как, в принципе, и регулировщики – это всегда одни из самых высококвалифицированных сотрудников рабочих специальностей на производстве.

Какие еще технологии контроля применяются у вас на производстве?

Если говорить в общем, то технологический процесс производства изделий в нашей компании включает несколько этапов контроля. Их выбор зависит от класса выпускаемого изделия, его сложности и пожеланий заказчика. Иными словами, в зависимости от выпускаемого изделия технологический процесс его производства может включать: входной контроль ЭКБ; визуальный контроль на различных стадиях производства, автоматическую оптическую инспекцию (АОИ); рентгеновский контроль; функциональный контроль и программирование изделий, суточный прогон и т.д. Также мы имеем опыт в разработке стендов и оснасток для проведения различных тестов и испытаний. Мы можем выполнять климатические и вибрационные испытания изделий, в том числе и во включённом состоянии. Ну, и в дополнение к этому, теперь появилась возможность проведения внутрисхемного контроля на установке SPEA 4040 (рисунок 5).

Здесь также хотелось бы сказать о нашей работе с Остеком по адаптерным системам типа «ложе гвоздей» Ingun и системе периферийного сканирования JTAG Technologies. Недавно на нашем производстве мы внедрили проведение функционального теста с использованием адаптера Ingun MA 360/F. На базе этого адаптера был создан программно-аппаратный комплекс для параллельного тестирования нескольких узлов, причем сменную оснастку мы разработали и изготовили собственными силами. Использование адаптера типа «ложе гвоздей» позволяет проводить тест крупной партии изделий, а также одновременно коммутировать большое количество связей при том, что полностью собранный блок состоит из трех печатных узлов.

Среди изделий наших заказчиков есть промышленные компьютеры и контроллеры. Поскольку эти изделия достаточно сложные, нами было принято решение попробовать применить для их проверки метод периферийного сканирования по стандарту IEEE 1149.1. В решении этой задачи нам оказали большую помощь специалисты компании JTAG Technologies (они, кстати, так же, как и мы, находятся в Санкт-Петербурге). Они предоставили нам своё оборудование и инженеров, которые разработали тесты, проверили несколько изделий, а также обучили наших специалистов работе на стендах с использованием технологии JTAG. Нами была проведена большая и крайне полезная совместная работа, результатом которой стало принятие решения о внедрении этой технологии контроля в нашей компании.

И в заключение зададим традиционный вопрос: каковы ваши планы на будущее, каким вы видите дальнейшее развитие компании?

Работать, работать и работать. Поскольку позиционируем себя как высокотехнологичное производство, будем

и дальше развивать сложные коммерческие проекты, совершенствовать их качество, расширять спектр услуг контрактного производства и, безусловно, непрерывно модернизировать производственные мощности под рыночные потребности.

Сергей Валерьевич, благодарим Вас за интересную беседу! Желаем Вашей компании процветания, укрепления позиций на рынке контрактных сборщиков электроники и, конечно же, большого количества заказов на внутрисхемное тестирование!



Рисунок 5
Установка SPEA 4040 на производстве ООО «АТ»

Выбираем импульсный тестер электродвигателей.

На что обратить внимание?

Алексей Юдин

Начнем с терминологии. Импульсный тестер обмоток, импульсный тестер электродвигателей, «surge»-тестер – это все разные названия одного прибора, который позволяет определить дефекты изоляции в обмотке, в том числе дефекты межвитковой изоляции, которые являются одними из наиболее сложно диагностируемых. В статье будут рассмотрены основные вопросы, на которые стоит обратить внимание перед покупкой данного типа тестеров.

Кем и где будет эксплуатироваться тестер?

Чаще всего данные типы тестеров эксплуатируют либо на предприятиях, производящих электродвигатели, либо на предприятиях, занимающихся ремонтом. Еще одна категория покупателей приобретает их для диагностики парка электродвигателей предприятия. Среди предлагаемых решений нашего партнера, компании Schleich, есть стационарные и мобильные тестеры (рисунок 1). Первые хорошо подходят для производства, вторые – для выездной диагностики. Мобильные тестеры поставляются в ударопрочных кейсах, некоторые версии приборов работают от аккумуляторной батареи. У компании Schleich есть

очень компактные и легкие модификации мобильных тестеров, но, к сожалению, с выигрышем в габаритах вы получаете и ограничения в характеристиках и возможностях тестера. Это как выбор между ноутбуком и стационарным компьютером: первый легче и компактнее, второй – производительнее и надежнее.

Какое импульсное напряжение должен выдавать тестер?

Для начала необходимо понять, что вы собираетесь тестировать? Чем будете руководствоваться при тести-



Рисунок 1
Мобильные (слева) и стационарные (справа) Schleich



ровании: стандарт, ТУ, внутренний регламент предприятия? Если импульсный тестер выбирают для тестирования шаблонных катушек, тогда можно опираться на данные таблицы из стандарта МЭК 60034-15. В ней указаны предельные уровни импульсных напряжений для шаблонных катушек, используемых в машинах переменного тока, в зависимости от номинальных напряжений. Также рекомендации по максимальному импульсному напряжению можно найти в документе «Объем и нормы испытаний электрооборудования», выпущенный РАО «ЕЭС России».

Если по каким-то причинам рекомендации этих документов вам не подходят, то можно воспользоваться следующими формулами:

$$U_{\text{тест.HVAC}} = 2 \times U_{\text{ном.}} + 1000 \text{ В}$$

$$U_{\text{имп.}} = k \times U_{\text{тест.HVAC}}$$

$U_{\text{тест.HVAC}}$ - максимальное напряжение переменного тока;

$U_{\text{ном.}}$ - номинальное напряжение электродвигателя;

k - коэффициент;

$k = 1,5$ для двигателей после ремонта или для периодической диагностики;

$k = 2$ при тестировании новой обмотки;

$U_{\text{имп.}}$ - импульсное напряжение тестирования

Определив максимальное необходимое импульсное напряжение для тестирования, можно подобрать необходимый тестер. В названии тестеров фирмы Schleich серии MTC2 указано максимальное импульсное напряжение, выдаваемое установкой (рисунок 2). Возможны следующие варианты: 6, 12, 15, 25, 30, 40 и 50 кВ. Также важно понимать, что установленное тестовое значение и реальное значение на обмотке всегда немного отличаются. Реальное значение ниже из-за емкости, возникающей между обмоткой и корпусом двигателя.

Какие опции необходимо рассмотреть в первую очередь?

Одна из наиболее часто заказываемых опций импульсного тестера - функция измерения сопротивления. Тесте-

ры ниже ценовой категории никогда не комплектуются данной опцией. Как правило, приходится дополнительно приобретать микроомметр. При этом важно понимать, что в данном случае речи об автоматическом тестировании быть не может. Соответственно на крупносерийных производствах значительная часть времени будет уходить на подключение. Еще желательно, чтобы при измерении сопротивления значения автоматически пересчитывались к температуре 20 °С. Это очень удобно, т. к. позволит сравнить результаты, полученные при разных температурах тестирования. Оператору нет смысла выполнять импульсный тест на обмотке двигателя, если разброс по сопротивлению между испытуемыми обмотками слишком большой. Некоторые тестеры сами измеряют температуру, автоматически проводят коррекцию измерений к 20 °С, имея информацию о материале обмотки. Другие же тестовые системы могут запрашивать у оператора температуру окружающей среды, что естественным образом сказывается на скорости тестирования, т. к. нарушается автоматизация процесса.

Часто в импульсных тестерах ниже ценовой категории нет теста высоким напряжением постоянного тока. Таким образом, для измерения сопротивления изоляции придется добавлять мегаомметр. У известных брендов данный тест включен в базовую комплектацию.

Что такое автоматическое тестирование?

Автоматизация процесса особенно важна для тестирования на крупносерийном производстве. При разовых измерениях в процессе ремонта, конечно, можно обойтись и без нее. Но когда речь идет о тестировании серии изделий, когда важно время, затрачиваемое на одно изделие, необходимо выбирать прибор, который умеет тестировать по готовой тестовой программе. К сожалению, даже именитые производители импульсных тестеров тут лукавят, декларируя наличие такой возможности. Некоторые тестеры от очень известных производителей требуют дополнительных манипуляций со стороны оператора в процессе «автоматического» тестирования. Например, для измерения омического сопротивления необходимо под-

ключать один тип клемм, для проведения высоковольтных испытаний – другой. Трудно понять, о каком автоматическом тестировании идет речь, когда тестер при проверке каждого изделия требует от оператора дополнительных действий. Отличительная особенность всех импульсных тестеров компании Schleich линейки МТС2 и МТС3 – это наличие коммутационной матрицы, которая позволяет подключить измерительный модуль в нужный момент времени (рисунок 3). Тем самым, вся линейка МТС поддерживает возможность автоматического тестирования. Требуется один раз подключить изделие, нажать кнопку «старт» и получить результат.

Локализация программного обеспечения

Вряд ли кто-то будет спорить, что интерфейс на русском языке делает программу более удобной в работе. Во-первых, привыкнуть к новому программному обеспечению намного проще. Во-вторых, локализованное ПО не потребует от оператора знания английского языка. Программное обеспечение, установленное на серии МТС2 и МТС3, переведено на русский язык. Это касается и формируемых программой отчетов. И, что немаловажно, в него могут быть включены данные и логотип компании, выполняющей тестирование (рисунок 4).

Стоит ли обращать внимание на территориальный признак при выборе импульсного тестера?

В современном мире понятие «качество выпускаемой продукции» все меньше связано со страной происхождения оборудования. Приобретая технически сложное устройство, никто не может быть застрахован от поломок. И никто из дистрибьюторов не имеет склада всех необходимых запчастей для ремонта импульсного тестера. Поэтому чаще всего при поломке поставщику придется доставлять запчасть для ремонта от производителя. Дистрибьюторы американских импульсных тестеров сроки ремонта нередко затягивают, аргументируя любые срывы как раз страной происхождения. Период ремонта может затягиваться до полугода.

Со страной происхождения могут быть связаны и другие особенности. Импульсный тестер – это технически сложный прибор, который изготавливают под конкретного заказчика. Но совершенно иной подход у китайских производителей. В Китае есть такое понятие, как минимально возможное количество приборов для заказа – MOQ. Например, у одного из производителей китайского импульсного тестера MOQ равно пяти. Поэтому дистрибьюторы китайского оборудования вынуждены держать на складе часть нераспроданного товара. У заказчика нет возможности выбрать комплектацию, т.к. чаще всего это единственно возможная модель для заказа.

Подписывая дистрибьюторский договор, компания принимает на себя определенные обязательства за производителя на вверенной ей территории. Выбор поставщика оборудования – непростая задача. В первую очередь, это осознанный разносторонний анализ имеющихся поставщиков оборудования. Немецкая компания



Рисунок 3
Тестер МТС2-40кВ и шаблонная катушка

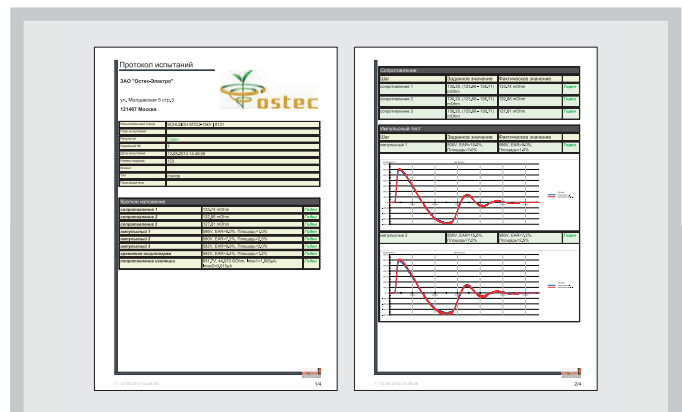


Рисунок 4
Пример отчета с логотипом компании на русском языке



Рисунок 5
Тестер МТС2-6кВ с опцией тестирования прочности изоляции

Schleich, эксклюзивным дистрибьютором которой является Остек-Электро, не первый год показывает отличные результаты. Она уже четыре раза была награждена престижным титулом «ТОП-100 инновационных компаний Германии»: в 2012, 2014, 2016 и 2018 годах. Сегодня компания занимает лидирующие позиции по объемам продаж импульсных тестеров на территории Европы и США.

Как обстоят дела с тестом прочности изоляции?

Почти все импульсные тестеры не могут выполнять те-



Рисунок 6
Тестер МТС3-6кВ с защитным кожухом

стирование высоким напряжением переменного тока. У тестеров серии МТС2 и МТС3 такая возможность есть, но с определенными ограничениями. Максимальное напряжение – 6 кВ, максимальный ток – 100 мА (рисунок 5). Это будет полностью интегрированный в прибор тест, который расширяет возможности тестера, сохраняя возможность автоматического тестирования.

Оснастка или варианты подключения двигателя к тестеру

Для многосерийного производства одним из важных критериев выбора является скорость тестирования. Время, затрачиваемое на тестирование, состоит из двух частей: времени на подключение и времени на измерение. Время измерения параметров будет минимальным только при наличии у тестера возможности автоматического тестирования. Чтобы сократить время на подключение, изготавливают специальные защитные кожухи, внутри которых происходит коммутация изделия с клеммами. И это не просто удобство подключения, но и безопасность оператора. Существуют также двойные защитные кожухи,

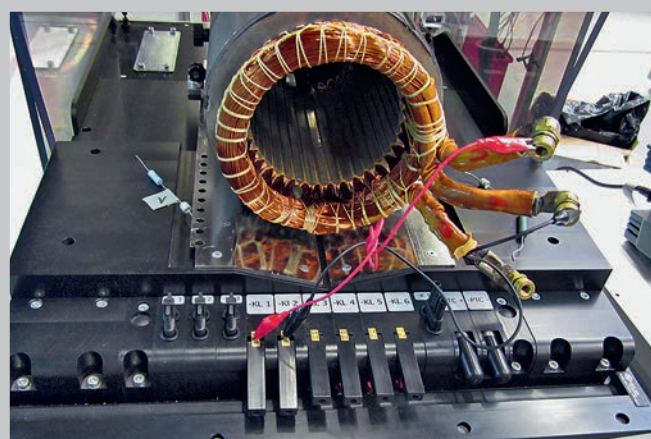


Рисунок 7
Тестер МТС3 с двойным защитным кожухом

которые обеспечивают подключение одного двигателя во время тестирования другого. На рисунках 6 и 7 показаны примеры тестеров с кожухами, изготовленными компанией Schleich. Также у прибора есть функция автоматического открытия крышки кожуха, что особенно удобно, т. к. открытая крышка сигнализирует оператору об окончании теста. Запуск теста происходит автоматически при закрытии крышки.

В статье были рассмотрены основные вопросы, на которые стоит обратить внимание при выборе прибора и которые помогут задать правильные вопросы потенциальному поставщику, а также расширят представление о возможностях современных импульсных тестеров. Конечно, это не отменяет необходимости сравнивать импульсные тестеры по основным техническим характеристикам. Особенно важно оценить емкость конденсатора и максимально возможную энергию импульса, потому что именно они являются основными параметрами подобного оборудования.

Ферритовая проблема.

Как проверить кольцо легитимным методом?

Арсений Ликий

Применение ферромагнитных изделий при разработке электронных модулей – тема достаточно щепетильная. Особое место здесь, на мой взгляд, занимает применение ферритовых колец, широко используемых как в аналоговой, так и в цифровой технике: от силовых катушек индуктивности для источников питания до согласующих высокоскоростных трансформаторов для развязки цифровых линий данных. И хорошо, если применяемые изделия не являются контрафактными или бракованными и полностью отвечают заявленным характеристикам. А если это не так? Есть ли реальный способ проверить параметры ферритового кольца?

Мы провели исследования, в результате которых установили, что подавляющее большинство ферритовых колец, представленных на рынке электроники, не соответствует заявленным характеристикам.

Ниже перечислены основные виды дефектов ферромагнитных сердечников тороидальной формы, которые нам удалось выявить:

- механические дефекты в структуре изделия (неравномерности, микротрещины);
- возникшие в результате нарушения технологии производства (посторонние предметы и примеси в структуре изделия);
- возникшие в процессе транспортировки;
- возникшие в результате нарушения норм хранения.
- использование порошковых материалов, не соответствующих требованиям;
- нарушение технологии производства, запекания и финишной обработки ферритового кольца.

Наибольшее количество бракованных изделий было произведено на территории России. Парадокс, но в условиях современного рынка контрольно-измерительной аппаратуры и приборов очень сложно сформировать рабочее место, позволяющее контролировать параметры ферромагнитных изделий. Да, конечно, есть высокоточное европейское оборудование известных фирм, позволяющее получить полный анализ тестируемого образца, но стоимость такого оборудования часто превышает десятки миллионов рублей. Да и скорость его работы оставляет желать лучшего, так как оно не предназначено для проведения входного контроля на предприятиях-потребителях ферритовых изделий. Это оборудование, в первую очередь, предназначено для предприятий-изготовителей всевозможных ферритовых сердечников.

А как же дела обстоят на самом деле на реальных отечественных производствах? В лучшем случае, организован отдельный участок, специалисты которого занимаются входным контролем, вручную мотают несколько витков (в самом идеальном варианте – 10, но чаще – один), после чего измеряют индуктивность полученной катушки. Сразу же возникает масса вопросов – как метрологических, так и экономических. Мотать один виток – дело сомнительное. Полученный результат не обеспечит даже близко какую-либо точность. С таким же успехом на ферритовое кольцо можно просто посмотреть и сделать вывод о потенциальной годности его к установке в изделие. Если мотать хотя бы пять витков, то на это потребуется уже не менее 15 секунд у профессионального контролера (взять кусок провода, обрезать, намотать, измерить, записать результат). А если витков будет 10, как это принято в советских ГОСТах и ТУ? А если партия большая? Сразу возникает вопрос об экономической целесообразности данного процесса. И хорошо, если изделие, в которое устанавливается ферритовое кольцо, имеет малую себестоимость и низкую сложность – его можно либо утилизировать, либо оперативно разобраться в причине отказа, хотя для реализации последнего варианта необходим высококвалифицированный персонал, в результате, опять-таки траты. А если изделие сложное? Из-за бракованного компонента нарушается функционирование всего изделия – это опять затраты на поиск дефекта, которых можно было бы избежать.

Специалисты ООО «Остек-Электро» разработали «Измеритель параметров ферромагнитных сердечников тороидальной формы Ш1-23», о котором мы уже упоминали в нескольких статьях журнала «Вектор высоких технологий». Осенью 2018 года прибор был внесен в Государ-



Рисунок 1
Свидетельство об утверждении типа средств измерений, регистрационный номер 73183-18

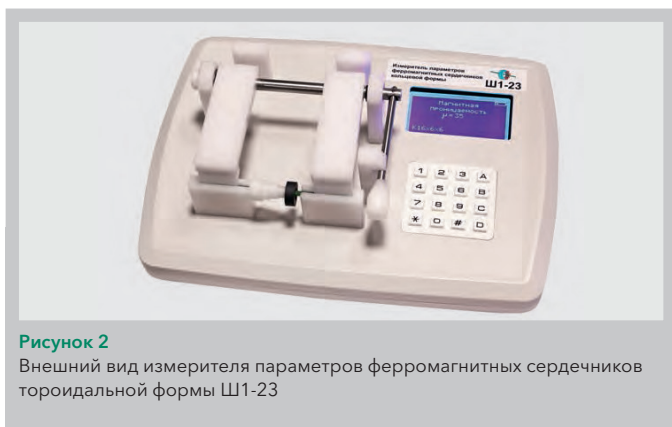


Рисунок 2
Внешний вид измерителя параметров ферромагнитных сердечников тороидальной формы Ш1-23

ственный реестр средств измерений, регистрационный номер 73183-18 (**рисунок 1**). Пришло время рассказать о приборе более подробно.

Разработка прибора началась в 2016 году, когда сотрудники «Остек-Электро» в результате визитов на предприятия своих клиентов выявили потенциальную потребность в контроле параметров ферритовых колец. На этапе ОКР и НИР была закуплена партия ферритовых колец разных производителей (порядка 300 шт.). Результат был неутешителен: кольца, которые продавались под отечественными брендами, имели брак более 30 %. Безусловно, если предприятие-потребитель использует высококачественные кольца таких фирм, как Ercos или Amidon, скорее всего, бояться нечего: у Ercos процент брака низкий и обычно связан с неправильной транспортировкой и хранением, а у американской компании Amidon процент брака сведён к нулю.

Многие знают, что каждая компания-производитель обычно специализируется на производстве ферромагнитных колец разной проницаемости, но применительно к вопросу входного контроля это абсолютно неважно – наш прибор измеряет магнитную проницаемость колец в диапазоне от 10 до 10 000, что более чем достаточно, чтобы перекрыть потребности подавляющего большинства предприятий. Пермаллоевые кольца с проницаемостью

несколько десятков тысяч используются не так часто, но даже для них у нас есть специальное решение – это модификация тестера Ш1-23 под большую магнитную проницаемость.

Ниже приведены краткие характеристики универсального измерителя параметров ферромагнитных колец тороидальной формы Ш1-23:

- внутренний диаметр сердечника: от 4 мм;
- диапазон измерений μ : 10–10 000;
- размеры: 280 x 27 x 88 мм;
- масса (в зависимости от модификации): не более 3 кг;
- питание: от сети 230 В, 50 Гц;
- автономное питание (аккумулятор), время работы: до 8 часов.

Если стоит задача по проверке сердечников с внутренним диаметром менее 4 мм, есть специальная модификация прибора, позволяющая это сделать.

Главная особенность данного прибора – резонансный метод измерения. Не так много на современном рынке КИП-средств, реализующих этот метод. Чем он хорош? В отличие от тех же самых RLC-метров, измеряющих, по сути, полное сопротивление цепи, вычитая математически оттуда реактивные составляющие, на основе которых рассчитывается индуктивность, резонансный метод позволяет по-настоящему «прокачать» энергией ферритовый сердечник. В результате выявляются кольца, которые уходят в насыщение. Измерение RLC-метром никогда не позволит вам узнать, уйдёт ли кольцо в насыщение или нет. А суть измерения параметров ферромагнитного кольца сводится к следующему: на специальный адаптер надевается кольцо, адаптер устанавливается в зажимной механизм, формируя тем самым эквивалентную катушку индуктивности с 10 витками. Генератор возбуждается на частоте, определяемой параметрами колебательного контура, который образуется на основе вышеупомянутой катушки и опорного конденсатора. Результат измерения выводится на дисплей – коэффициент начальной индуктивности A_I (индуктивность, создаваемая одним витком на данном сердечнике), а также магнитная проницаемость μ .

Учитывая пожелания пользователей данного прибора в настоящее время на финальной стадии разработки находится вспомогательное программное обеспечение для компьютеров под управлением ОС Windows. Данное ПО позволит вводить исходные данные прямо с компьютера, задавать дополнительную информацию о номере партии поставки, формировать отчёты о результатах тестирования.

Измеритель параметров ферромагнитных сердечников тороидальной формы Ш1-23 является практически единственным легитимным способом организации входного контроля ферритовых колец – для предприятий-потребителей или выходного контроля – для предприятий-изготовителей. Последствия отказа от контроля используемых при производстве продукции ферритовых колец выливаются в дополнительные финансовые траты. Их можно избежать, организовав на своём производстве входной контроль ферритовых колец, используя простой в обращении и доступный прибор Ш1-23.

Новые возможности технологии комбинирования поля в активных антенных решетках для испытаний на восприимчивость к электромагнитному полю

Дмитрий Кондрашов
Алексей Шостак
Патрик Дейкстра

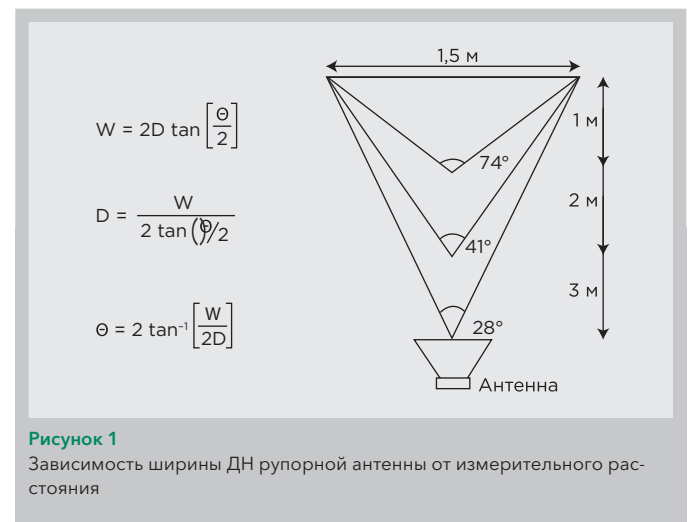
В 2016 году компанией «Остек-Электро» был представлен новый метод построения испытательных систем на устойчивость и восприимчивость к радиочастотному электромагнитному полю по стандарту ГОСТ 30804.4.3-2013 (EN 61000-4-3), а также ряду специализированных стандартов до 18 ГГц с помощью нового класса приборов - генераторов поля и системы для автоматизации испытаний ЭМС.

Мы уже подробно рассматривали основные недостатки классической системы по ГОСТ 30804.4.3-2013, на основе которой проводят испытания, в статье «Зачем нужно менять устоявшиеся подходы к тестированию на ЭМС?».

Кратко перечислим эти проблемы:

- высокий КСВН, обусловленный компактностью ЭМС-антенн, из-за которой возникает компромисс между согласованием, эффективностью (КПД) и размерами антенн;
- выбор между логопериодическими и рупорными антеннами при проведении испытаний. Логопериодическая антенна имеет крупные габариты ввиду использования её при облучении изделий в ВЧ- и СВЧ-диапазонах, а также не обладает должным уровнем усиления, что требует больше мощности для создания однородного поля и значения напряженности поля в точке. Рупорная антенна не позволяет на трёхметровом расстоянии облучать область 1,5 x 1,5 м для достижения однородного поля ± 6 дБ из-за узкого луча диаграммы направленности (рисунок 1);
- потери в кабелях на переключение в каскадах УМ, НО, что в итоге приводит к существенным потерям, вследствие чего необходимо применять более мощный и дорогостоящий усилитель;
- для минимизации потерь необходимо размещать стойки с усилителями непосредственно в безэховой камере, что, во-первых, накладывает требования по устойчивости к воздействиям электромагнитного поля на стойку и, во-вторых, значительно влияет на однородность создаваемого поля, особенно при небольших размерах БЭК.

Учитывая эти недостатки, компанией DARE!! Instruments была разработана система, которая интегрирована в еди-



ный корпус и представляет собой измерительный прибор (рисунок 2), состоящий из активной антенной решетки (далее ААР), усилителей и измерителей мощности, использует принцип суммирования поля каждого элемента ААР и контроля прямой и обратной мощности встроенных усилителей. С помощью этой технологии первоначально ставилась цель получить гарантированное значение напряженности поля на одном и трех метрах с учетом амплитудной модуляции для стандарта ГОСТ 30804.4.3-2013. Максимальный уровень напряженности поля, который был доступен на начало 2017 года - 54 В/м в диапазоне частот 800 МГц - 6 ГГц на расстоянии один метр с перепадом 0+6 дБ во всех четырех точках, что полностью удовлетворяло требованиям ГОСТ 30804.4.3-2013. Однако впоследствии инженерам удалось добиться значения напряженности поля в 60 В/м в аналогичном частотном

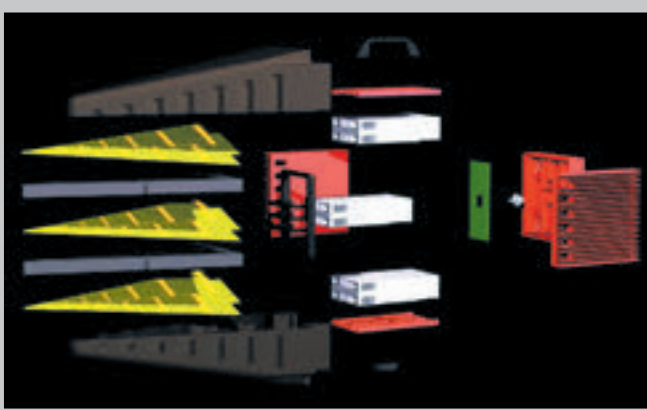


Рисунок 2
Генератор поля RFS2006BR

диапазоне. Результаты ААР при вертикальной и горизонтальной поляризации представлены на **рисунках 3 и 4**. Можно отметить линейность и стабильность уровня создаваемой напряженности поля (оранжевый график) при обоих видах поляризации. Уровень подаваемого сигнала (синий график) показывает, что существует запас для усиления, позволяя в будущем повысить значения гарантированно создаваемой напряженности.

Максимально возможный уровень напряженности, которого удалось достичь данной ААР в диапазоне 800 МГц - 6 ГГц - это 80 В/м в точке на расстоянии 1 м (**рисунок 5**), что позволяет проводить испытания по авиационным и автомобильным стандартам. Применение концепции ААР для испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю хорошо зарекомендовало себя и используется уже большим количеством современных лабораторий по всему миру: от США до Южной Кореи.

В конце 2017 года ООО «Остек-Электро» анонсировало новый комплект для испытаний на восприимчивость к РЧ-полю в диапазоне частот от 800 МГц до 18 ГГц, который построен на базе двух новых генераторов поля RFS2006BR (800 МГц - 6 ГГц) и RFS2018BR (6 ГГц - 18 ГГц) (**рисунок 6**). Принцип работы суммирования полей в ААР остался прежним, однако генераторы позволили создавать поля напряженностью с гарантированным значением 75 В/м в точке на измерительном расстоянии 1 м (**рисунок**



Рисунок 3
Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2006BR при горизонтальной поляризации

7) и максимальным значением свыше 150 В/м (**рисунок 8**).

После доработки генератора поля RFS2018BR в 2018 году появилась возможность гарантированно создавать напряженность поля до 100 В/м во всем частотном диапазоне в одной измерительной точке, что позволяет использовать его для проведения испытаний по ряду автомобильных стандартов, к примеру, ISO 11451-2. Данная модернизация была осуществлена за счет уменьшения длины элементов ААР, а также использования нового материала для радиопрозрачного колпака RFS2018BR.

Таким образом, с помощью генераторов поля решается проблема совмещения и комбинирования в одном устройстве требований по отечественным и зарубежным коммерческим, автомобильным и специализированным стандартам, тем самым позволяя существенно экономить бюджет лаборатории при приобретении оборудования, а также предлагая более широкие возможности в области проведения предварительных и сертификационных испытаний.

Учитывая потенциальные возможности комбинирования поля в ААР, есть следующие перспективы их использования:

- Доработка технической реализации генератора для достижения стабильного уровня напряженности поля в 150 В/м в безэховой камере. Генератор позволяет проводить испытания по авиационному стандарту КТ-



Рисунок 4
Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2006BR при вертикальной поляризации

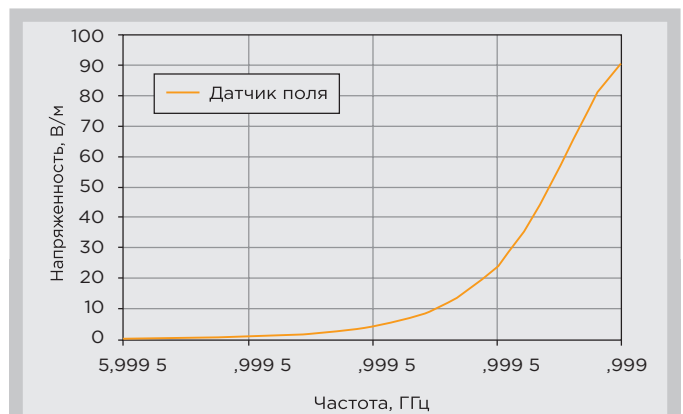


Рисунок 5
Максимальный уровень напряженности, создаваемый RFS2006BR в точке на 1 м

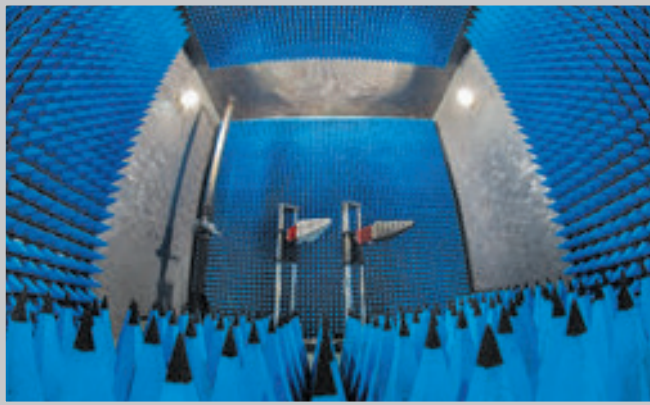


Рисунок 6
Генераторы поля RFS2006BR и RFS2018BR

160D раздел 20 (основная группа), требующему высоких уровней воздействия.

- Использование генератора в реверберационных камерах для достижения уровня напряженности поля выше 200 В/м. Генератор позволяет проводить испытания по специализированным стандартам, например, по MIL-STD-461G (раздел RS103).
- Увеличение верхней границы частотного диапазона генераторов поля до 67 ГГц для испытаний в аэрокосмической промышленности.

Однако несмотря на используемый подход к облучению тестируемого устройства, наиболее важной задачей остается калибровка испытательного стенда и точные измерения характеристик однородности поля используемой безэховой камеры, а также тип применяемого датчика напряженности поля. В статье «Как обеспечить точность измерений напряженности поля» мы уже рассматривали особенности датчиков поля, которые приведены на графике зависимости частоты от прямой мощности с антенны.

На графике (рисунок 9) изображена пара кривых для трех датчиков поля. Первая кривая - для каждого датчика при напряженности поля 100 В/м, а вторая - для напряженности 200 В/м. Как видно из графика, в диапазоне частот от 3 ГГц наблюдается значительное отклонение показаний прямой мощности, несмотря на то, что датчики

отображают одинаковое значение напряженности поля.

На рисунке 10 приведены графики с кривыми по каждой координате для тех же трех тестируемых датчиков. Значительные отклонения наблюдались в диапазоне частот от 3 ГГц, а также для датчика с батарейным питанием ниже 100 кГц.

Если сравнить две особенности, одинаковые для всех датчиков поля, существенные отклонения возникают в одном и том же диапазоне частот выше 3 ГГц.

Это происходит из-за нескольких факторов:

- высокое значение изотропности и низкий уровень симметрии относительно антенных элементов каждой оси X, Y и Z;
- нормирование изотропности на 10, 100 и 1000 МГц, но не выше;
- размер датчика поля;
- форма датчика поля;
- отсутствие возможности коррекции датчика поля.

Учитывая эти недостатки, специалисты DARE!! Instruments приняли решение разработать серию датчиков RSS2010 (рисунок 11), которые на сегодняшний день являются самыми точными приборами для измерения однородности поля и калибровки испытательных систем на устойчивость к РЧ-полю в диапазоне частот 9 кГц - 12 ГГц. На рисунке 12 приведен график АЧХ-датчика поля серии RSS2010 с минимальной погрешностью 0,3 дБ.

Потребность в аппаратуре для проведения испытаний бортовой аппаратуры стремительно возрастает.

Так как на основе активных антенных решеток стало возможно проводить испытания на восприимчивость к излучаемому ЭМ-полю, специалисты Остек-Электро приняли решение разработать комплекс собственного производства, который дополнял бы данную систему генераторами для проведения испытаний на восприимчивость к кондуктивным помехам (по стандарту MIL-STD-461G):

- НЧ-синусоидальное воздействие (раздел CS101);
- ВЧ-синусоидальное воздействие (раздел CS114);
- импульсное воздействие (раздел CS115);
- импульсное затухающее синусоидальное воздействие (раздел CS116).

Совмещение данных генераторов с генераторами поля и системами для CS114 DARE!! Instruments (выпол-

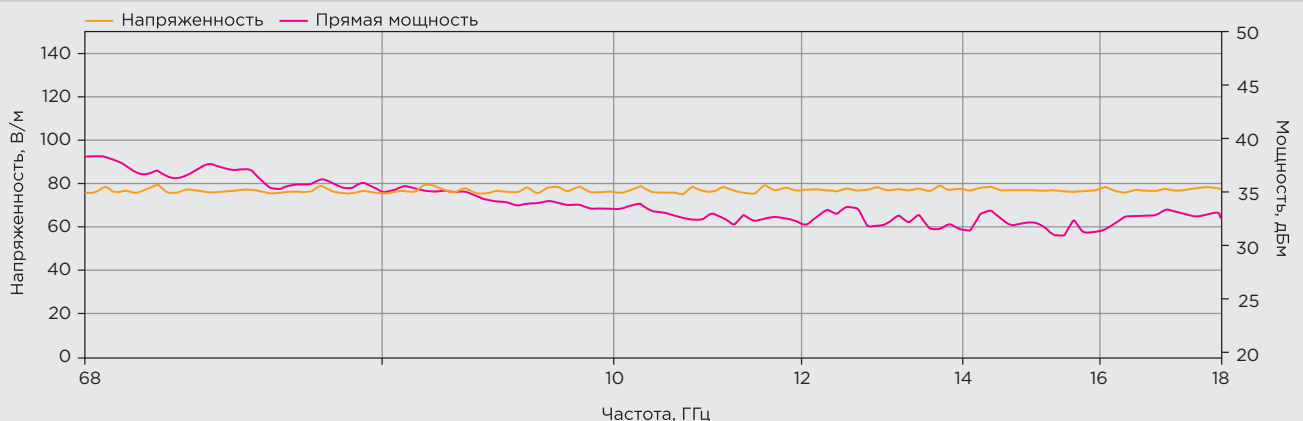


Рисунок 7
Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2018BR на измерительном расстоянии 1 м при горизонтальной поляризации

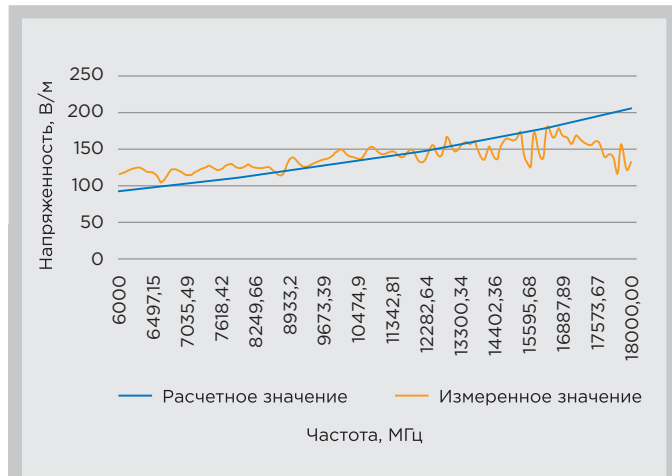


Рисунок 8
Уровень напряженности, создаваемый генератором поля RFS2018BR на 1 м в частотном диапазоне 6-18 ГГц

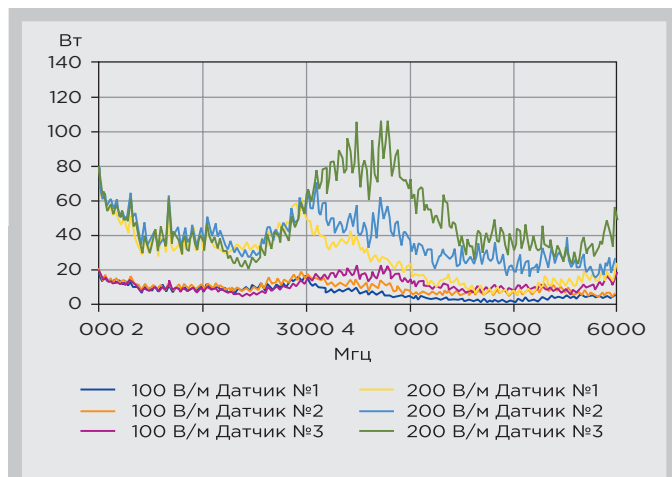


Рисунок 9
Зависимость частоты относительно прямой мощности при горизонтальной поляризации

нящими требования раздела RS103 «Восприимчивость к излученному электрическому полю» и CS114) позволяет полностью соответствовать проведению испытаний по отечественным стандартам ЭМС к бортовой авиационной аппаратуре.

Выполнение испытаний по разделам CS101, CS115 и CS116 осуществляется модульной системой собственной разработки и производства - генератором импульсным комбинированным ГИК3000 (рисунок 13).

Помимо MIL-STD-461G стандарта система также отвечает требованиям других отечественных и зарубежных стандартов, таким как: DO-160, КТ-160D (разделы 17 и 19).

Испытания по разделу CS114 возможны благодаря оборудованию системы DARE!! Instruments CIT Bundle (рисунок 14), представляющей собой полностью укомплектованный комплекс для выполнения испытаний на устойчивость к кондуктивным высокочастотным помехам в соответствии с требованиями стандартов IEC/EN 61000-4-6 (ГОСТ 51317.4.6-99), MIL-STD-461G, КТ-160D, ISO11452-4. Высокочастотный генератор и высокочастотный усилитель мощности, входящие в ком-

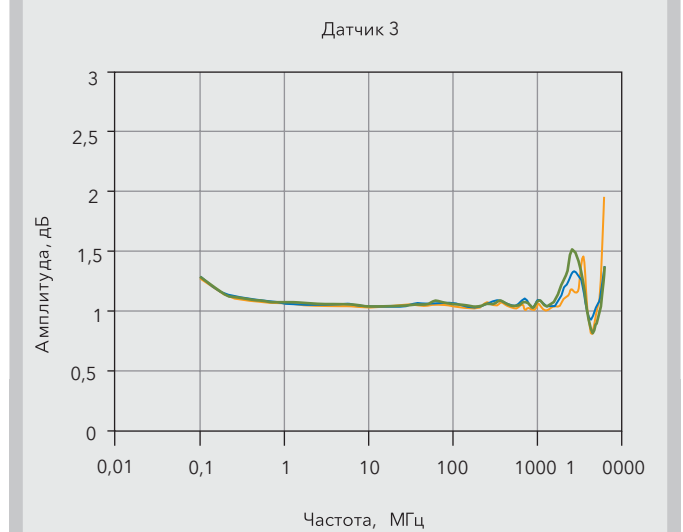
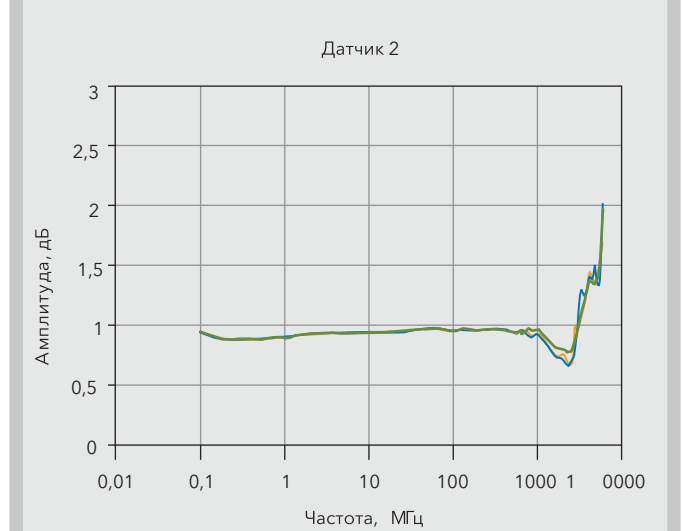
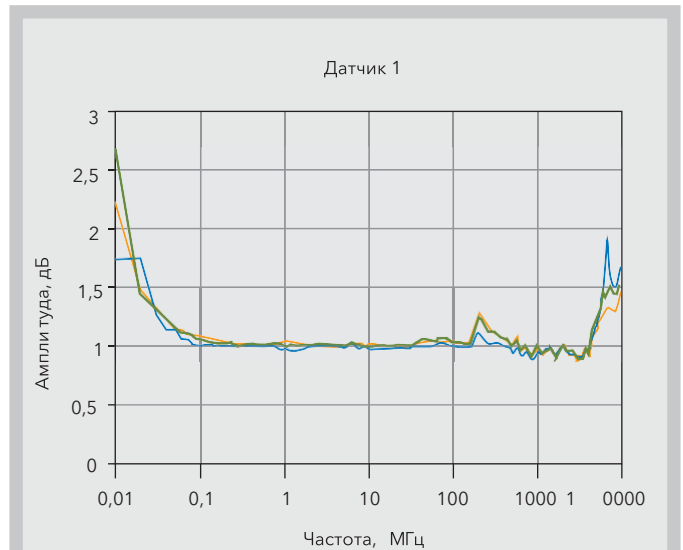


Рисунок 10
Графики АЧХ для датчика №1, №2 и №3



Рисунок 11
Внешний вид датчика серии RSS2010

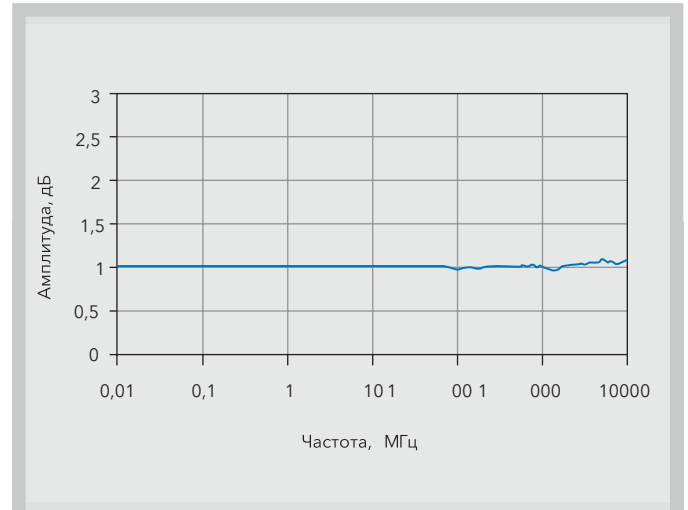


Рисунок 12
График АЧХ-датчика поля серии RSS2010

плекс, позволяют формировать выходные сигналы мощностью до 200 Вт и выше в диапазоне частот от 9 кГц до 400 МГц. Также возможно понижение диапазона до 4 кГц для моделирования токов общего режима, которые присутствуют на силовых кабелях переменного тока аппаратуры, установленной на платформах с питанием от статических генераторов, таких как корабли и подводные лодки.

С помощью вспомогательного внутреннего направленного ответвителя система может измерять мощность в прямом и в обратном направлениях (отраженная мощность), используя датчики мощности собственной разработки RPR2006CR (**рисунок 15**), которые в диапазоне частот 4 кГц – 6 ГГц регистрируют мощность со скоростью до 10 млн отсчетов/с. Комплекс обеспечивает выполнение тестов в полностью автоматическом режиме в заданном диапазоне частот. Также с комплектом поставляются дополнительные опции: устройства связи/развязки, базовое шасси, программное обеспечение.

Используя уникальные возможности активных антенных решеток и другой продукции DARE!! Instruments во взаимодействии с различной измерительной аппаратурой на ЭМС, можно решать самые различные задачи проверки устойчивости радиоэлектронного оборудования к мощным электромагнитным воздействиям, позволяя экономить как бюджет, так и время на проведение испытаний.

Подробнее с характеристиками аппаратуры можно ознакомиться на сайте www.ostec-electro.ru




Рисунок 13
Генератор ГИК3000



Рисунок 14
Система DARE!! Instruments CIT Bundle



Рисунок 15
Датчик мощности RPR2006CR



Группа компаний Остек
Решения для организации
электрического контроля

121467, Российская Федерация
г. Москва, ул. Молдавская 5/2
телефон: +7 (495) 788-44-44
факс: +7 (495) 788-44-42
e-mail: info@ostec-group.ru
www.ostec-electro.ru



Узнайте больше
на нашем интернет-сайте