



**ФОРМ**

119530, Москва, Очаковское шоссе, 34  
Тел: (495) 269 75 90; факс: (495) 269 75 94

---

## **FORMULA HF Ultra - новое российское средство измерений ультравысокочастотных СБИС.**

Стратегия импортозамещения в области интегральных схем программирует электронную отрасль на долгосрочные масштабные инновации. Ключевым фактором в общей организационно-технической перестройке микроэлектроники является создание отечественных автоматизированных средств измерений (СИ), соответствующих требованиям комплексной проверки и испытаний новой высокотехнологичной продукции – СБИС, микросхем памяти (ЗУ), микросхем АЦП/ЦАП, СнК («систем на кристалле»), СвК («систем в корпусе»).



Актуальность разработки отечественных СИ взамен зарубежных продиктована не только режимом санкций, который имеет преходящий характер, но прежде всего – требованием метрологического обеспечения единства измерений при проверке параметров и функций микросхем.

Основой метрологического обеспечения измерений и испытаний являются единые стандарты и реализующие их утвержденные типовые средства измерений (далее – СИ), то есть такие, которые полностью метрологически обеспечены в разработке, производстве и эксплуатации. Очевидно, что для обеспечения метрологического единства необходимо управление жизненным

циклом СИ и государственный надзор со стороны Росстандарта, выполняемый, согласно закону, посредством:

- метрологической экспертизы конструкторской, программной, технологической и метрологической документации на СИ при утверждении типа СИ,
- метрологического надзора государства при эксплуатации утвержденного типа СИ.

Поскольку ни один зарубежный поставщик СИ не предоставляет на экспертизу Росстандарта указанные документы, метрологическая экспертиза и метрологический надзор при эксплуатации импортного оборудования реализуются с большими ограничениями, что создает существенные риски в системе метрологического единства измерений СБИС, а значит и в системе испытаний в целом. Таким образом, создание собственных СИ для СБИС следует считать важнейшей задачей обеспечения национальной технологической безопасности.

Статья посвящена результатам разработки нового отечественного типового средства измерений – ультравысокочастотного Тестера СБИС FORMULA® HF Ultra, созданного предприятием ФОРМ в обеспечение требований программ импортозамещения СБИС с проектными нормами до 40 нм и менее. Необходимый уровень функциональных, параметрических и метрологических характеристик Тестера при его разработке был определен, в первую очередь, потребностями разработчиков и производителей СБИС при создании и освоении номенклатуры микросхем, составляющих основу государственной программы импортозамещения (Табл.1).

Таблица 1

Цифровые СБИС	ASIC, ПЛИС, стандартная жесткая логика
Микропроцессоры и микроконтроллеры	Универсальные и сигнальные Одноядерные и многоядерные Отдельные и в составе СвК
Микросхемы смешанного сигнала	АЦП и ЦАП
Микросхемы память и	FLASH, DRAM, DDR, DDR2, DDR3, SRAM, ROM, PROM
Системы на кристалле, Системы в корпусе	СБИС, включающие процессорные ядра, блоки памяти, программируемой логики, периферийных устройств, аналоговые компоненты, АЦП и ЦАП.

Универсальность Тестера FORMULA® HF Ultra обеспечивается его модульно-магистральной архитектурой, реализующей принцип заказного конфигурирования с выбором базовых и опциональных устройств, соответствующих кругу решаемых измерительных и испытательных задач.

Тестер предоставляет уникальные возможности для комплексной проверки широкой номенклатуры СБИС, благодаря следующим инновациям (Рис.1):



Рис.1

1. Тестер имеет 1024 универсальных двунаправленных канала с частотой функционального контроля (частотой смены тестовых векторов) до 550 МГц каждый. Объем памяти тестовых векторов и памяти ошибок составляет 128 М на канал. Сочетание этих характеристик создает основу для тестирования ультравысокочастотных сверхинтегрированных микросхем с числом сигнальных выводов до 1024 (что соответствует общему числу выводов – до 1600-1700).

2. Тестер объединяет в своей аппаратуре две подсистемы функционального контроля:

- Генератор тестовой последовательности (ГТП) для функционального контроля СБИС произвольной логики
- Алгоритмический генератор тестов (АГТ) для контроля быстродействующих ЗУ: FLASH, DRAM, DDR, DDR2, SRAM, ROM, PROM и иной регулярной логики

Специальный режим совместного использования ГТП и АГТ предназначен для контроля микросхем типа «Система на кристалле», «Система в корпусе», микроконтроллеров и микропроцессоров методами функционального и алгоритмического контроля в едином цикле измерений.

3. Характеристики сигналов универсальных каналов Тестера полностью соответствуют ультравысокой частоте функционального контроля 550МГц (Рис.2):

- Минимальная длительность фронта и среза импульса (275±100) пс
- Минимальная длительность импульса (750±150) пс

Для сохранения формы импульса при подключении к объекту контроля используется программируемая компенсация искажений сигнала в тракте приема/передачи независимо по каждому каналу.



Рис.2

Для обеспечения требований подключения испытываемой микросхемы к Тестеру предусмотрено программируемое формирование крутизны фронта/среза сигнала от 100% до 25% независимо по каждому каналу.

Немаловажным фактором, расширяющим назначение Тестера, является свойство канальной электроники воспроизводить четырехуровневые сигналы, в том числе дифференциальные, в диапазоне напряжений (-1,5...+13)В независимо по каждому каналу. Это позволяет контролировать микросхемы класса обработки видеосигнала.

4. Тестер обладает точной подсистемой измерений электрических статических параметров СБИС, а также мощной подсистемой питания высоко потребляющих объектов контроля:

- Измерительные источники питания VCC, 32 шт. 0...+6 В; ±250 мкА... ±4 А
- Измерительные источники питания VDD, 32 шт. -2...+15 В; ±200 нА...±400 мА
- Многоканальные измерители PMU, 32 шт. -2...+13 В; ±200 нА...±150 мА
- Поканальные измерители PPMU, 1024 шт. -2...+13 В; ±2 мкА ... ±50 мА
- Измерительные источники HVDD, 8 шт. -17..+17 В; -500 мА ...+500 мА
- Мощные источники питания LVDD, 2 шт. 4,5 В; 20 А
- Сверхмощный источник питания SPS 3,5 В; 50 А

Источники LVDD и SPS предназначены для питания многоядерных микропроцессоров, ПЛИС и иных микросхем с высоким током потребления. Источники HVDD могут быть использованы для программирования FLASH и ПЗУ, а также для контроля операционных усилителей и компараторов. Применение поканальных измерителей PPMU позволяет обеспечить режим «мультисайт» для параллельного высокопроизводительного контроля микросхем на пластинах и в корпусе.

5. Прецизионная подсистема измерений динамических параметров СБИС реализована на универсальных измерительных каналах Тестера и обеспечивает измерение времени задержки распространения сигнала, длительности импульса, фронта и среза, а также иных временных характеристик СБИС с точностью, определяемой на основе погрешностей:

- Формирование входных перепадов импульса (IEPA) ±150 пс
- Контроль выходных перепадов импульса (OEPА) ±250 пс
- Общая системная временная погрешность (ОТА) ±250 пс

Дискретность установки меток времени составляет 11 Пс

6. Учитывая потребность разработчиков в проведении внутрисхемного контроля СБИС на этапе исследования опытных образцов, Тестер реализует возможность использования технологии BIST. Для этого используется встроенный в Тестер порт JTAG, который обеспечивает выполнение всех стандартных функций,

включая заливку конфигурационных файлов в ПЛИС, а также имеет встроенный JAM PLAYER с поддержкой языка STAPL.

7. Для измерений микросхем смешанного сигнала Тестер оснащен аналогово-цифровым модулем ARP: 1200МГц/1200Мпс/(-10...+10)В, который обеспечивает измерение динамических и статических параметров преобразования быстродействующих микросхем АЦП до 14-ти разрядов при формировании на их входах периодических сигналов с частотой до 260 МГц, а также измерение статических параметров преобразования микросхем низкочастотных ЦАП и АЦП до 16-ти разрядов.

Модуль ARP включает следующие функциональные устройства(Рис. 3);

- Прецизионный двухканальный генератор тактовых импульсов до 1200 МГц;
- Генератор сигналов произвольной формы с высокочастотным и низкочастотным трактами и частотой преобразования до 1200 Мпс;
- Два прецизионных 20/24-разрядных источника опорного напряжения с диапазоном напряжения от -10 В до +10 В.

Для обеспечения низких уровней перекрестных помех все устройства ARP гальванически изолированы. Объединение всех «земель» осуществляется в точке объединения аналоговых и цифровых «земель» контролируемого АЦП или ЦАП в соответствии с техническими требованиями на их применение. Для питания применены отдельные малошумящие экранированные линейные источники питания.

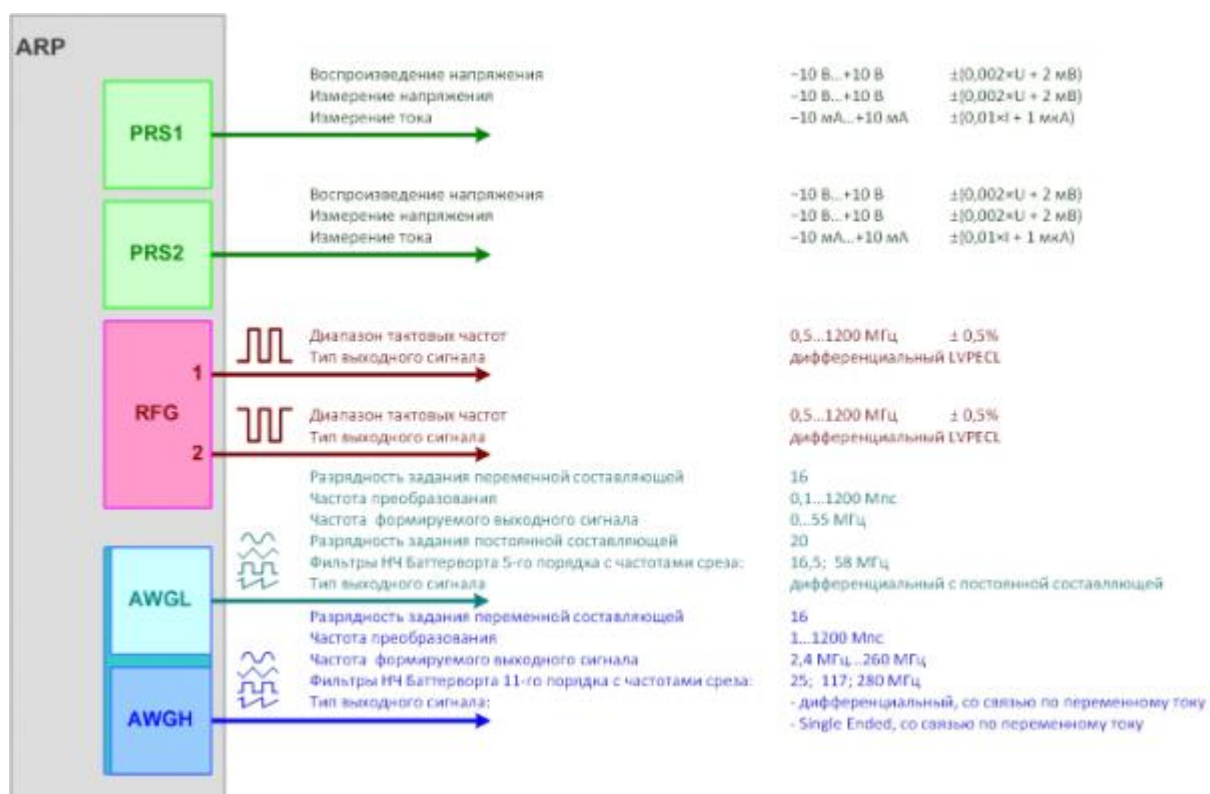


Рис.3

Конструкция, аппаратное и программное обеспечение Тестера создают наилучшие возможности для испытаний СБИС, в том числе, совмещенных с измерениями, например, с использованием установок «Термострим» и проходных камер. Обеспечены измерения под воздействием температур непосредственно на плате прижимного устройства, без применения кабелей и потери качества сигналов.

Передача сигналов Тестера на испытываемую СБИС и обратно с минимальными потерями и искажениями являлась одной из приоритетных задач при проектировании конструкции Тестера. Специально для многоканального Тестера FORMULA® HF Ultra разработана оригинальная система контактирования нового поколения, предназначенная для измерений как в нормальных условиях, так и в диапазоне температур от -60°C до +125°C. Обеспечены надежность, удобство и быстрота установки, фиксации и смены измерительной оснастки, благодаря применению прецизионного прижимного устройства, специальных рамок для крупногабаритной оснастки и «вечных» контактов (POGO-PIN), гарантирующих не менее 1 миллиона присоединений.

Тестер оснащен средствами для интеграции с внешним оборудованием отечественного и иностранного производства, в том числе, с зондовыми установками, испытательным оборудованием, внешними приборами. Манипулятор поворота измерительного блока имеет электропривод с электронным управлением, обеспечивая отличную эргономику рабочего места во всех режимах его эксплуатации.

## Программный комплекс Тестера FORMULA® HF Ultra

Программный комплекс Тестера – это русскоязычная среда с единым графическим интерфейсом (GUI), предназначенная для реализации всех этапов измерительного процесса: от разработки и отладки программ контроля до выполнения измерений, документирования результатов и их последующего анализа (Рис.4). Среда обеспечивает выполнение и «прослеживаемость» совокупности этих процессов путем формирования записей, разграничения прав доступа персонала к оборудованию и базам данных.

По существу, Программный комплекс является системой автоматизации трудоемкого процесса разработки и отладки измерительных программ (программ контроля) и адаптирован к применению техническими специалистами широкого профиля, без использования языков программирования. Поддерживаются все типовые методы контроля, а также средства трансляции тестов из стандартных форматов VCD, SVF, HEX/BIN.

Для анализа функциональных и параметрических отклонений, выявленных при измерениях и при отладке программ контроля применяются встроенные инструменты: многоканальный аппаратный «Логический анализатор», «Осциллограф», «Карта ошибок» емкостью 128М, которые особенно удобны при верификации проектов. Для исследования диапазонов работоспособности и технологической устойчивости СБИС служат инструменты

SHMOO-диаграмма и DRV-анализ.

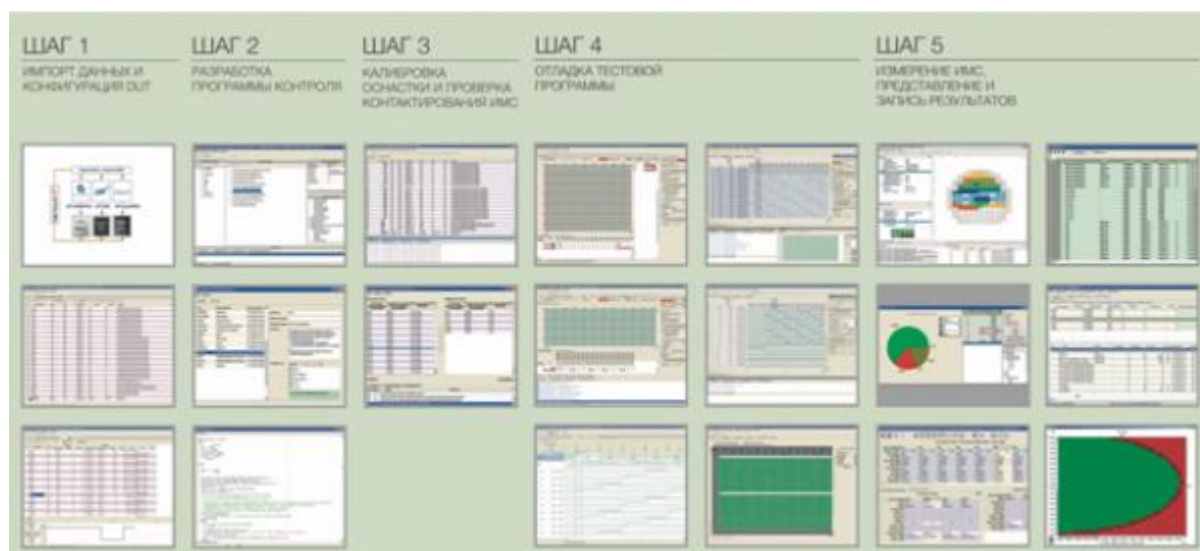


Рис.4

Программная среда Тестера, будучи самодостаточной, тем не менее, не ограничивает разработчика использованием только «собственных средств» ПО Тестера, но позволяет ему применить при желании и внешние среды разработки (IDE) с поддержкой языков C++/Pascal. Такой подход открывает возможность модифицировать автоматически сгенерированный программный код.



В целом программный комплекс Тестера превращает разработку измерительной программы в своего рода сборку деталей конструктора, сокращая время разработки и отладки тестов до нескольких дней. Интеллектуальный инструментарий программного комплекса автоматизирует и предельно сокращает не только все этапы измерительного процесса, но и сервисное обслуживание Тестера, включая его диагностику, настройку, калибровку и поверку.

**Качество Тестера FORMULA® HF Ultra** определяется следующими важнейшими критериями:

1. Соответствие Метрологическому законодательству РФ.

Характеристики Тестера FORMULA® HF Ultra метрологически обеспечены в производстве и эксплуатации, подтверждены государственными испытаниями на утверждение типа средств измерений. Калибровка и поверка Тестера проводятся в отношении всех заявленных в Описании типа средств измерений параметров оборудования и выполняются согласно Методике поверки, утвержденной уполномоченным органом Росстандарта. Метрологические процедуры выполняются в собственной аккредитованной Калибровочной лаборатории ФОРМ.

2. Соответствие требованиям к разработке и производству Тестера регламентам Системы менеджмента качества СМК по ГОСТ Р ISO 9001-2011. Бизнес-процессы разработки, производства, поставки и обслуживания Тестеров FORMULA® HF Ultra, а также обучения и поддержки Потребителей регламентированы и выполняются подразделениями предприятия ФОРМ с соблюдением указанных требований, что подтверждается результатами ежегодного инспекционного контроля СМК.

Качество Продукта Formula® HF Ultra обеспечивается на основе:

- конструкторской и технологической документации с literой «О1»,
- современной технологии производства ФОРМ и действующей Системы качества,
- выполнения калибровки и поверки в соответствии с утвержденной Методикой поверки,
- приемочных испытаний в соответствии с ТУ на Тестер.

Качество проекта Formula® HF Ultra подтверждено результатами испытаний Тестера:

- на утверждение типа средств измерений с включением в ГосРеестр СИ,
- на электробезопасность и электромагнитную совместимость,
- на климатические воздействия в диапазоне температур
- на транспортную тряску,

а также результатами валидации функциональных и параметрических характеристик Тестера при измерении микросхем 3У 1645PY4 (режим мультисайт) и ПЛИС Altera STRATIX4, и широким опытом производства и применения высокочастотных Тестеров-предшественников – FORMULA® HF.

Разработчик и Производитель Тестера FORMULA® HF Ultra, предприятие ФОРМ, гарантирует полное метрологическое соответствие Тестеров FORMULA® заявленным характеристикам, надежность в эксплуатации и надлежащее техническое обслуживание от Производителя в течение всего срока эксплуатации.

Технический уровень Тестера, подтвержден государственными испытаниями и позволяет предложить Тестер для решения задачи импортозамещения современных зарубежных тестеров СБИС, применяемых для верификации и приемочных испытаний новых проектов микросхем, а также для выполнения отбраковочных, приемо-сдаточных, периодических, сертификационных испытаний и для входного контроля СБИС.

Тестер СБИС FORMULA® HF Ultra в полной мере учитывает современные потребности электронной промышленности и ВПК России, обеспечивает требования метрологического законодательства РФ и нормативной документации в области измерений и испытаний в микроэлектронике.