

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ – РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ "РАДИОЛАЙН"

А.Кривов [krivov@radiorf.ru](mailto:krivov@radiorf.ru)  
А.Небогин [nebogin@radiorf.ru](mailto:nebogin@radiorf.ru)

Развитие средств связи и радиолокационных технологий с каждым годом диктует все более жесткие требования к радиоизмерительным средствам в плане точности измерений и количества тестируемых параметров. По мере увеличения числа контролируемых параметров больше времени затрачивается на проведение измерений, а по мере повышения точности тестирования усложняется измерительная система. В результате возрастают требования к квалификации специалистов, выполняющих измерения. Автоматизация рабочих мест для тестирования электронных устройств позволяет существенно сократить время измерений и снизить требования к квалификации операторов. В данной статье рассказывается об опыте компании ООО "Радиолайн" (<http://radiorf.ru/>) в проектировании и производстве автоматизированных рабочих мест (АРМ) для тестирования приемно-передающих модулей (ППМ).

Специфика измерения параметров современных приемно-передающих модулей характеризуется следующим:

- наличием нескольких входов / выходов;
- работой в импульсном режиме;
- высоким уровнем входной и выходной мощности;
- работой на прием и передачу;
- тестированием в широком диапазоне температур окружающей среды;
- различием частот входного и выходного сигнала;
- количеством контрольных точек при тестировании приближается к нескольким тысячам;
- регистрацией состояния модуля в зависимости от управляющего сигнала для каждого измерения.

С учетом этих особенностей компания "Радиолайн" использует архитектуру АРМ для измерения приемно-передающих модулей на базе векторного анализатора

цепей, анализатора спектра, устройства повышения / подавления мощности сигнала, измерителя пиковой мощности, матрицы коммутации и осциллографа (рис.1).

Основной прибор стенда – векторный анализатор цепей – обеспечивает измерение АЧХ, ФЧХ, группового времени задержки (ГВЗ), полной матрицы S-параметров, интермодуляционных искажений, коэффициента шума, входной / выходной мощности. На анализаторе спектра измеряются побочные внеполосные составляющие. Измеритель мощности используется в калибровочном процессе, а также для непрерывного контроля выходной мощности. Осциллограф требуется для отладки устройств и измерения параметров низкочастотных и управляющих сигналов. Измерительная система управляется с персонального компьютера, подключенного к ней по интерфейсу Ethernet. Все

контрольно-измерительные приборы (КИП) подбираются под требуемый диапазон частот и комплектуются необходимыми опциями. Предпочтение отдается КИП ведущих мировых производителей (например Keysight Technologies), имеющим поддержку стандарта LXI, команд SCPI и драйверов IVI-COM.

Современные анализаторы цепей позволяют генерировать сигнал мощностью до 15 дБм, но такого уровня входного сигнала зачастую недостаточно для тестирования приемно-передающих модулей. При этом

выходная мощность ППМ может превышать допустимое пороговое значение работы прибора, которое составляет 30 дБм. Это требует использования внешней схемы повышения и контроля уровня входной мощности, а также схемы подавления мощности, чтобы не повредить приемные тракты анализатора цепей (рис.2).

Большинство современных векторных анализаторов цепей имеют двух- или четырехканальную архитектуру, а ППМ могут иметь десятки входов/выходов. Поэтому на входе и выходе приемно-передающего

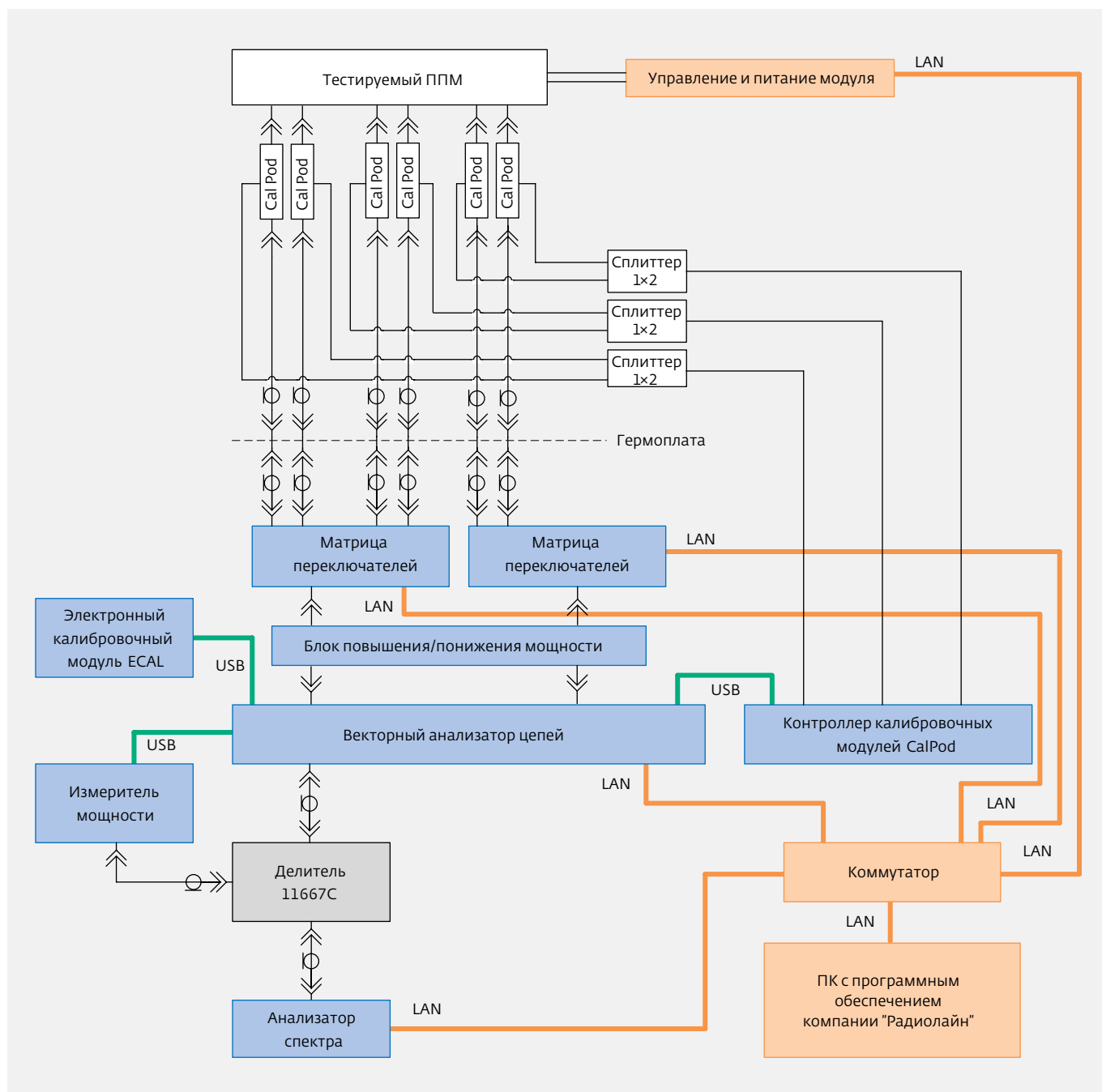
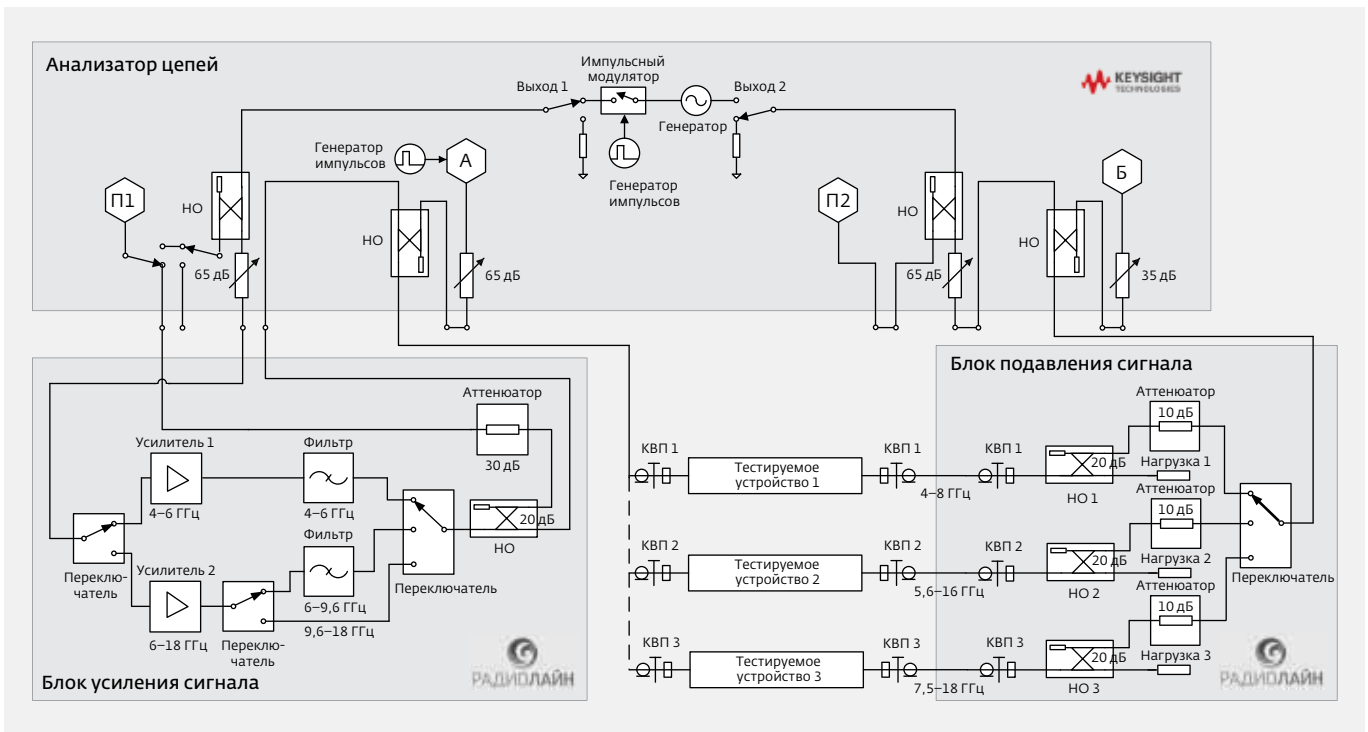
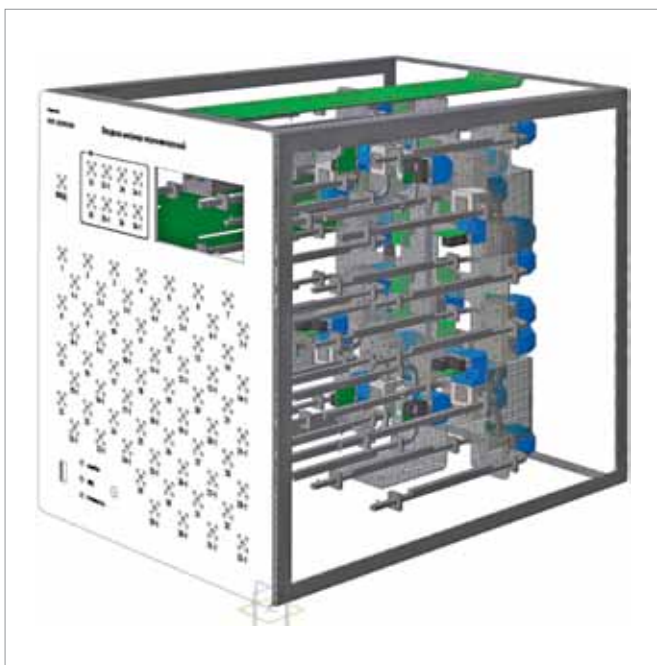


Рис.1. Схема измерительного стенда для тестирования приемно-передающих модулей



**Рис.2.** Схема повышения/подавления мощности для измерения полной матрицы S-параметров. П1 – опорный приемник порта 1, П2 – опорный приемник порта 2, А – приемник отраженного сигнала, Б – приемник прошедшего сигнала, НО – направленный ответвитель, КВП – коаксиально-волноводный переход

модуля необходимо использовать коммутационную матрицу СВЧ-переключателей. При этом пороговое



**Рис.3.** Волноводная матрица РЛТГ.42292.001 производства компании "Радиолайн"

значение уровня входной мощности коаксиальных переключателей составляет 30 дБм. Следовательно, при работе с более высокими уровнями по входу/выходу нужно применять элементы повышения/понижения мощности в каждом измеряемом канале. Чем больше каналов в приеме-передающем модуле, тем выше затраты на дополнительные компоненты. Выходом из такой ситуации может быть применение волноводной матрицы переключателей (рис.3), которая выдерживает более высокие уровни мощности (до 60 дБм в зависимости от частотного диапазона).

Для оптимизации измерительной установки рекомендуем использовать анализаторы цепей со встроенным импульсным модулятором и наличием не менее четырех генераторов импульсов. К таким приборам относятся анализаторы цепей серий PNA и PNA-X (с опциями O21, O25) производства компании Keysight Technologies. Данные приборы позволяют также измерять абсолютное значение фазы и ГВЗ модулей с преобразованием частоты без использования в измерительном тракте опорного/калибровочного смесителя.

Одно из пожеланий, получаемых специалистами компании "Радиолайн" от заказчиков, к тестированию ППМ – проведение цикла измерений при высоких/низких температурах окружающей среды. В этом случае модуль вместе с подключенными к нему коаксиальными



Рис.4. Анализатор цепей с контроллером и модулями Cal Pod

кабелями помещается в камеру тепла/холода. Даже специализированный кабель изменит характеристики при нагревании и охлаждении, что приведет к возникновению дополнительных факторов погрешности измерений. Для учета эффекта температурной нестабильности компанией "Радиолайн" были применены модули калибровки в тракте Cal Pod (рис.4), производства Keysight Technologies. Они устанавливаются непосредственно в измерительный тракт на входы и выходы

приемо-передающего модуля и позволяют проводить рекоррекцию калибровки тракта перед каждым измерением или по запросу.

Таким образом, для тестирования приемо-передающих модулей необходимо построить сложную измерительную систему. Наличие большого числа измеряемых параметров и каналов требует обработки и хранения множества данных, что приводит к необходимости автоматизации стенда.

Процесс автоматизации измерительной системы включает несколько этапов.

**Этап 1** – формирование ТЗ на автоматизацию, обсуждение с заказчиком специфики тестируемого устройства и процедур тестирования.

**Этап 2** – проектирование АРМ, защита проекта и заказ компонентов будущей системы. Стоит отметить, что компания "Радиолайн" выполняет работы под ключ, отвечает за результат. Итог сотрудничества с заказчиком – не набор коробок, а законченное решение, выполняющее определенные задачи. Еще одно преимущество состоит в том, что в процессе производства и проектирования исключены любые посредники-перекупщики, все необходимые материалы и оборудование заказываются напрямую у производителей, что существенно снижает стоимость АРМ.

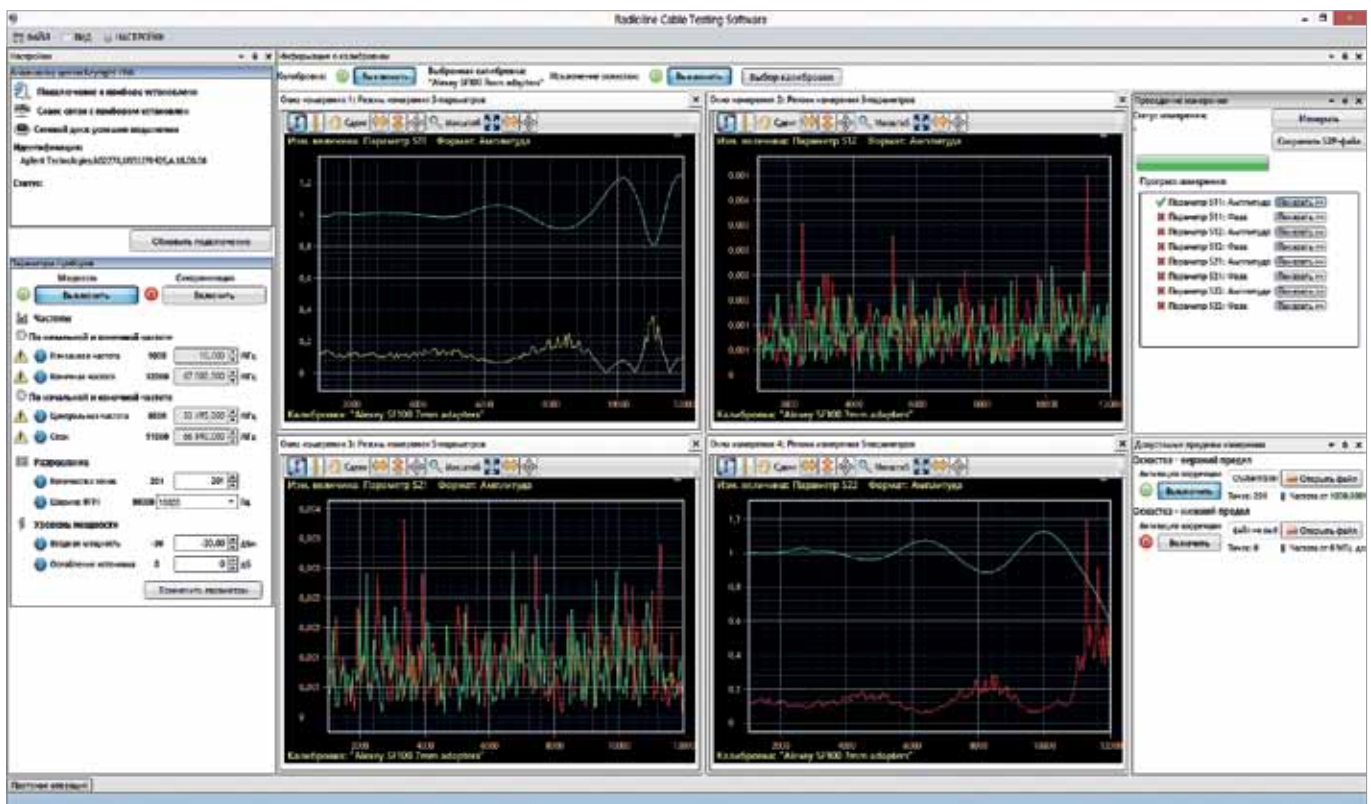


Рис.5. Интерфейс ПО управления приборами RL NAS 1.0 компании "Радиолайн"

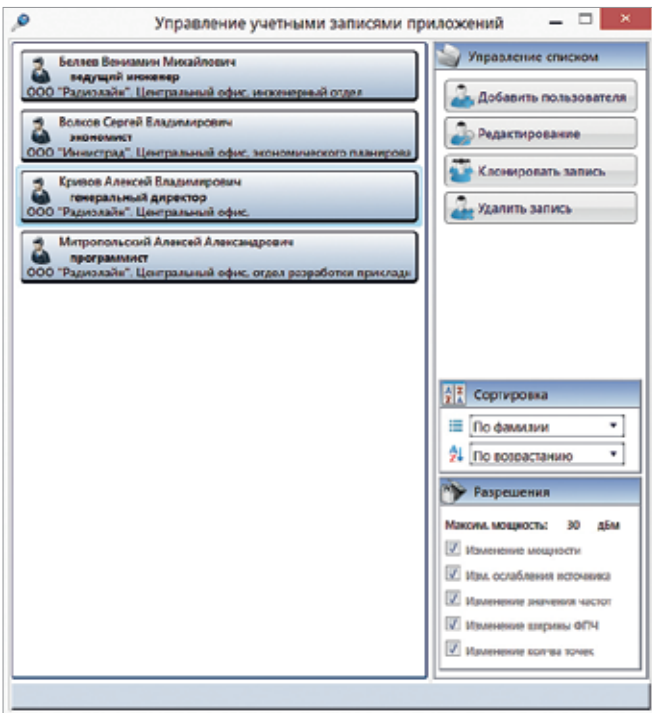


Рис.6. Настройка уровня доступа для операторов в ПО RL TRM

**Этап 3** – создание программы полного управления приборами и калибровками. Этап состоит из разработки алгоритмов управления приборами для тестирования каждого параметра, а также алгоритма калибровки и подготовки автоматизированных измерений. Задача заключается в наладке системы и создании интерфейса пользователя для настройки калибровок и параметров приборов (рис.5). На этом же этапе формируются файлы состояний (файлы, в которых записан набор настроек прибора) и создается база калибровок.

**Этап 4** – создание приложения автоматизации измерений. На данном этапе определяется набор вводимых пользователем параметров для настройки измерений (частотный диапазон, уровень мощности и др.), задаются последовательность измерений и формат вывода результатов. При необходимости

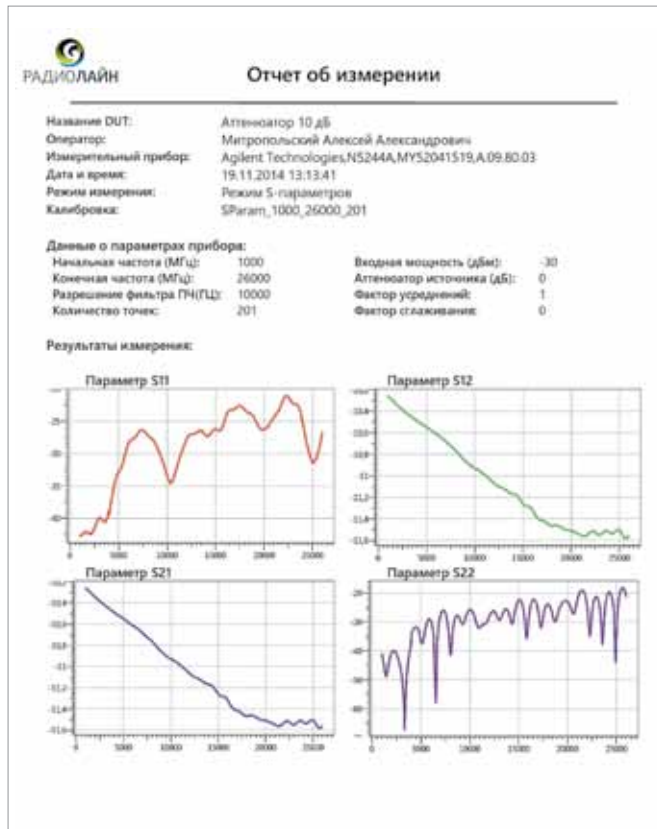


Рис.7. Пример отчета о результатах измерений в ПО RL TRM компании "Радиолайн"



Рис.8. Внешний вид АРМ тестирования параметров приемопередатчиков специального назначения

организовать программно-аппаратное управление модулем создается приложение, реализующее обратную связь между ППМ и программным обеспечением для измерений. Также можно добавить градацию уровней доступа операторов и секретности (рис.6). Например, для определенной категории операторов не допускается изменение уровня мощности при тестировании, а для другой категории интерфейс пользователя не будет отображать частотный диапазон измерений.

**Этап 5** – создание приложения для обработки, визуализации и хранения полученных данных измерений. На этом этапе создается средство просмотра и обработки полученных данных, генерации отчетов (рис.7). Важная особенность данного приложения – возможность отображения на одном графике для заданного измеряемого параметра всех полученных результатов. Это позволяет, например, сравнивать вид АЧХ для разных каналов и модулей путем вывода на один график полученных данных по каждому

каналу/ модулю. Затем этот график можно сформировать в отчет и представить в pdf-файле (поддерживаются различные форматы файлов).

**Этап 6** – проведение приемо-сдаточных испытаний, обучение и инструктаж персонала, в отдельных случаях – изготовление КД по ЕСКД.

В заключение стоит отметить, что создание автоматизированных стендов для тестирования приемо-передающих модулей (рис.8) может существенно ускорить отладку изделий и выпуск продукции при серийном производстве. Более эффективное использование измерительных приборов, а также снижение требований к квалификации персонала позволяет существенно сократить издержки предприятия. В качестве примера можно привести слова одного из наших заказчиков о том, что до появления АРМ тестирование изделия обычно занимало около четырех месяцев, а большая часть времени уходила на поиск ошибок коммутации и калибровок. После появления АРМ период тестирования сократился до полутора месяцев. ●

## ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ



### РУКОВОДСТВО ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ СВЧ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ

Джоэль П. Дансмор  
При поддержке Keysight  
Перевод с английского

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – Ок. 560 с.  
Переводное издание  
формат 70 × 100 / 16  
переплет

Эта книга представляет собой совокупность базовых и передовых понятий теории и практики. К сожалению, границы этих понятий размыты и зависят в значительной степени от уровня образования и опыта читателя. Прежде всего, эта книга о методах выполнения измерений, но в то же время в ней содержится масса информации о характеристиках устройств. Эта информация будет полезна и для проектировщика, и для инженера-испытателя, поскольку одна из целей тестирования устройства состоит в том, чтобы установить характеристики, которые не следуют из упрощенных моделей, обычно используемых для этих устройств.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346; ☎ (495) 234-0110; ✉ [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)