

**Лидер в индустрии систем с
изменяемым импедансом нагрузки
(load pull) и систем измерения
параметров шума**



FOCUS
MICROWAVES

- Стандартная TRL калибровка
- Тюнеры импедансов
- Измерительная оснастка
- Системы измерения ВАХ в импульсном режиме
- Системная интеграция для измерения на подложках



Широкий спектр клиентов по всему миру использует системы с изменяемым импедансом нагрузки и системы измерения параметров шума компании Focus Microwaves

"Nitronex Corporation" использовала системы load pull производства Focus в течение двух лет. Теперь мы приобрели дополнительно две такие системы и используем их на регулярной основе. Начиная с предпродажной поддержки, до установки и в течение ежедневного использования, мы обнаружили, что персонал компании Focus был очень доброжелательным, отзывчивым и компетентным. Технические вопросы, многие из которых были связаны ограниченностью наших знаний о системе, были обработаны быстро и точно. И аппаратура и программное обеспечение оказались очень надежными, несмотря на интенсивное использование системы в опытах. В целом, наш опыт работы с Focus была очень позитивным, и мы с нетерпением ожидаем продолжения отношений".

Ric Borges
Nitronex Corporation, NC

"Команда экспертной поддержки в Focus придумала жизнеспособные решения для всех наших непосредственных и долгосрочных потребностей"

Tomasz Wegrzynowicz
Xindium Technologies, IL

«Кратце, целью нашей заявки является характеристика LDMOS высокой мощности для усилителей базовых станций сотовых телефонов. Очевидно, с помощью Focus нам удалось улучшить нашу эффективность их проектирование и выиграть время на рынке. Эта успешная интеграция была прямым результатом обслуживания и поддержки, которую мы получили от персонала Focus. Спасибо!»

Ha Than, Ph.D.
Paradigm Wireless Systems, Inc. CA

"Мы использовали тюнеры Focus на 8,4 и 32 ГГц при проектировании усилителей, поиске и устранении неисправностей. Техническая поддержка Focus отличная ... Они даже помогли нам в решении ряда задач и нашли необходимое оборудование"

Perry Malouf, Ph.D.
Laurel, MD

"Тюнеры позволили сделать измерения, которые являются важнейшим элементом для точных моделей и конструкций в наших технологических процессах. Focus дал нам хорошую клиентскую поддержку и работает с нами по телефону. В целом, мы были очень довольны высоким уровнем технического обслуживания на протяжении многих лет".

John Holmes
Motorola Labs., AZ

Уже в течении нескольких лет IME (Institute for Micro-Electronics) в Сингапуре использует системы Focus для проведения шумовых измерений с помощью WINNOISE. Мы получили точность лучше чем 0,2 дБ для всего диапазона от 1 ГГц до 18 ГГц.
Dr. Xiong Yong Zhong
Institute for Micro-Electronics, Singapore

"Спасибо всем, кто помог в быстрой доставке и установке новой системы load pull"

Jay Lai, Ph.D.
Microsemi, CA

"Я думаю, что ваши тюнеры предварительного согласования - отличная аппаратура. Они надежные, обеспечивают повторяемость измерений и просты в использовании. Поддержка, которую вы предоставили, тоже на очень высоком уровне. Несколько недель назад у меня был технический вопрос о реализации вашей TRL калибровки и вы ответили мне почти моментально. Это был высший класс."

Mikael Garcia, Ph.D.
Methuen, MA

"FSCI имеет несколько установок load pull, так что я имел возможность познакомиться с установками конкурентов. Я обнаружил, что система Focus получает данные быстрее (в 3-10 раз короче калибровки и время измерений) с одинаково воспроизводимыми данными и проще в освоении и использовании."

Jon Shumaker,
Fujitsu Compound Semiconductor, CA

"Я использую тюнеры Focus не первый год, и я нахожу их очень воспроизводимыми и надежными. Это очень хорошее оборудование с непревзойденной производительностью с хорошей технической поддержкой».

Thomas Landon
TriQuint Semiconductor, TX

"Оборудование работает как рекламируется. Техническая поддержка и проектная документация, позволяющая ответить на технические вопросы, отличные."

Dave Frey
Principle RF Engineer
BAE Systems Electronics and Integrated Solutions

"Потратив немало времени при работе с системой load pull конкурентов, я нашел много преимуществ в использовании Focus системы для осуществления моих задач проектирования".

John B. Call
Silicon Wireless Corporations, NC



Focus Microwaves

Компания «Focus Microwaves», в настоящее время, является лидером в области исследования, разработки и производства тюнеров импедансов. С 1989 года наша продукция помогает разработчикам маломощных усилителей - МШУ, и усилителей мощности, сократить цикл разработки и получить конкурентные преимущества.

Поддержка клиента и качество являются нашими основными приоритетами. Компания Focus Microwaves разработала широкий ассортимент продукции, программного обеспечения, и всегда была на переднем крае промышленности и инновации.

Компания Focus Microwaves обладает 14 завершёнными патентами и более чем 20 патентами в ожидании утверждения. На мировом рынке компания Focus Microwaves установила более чем 1000 измерительных систем и более чем 2000 автоматических тюнеров импедансов; только за последние два года уже установлено более чем 30 систем в разных отраслях промышленности и университетах.

Наша продукция используется в научно-исследовательских институтах, университетах, военной отрасли, беспроводной связи и тестировании полупроводников.

Focus предлагает множество решений для измерения параметров ВЧ устройств,

которые необходимы при разработке, подтверждении характеристик модели на реальном устройстве, а также в рамках тестирования и контроля качества, начиная с простого ручного тюнера и заканчивая станцией измерения параметров ВЧ микроэлектронных устройств:

- Автоматические тюнеры вместе со специализированным программным обеспечением для персонального компьютера и совместимым GPIB контроллером.

- Системы исследования параметров шума для испытываемых устройств.

- Нелинейные активные и пассивные системы с изменяемым импедансом нагрузки (в режимах НГ и импульсном)

- Гибридное изменение импеданса нагрузки с применением внешнего генератора и механического трансформатора импеданса -гармоническое изменение импеданса нагрузки и изменение во временной области (Time domain LP)

- Решения для подложек, в том числе с безвибрационными станциями и предварительно согласованными волноводами специальной формы (pre-matching bend-lines).

- Системы измерения импульсных вольт-амперных характеристик и S-параметров, калибровка TRL

- Оснастки для тестов высокой мощности (в микрополосках и в коаксиале).





Система с изменяемым импедансом нагрузки

Целью изменения импеданса нагрузки является измерение реакции испытываемого устройства (ИУ) в зависимости от импеданса нагрузки. При использовании в сочетании с источником сигнала и анализатором (анализатор спектра, измеритель мощности, векторные приемники ...) load pull может использоваться для измерения таких параметров, как выходная мощность, усиление, эффективность в зависимости от импеданса нагрузки со стороны ИУ.

Технология load pull находится на рынке более 20 лет. Большинство систем используют: два тюнера, векторный анализатор цепи (ВАЦ), измеритель мощности, генератор сигналов и другие аксессуары. ВАЦ, как правило, используется для калибровки тюнера и комплектующих систем / компонентов.

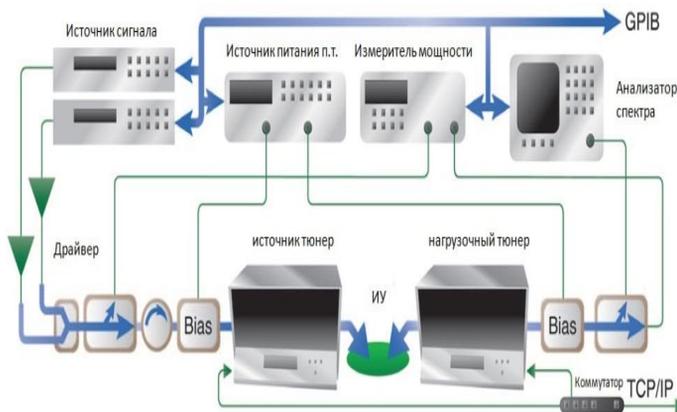


Рис.1 - типичная система load pull, используемая большинством клиентов.

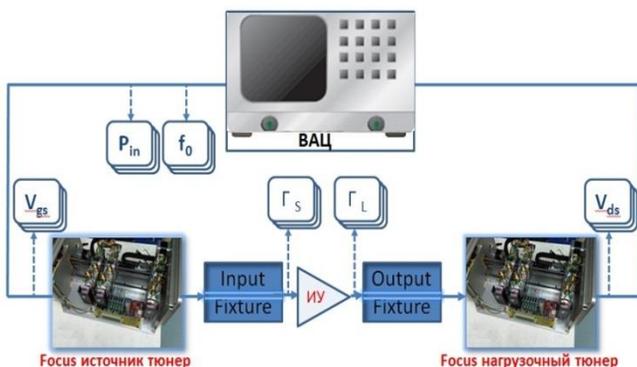


Рис.2 - Современная система load pull

Общие параметры системы с изменяемым импедансом нагрузки:

- Диапазон частот 10 МГц 220 ГГц
- Минимально измеряемый импеданс: для устройств "в корпусах" на оснастке 0,1 Ом. Для твердотельных пластин при минимальных потерях в подводящих кабелях - ниже чем 2 Ом в S-диапазоне и C-диапазоне.
- Максимальная мощность в НГ составляет 500 Вт, и несколько тысяч ватт в импульсном режиме.
- Параметры измерений: все параметры постоянного тока и радиочастотные (РЧ) параметры, гармонические или модулированные сигналы, в том числе ВАХ, усиление, мощность, эффективность (КПД), нелинейные искажения, интермодуляционные искажения и т.д.

На рис.3 представлена типичная Load Pull (LP) система нового поколения, включающая ВАЦ и блок питания. С левой стороны - Focus ICCMT тюнер источника, с правой стороны - Focus MPT (Multi-Purpose Tuner) тюнер нагрузки, по середине - Focus тестовая площадка с малыми потерями и установленным ИУ.



Рис.3-Типовой вариант нового поколения LP систем



Изменение импеданса нагрузки на гармонических частотах

Спутники, радары, базовые станции и сотовые телефоны - эффективность (КПД) для этих приложений очень важна при их конструировании. Повышение КПД является одним из ключевых факторов в усилителях высокой мощности. Измерения импеданса нагрузки на гармониках играют главную роль в этом процессе, и становятся все более и более популярными.

Рисунок 6 показывает пример повышения эффективности с помощью гармонической настройки.

Испытываемым устройством (ИУ) является NXP 200 Вт LDMOS. Focus MPT-тюнер фиксирует импеданс на частоте несущего сигнала, затем измеряет выходную мощность и КПД для второй гармоники при различных фазах изменения импеданса нагрузки. Разница КПД для второй гармоники составляет 10 %

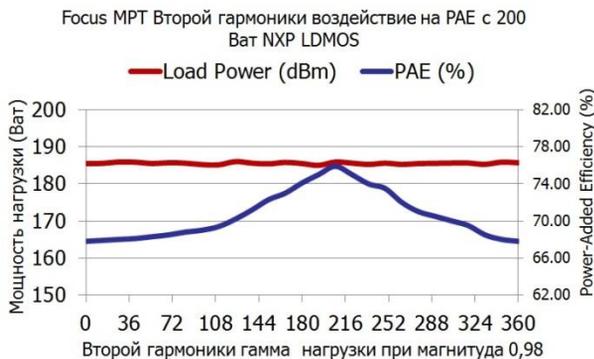


Рис. 6: повышение эффективности с помощью гармонической настройки.

Частотный диапазон MPT тюнера от 400 МГц до 60 ГГц в 4-ех рабочих режимах:

1. MPT тюнер может использоваться как ССМТ-тюнер, настроенный на фиксированную частоту F0.
2. MPT может настроить несколько гармонических частот.
3. MPT может использоваться как тюнер больших изменений импеданса нагрузки при большом коэффициенте отражения.



Рис. 7: Focus MPT тюнер

4. MPT могут быть использованы в качестве стабильного тюнера путем закрепления кареток со сдвигом фазы на 120 градусов на рабочей частоте. Фаза таким образом зафиксирована и настраивается только магнитуда (амплитуда). Другими словами зонда движутся только по вертикали. Этот метод идеален для использования с измерением твердотельных пластин.

Рисунок 8 показывает систему гармонического load pull на пластине.

С левой стороны - Focus iMPT-lite тюнер, с правой стороны - Focus iMPT 3620 тюнер, эта система настройки позволяет работать с гармониками с обеих сторон.



Рис. 8: Гармонический load pull на пластине

Рисунки 9-1 и 9-2 показывают измерительные результаты GaN. Первый рисунок показывает фундаментальное измерение без гармоник, второй с гармоникой - разница эффективности составляет 7%

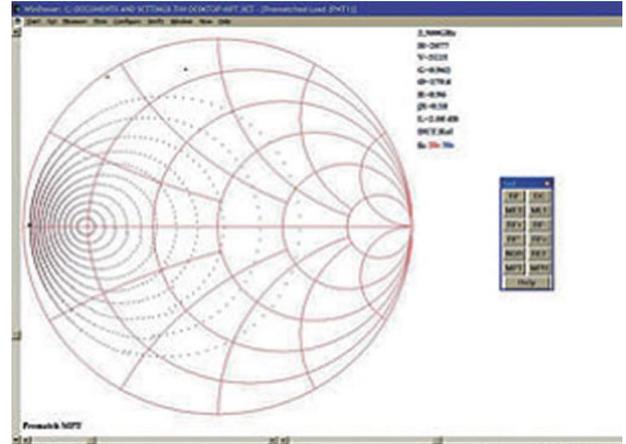


Рис. 9-3 MPT в режиме большого коэффициента отражения

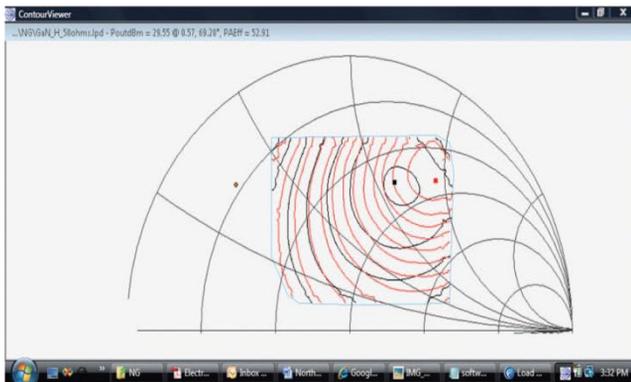


Рис. 9-1 фундаментальная настройка, PAE =59%

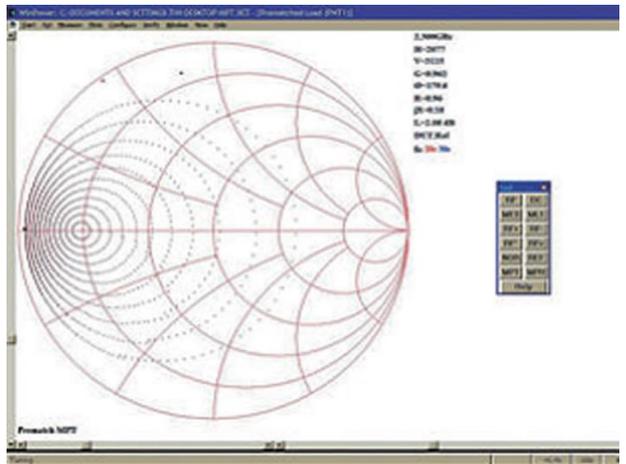


Рис. 9-4 MPT в режиме гармонической настройки

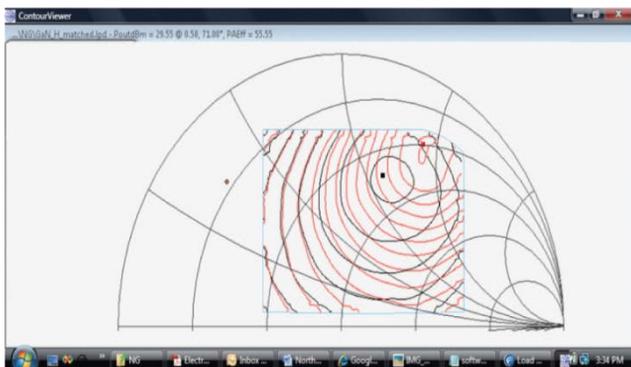


Рис. 9-2 гармоническая настройка, PAE=66%



Гибридное активное изменение импеданса нагрузки (HAILP)

Активный load pull нагрузки является единственным методом, который позволяет согласовать низкий внутренний импеданс силовых транзисторов, особенно на пластине или на очень высоких частотах, где подключение к тюнеру и потери зонда снижают эффективный диапазон настройки.

Для традиционного активного load pull требуются усилители высокой мощности с обратной связью, чтобы преодолеть сильное рассогласование между усилителем и импедансом транзистора.

Однако, замкнутый контур активного load pull нагрузки также склонен к случайным возбуждениям резонансного типа. Кроме этого, для гармонической настройки требуются: несколько внешних источников, фильтры и усилители.

Решение Focus устраняет эти проблемы.

На рисунке 11 представлены результаты измерения HAILP. Максимальное $\Gamma \geq 1$

На рисунке 10А и 10В представлена Focus система HAILP с разными ВАЦ : левая сторона Focus MPT тюнеры с векторным анализатором цепей (Rohde & Schwarz) ZVA67, правая сторона ССМТ фундаментальный тюнер, MPT гармонический тюнер с векторным анализатором цепей Agilent N5242A.

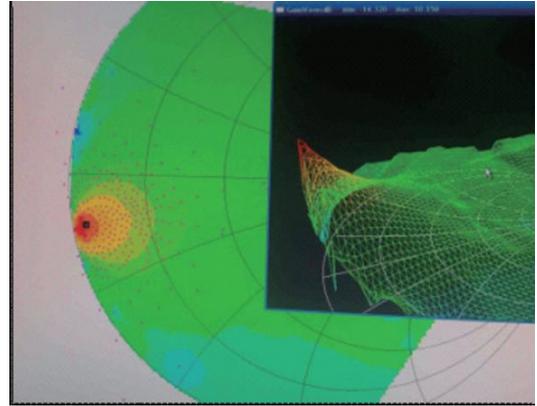


Рис. 11

Особенности Focus HAILP :

- $\Gamma \geq 1$ в опорной плоскости испытуемого устройства;
- использует "открытый контур" технологии активного введения сигнала, позволяющий устранить паразитные цепи;
- использует механические тюнеры, чтобы предварительно согласовать выход транзистора с усилителем, что позволяет снизить требуемую мощность;
- использует пассивный гармонический тюнер (MPT) для независимой гармонической настройки;
- может быть установлен в качестве обновления для уже существующих систем load pull;
- совместим со всеми гармоническими приемниками (во временной области и в частотной области).



Рис. 10А

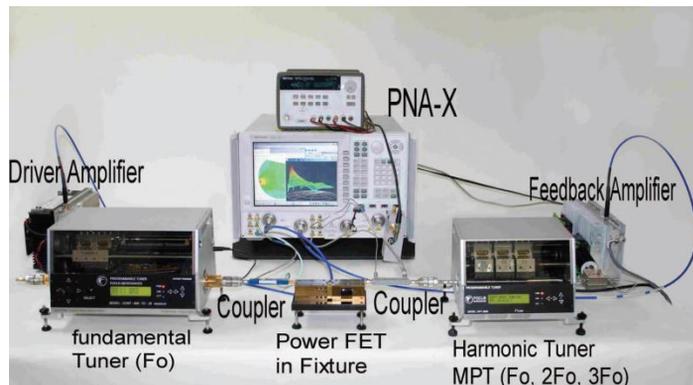


Рис. 10В



Система измерения X-параметров

В 2008 г. компанией Agilent впервые представила технологии X-параметров в решении для нелинейного векторного анализа цепей на базе PNA-X (NVNA). X-параметры - это математически правильное расширение S-параметров, позволяющее характеризовать относительные фазы и амплитуды гармоник, произведенных нелинейными компонентами при больших уровнях входного сигнала во всех портах. Это правильно характеризует рассогласование импедансов и смещение частот, что позволяет точно моделировать каскадные нелинейные блоки X-параметров, такие, как усилители и смесители, при проектировании беспроводных устройств. Рис 12. показан принцип получения X-параметров: Focus LPEX работает с PNA-X и контролирует 2 тюнера в любом положении.

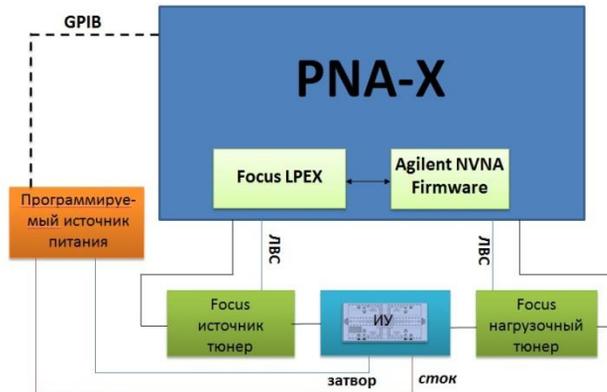


Рис 12: структура извлечения X-параметров при работе с большим сигналом

С Agilent PNA-X & NVNA вы можете получить X-параметры при импедансе около 50 Ом, но это не подходит для силовых транзисторов, потому что входящие и выходящие импедансы силовых транзисторов далеки от 50 Ом. Для этих целей необходимо использовать систему Focus Lp, чтобы получить S параметры при любых импедансах. Это можно сделать с помощью Focus LPEX и NVNA.

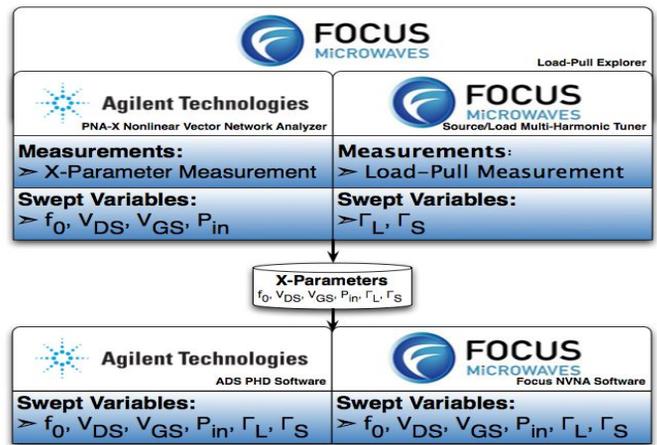
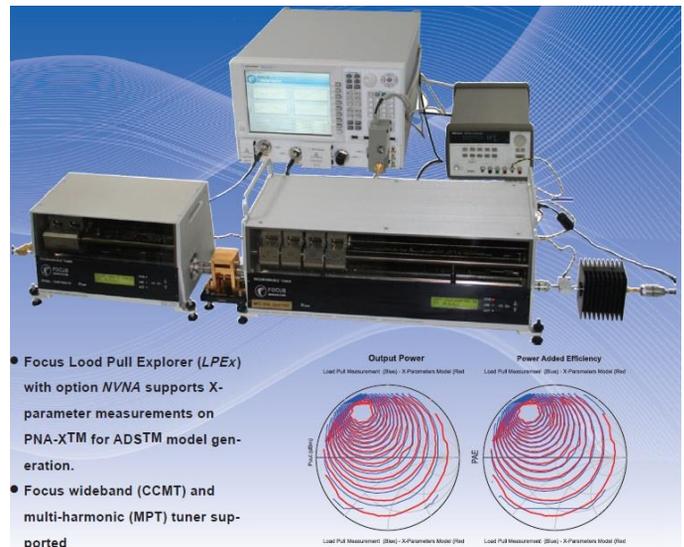


Рис 13: Agilent NVNA и Focus LP система интеграции для измерения X-параметров



- Focus Load Pull Explorer (LPEX) with option NVNA supports X-parameter measurements on PNA-XTM for ADS™ model generation.
- Focus wideband (CCMT) and multi-harmonic (MPT) tuner supported

Рисунок 14: Система согласования нагрузки Focus в сочетании с Agilent NVNA может измерять X-параметры при любом импедансе. В результате, дизайнеры могут сделать имитацию нелинейного усилителя в ADS.



Системы измерения параметров шума

Согласование нагрузки и измерение параметров шума являются критическими для оптимизации устройств, а также точными и эффективными показателями для малошумящих и силовых усилителей. Эти измерения осуществляются с помощью автоматических СВЧ-тюнеров, которые запатентованы компанией Focus, и являются самыми передовыми на сегодняшнем рынке. Целью проведения измерений параметров шума является определение шумовых параметров или проверка модели шума транзистора: минимальный коэффициент шума (NFmin), эквивалентное шумовое сопротивление (R_n) и оптимальная проводимость ($Y_{opt} = G_{opt} + jB_{opt}$).

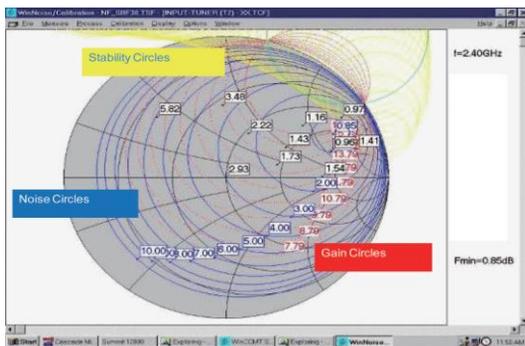


Рис 16: Показатели на диаграмме Смита: контур стабильности, контур шума, контур коэффициента передачи.

Этот процесс стал возможным с использованием калиброванного электро-механического тюнера и ВЧ переключателя - комплекта вместе со специализированным программным обеспечением измерения шума Focus. Focus в настоящее время поддерживает два способа получения шумовых параметров: это измерение методом горячего источника (Hot-Cold (Y-Factor)), и прямое измерение шума или метод холодного источника (Cold Noise Source (CNS)). Y-Factor метод не использует ВЧ переключатели и менее чувствителен для точности S-параметров устройства; параметры устройства могут быть сохранены в файлах и использованы самостоятельно,

однако имеющиеся потери тюнера могут повлиять на точность. CNS метод более чувствителен к точности S-параметров устройства, но менее чувствителен к потерям тюнера. Поэтому CNS метод нуждается в ВЧ переключателях и в ВАЦ для измерения S-параметров устройства в течении операции



Рис 17: Типичная схема системы измерения параметров шума.



Рис 18: Система измерения параметров шума.

Особенности системы измерения шума компании Focus :

- Частотный диапазон: 10 МГц - 110 ГГц.
- Новый способ извлечения шумовых параметров, самый передовой на рынке.
- Высокая точность (можно измерить минимальный коэффициент шума в 0,1дБ).
- Поддерживает развертку по частоте (frequency sweep) и развертку по смещению (bias sweep).
- Быстрые измерения (в сто раз быстрее по сравнению с традиционными).
- Простая настройка, с помощью системы установки NPEX (Noise Parameter Explorer).



Рис 20: Focus входной модуль, выходной модуль и контролер.

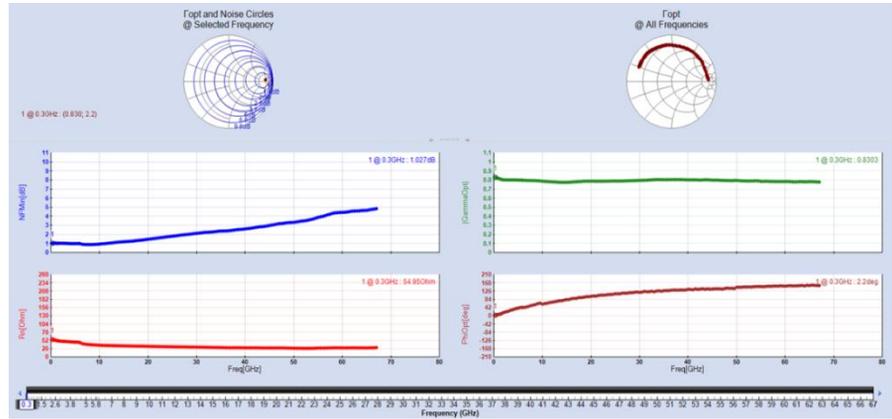


Рис 19: Параметры шума

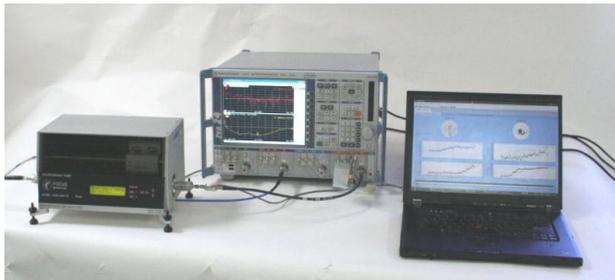
Модели выходящего шума

ONM модели	описание
ONM-1800	Выходной модуль 18 ГГц
ONM-2600	Выходной модуль 26.5 ГГц
ONM-4000	Выходной модуль 40 ГГц
ONM-4000-DC	Выходной модуль 40 ГГц (down converter)
ONM-5000	Выходной модуль 50 ГГц+
ONM-5000-DC	Выходной модуль 50 ГГц (down converter)
ONM-6500	Выходной модуль 65 ГГц
ONM-6500-DC	Выходной модуль 65 ГГц (down converter)

Модели входящего шума

INM модели	описание
INM-1800	Входной модуль 18 ГГц
INM-2600	Входной модуль 26.5 ГГц
INM-4000	Входной модуль 40 ГГц
INM-5000	Входной модуль 50 ГГц
INM-6500	Входной модуль 65 ГГц

Системы измерения шума с использованием векторного анализатора цепи ВАЦ



Широкополосная система параметров шума с использованием векторного анализатора цепи ZVA (Rohde & Schwarz), опция K30 и CCMT-1808 Focus тюнера 0,8-18 ГГц. Может измерять параметры шума быстрее 1сек./частотную точку.



Широкополосная система параметров шума с использованием векторного анализатора цепи PNA-X (Agilent), CCMT-2607 Focus тюнера 0,7-26 ГГц, источника шума и устройства входного шума. PNA-X поддерживает опции 28, 29. Может измерять параметры шума быстрее 1сек./частотную точку



Интеграция в системы измерений на подложках

Системы интеграции Focus подходят для всех зондовых станций (Focus и других производителей) от частот ниже 1 ГГц и до 10 ГГц.

Целью интеграции согласования нагрузки или измерения параметров шума должна быть возможность тестирования на пластине в контролируемых условиях импеданса (фундаментальные и гармонические). Так как, для большинства транзисторов требуется высокая настройка КСВН, вносимые потери между тюнерами и пластиной должны быть сведены к минимуму. С этой целью Focus разработал выходной разъем с волноводом, расположенным под углом, который является продолжением полосковой линии, и зонд подключается непосредственно к разъему тюнера без каких-либо кабелей (при 30-50 ГГц разница в потерях между использованием кабеля и такой линии составляет около 0,4 дБ). На рисунке 22 показана структура выходного разъема, принятая большинством наших клиентов. При необходимости предварительное согласование может быть добавлено на угловом разъеме, чтобы увеличить отражение тюнера. Механическая стабильность является ключевым фактором системной интеграции, Focus сделал много усилий, чтобы увеличить стабильность между тюнером и зондом. 200 систем уже успешно установлены.

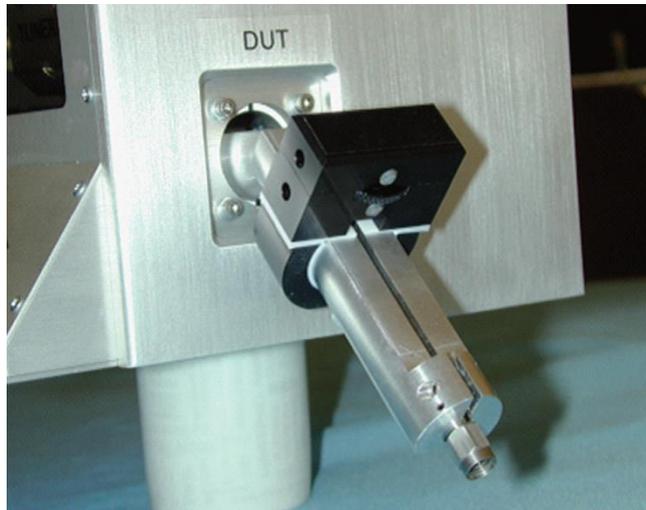


Рис. 22. Тюнер с угловым разъемом

На рисунке 23 показан 3-х осевой позиционер тюнера Focus. Система согласования нагрузки и система измерения параметров шума в настоящее время значительно упростились благодаря изобретению углового разъема и 3-х осевого позиционера.

Типичная система интеграции:

- 1 - ручная или полуавтоматическая зондовая станция
- 2 - 3-х осевой позиционер тюнера
- 3 - интегрированная угловой разъем
- 4 - регулировка Theta
- 5 - переключатели и аксессуары

Фокус разработал специализированный позиционер. Это интегрированная система, где тюнер движется вместе с зондом.



Рис. 23



На рисунке 24 представлена недавно установленная пользовательская система предназначенная для измерения параметров DUT GaN (транзистор на нитриде галлия). Тюнеры могут быть расположены под углом (в данном случае 45°), чтобы соответствовать углам установки зондов. Продлённые полосковые линии в угловом разъеме являются непрерывными для того, чтобы дополнительно снизить вносимые потери и проникнуть в термальную камеру Suss станции. Эта система способна переключаться с измерений Load Pull на измерение параметров шума (Noise) при помощи дистанционного управления.

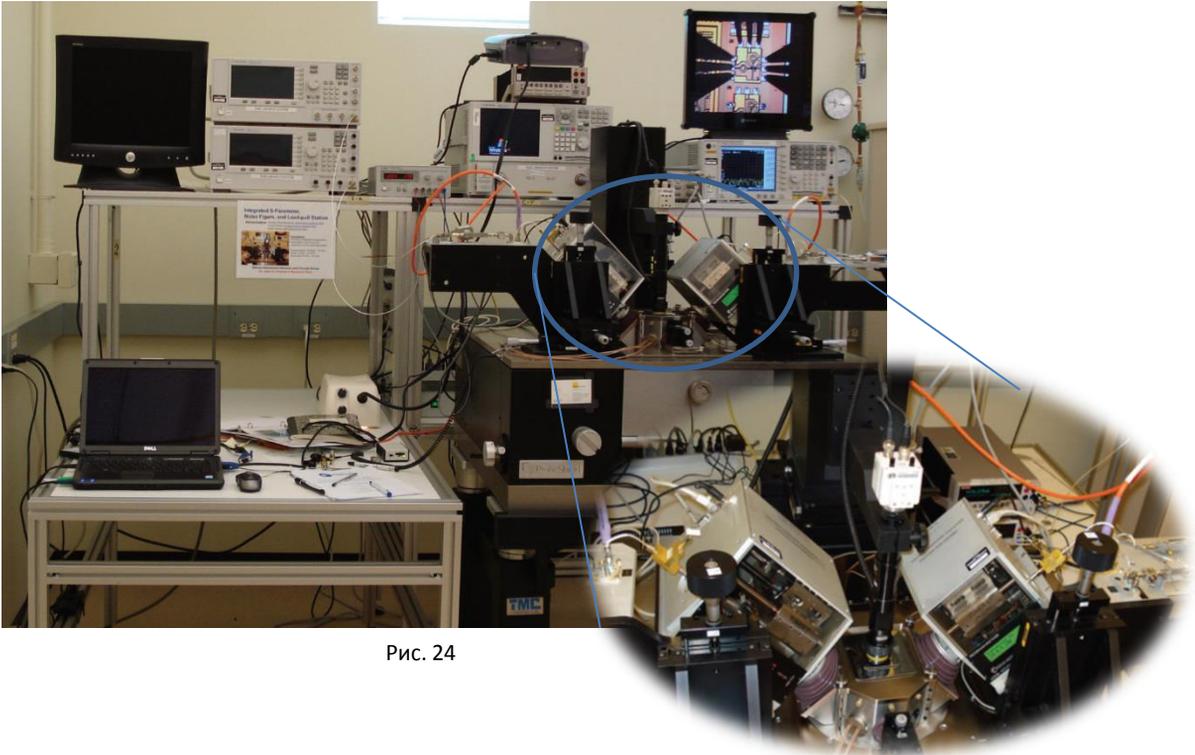


Рис. 24

На рисунке 24А пример стандартной интеграции станции Cascade™12K с использованием 2-х зондового (MPT-Lite) тюнера источника и 3-х зондового (MPT-Classic) нагрузочного тюнера. Тюнеры поддерживаются с использованием 3-х осевого позиционера. Тюнеры имеют изогнутые на 45° полосковые линии (угловые разъемы). Theta (θ) настройки возможны при вращении зонда на полосковой линии.



Рис. 24А



На рисунке 24Б, система PNA-X™ использует два мульти-гармонических тюнера MPT-3020, пневматический и оптический стол и Cascade™9K - ручную зондовую станцию. Тюнеры позиционируются с использованием 3-х осевого позиционера и подключены к испытуемому устройству с использованием внешних 45° угловых разъемов с регулировкой Theta (θ).

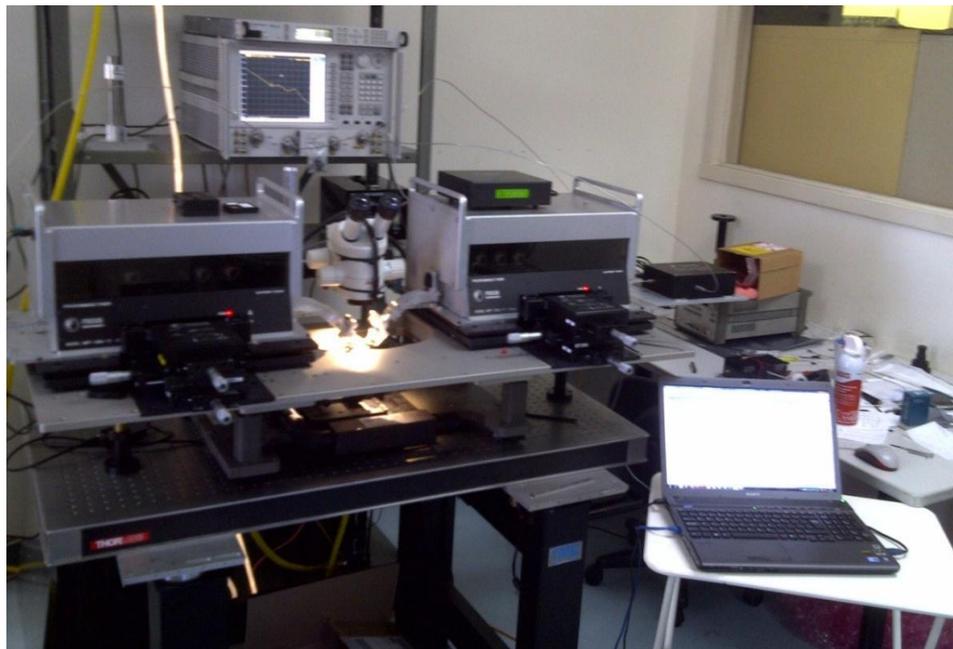


Рис. 24Б

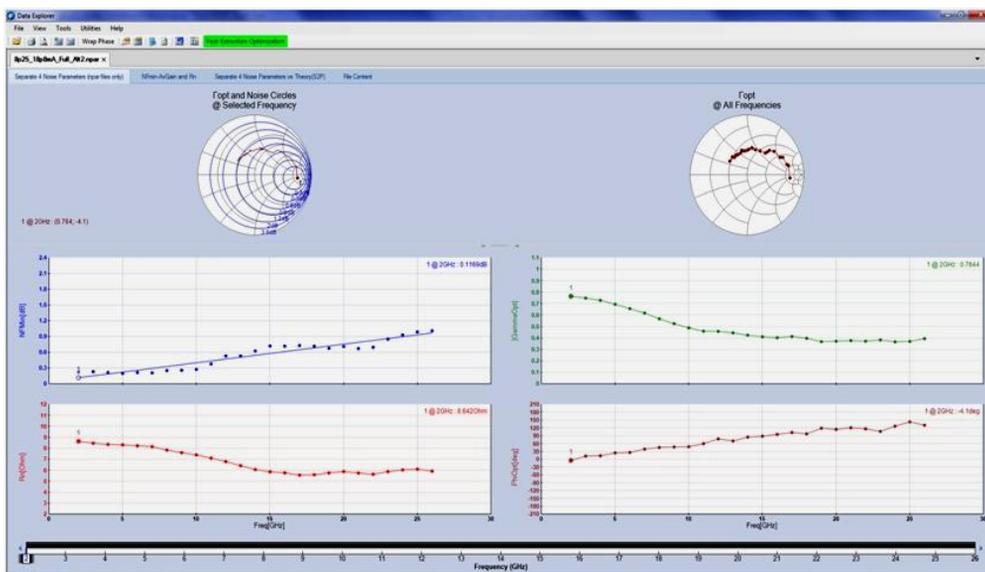


Рис. 24С

На рисунке 24С Измерение параметров шума 2-26 ГГц с помощью интегрированной системы описанной выше. Система полностью совместима с ZVA24™ (Rohde & Schwarz).



LPPS-4, полуавтоматическая зондовая станция согласования нагрузки Focus

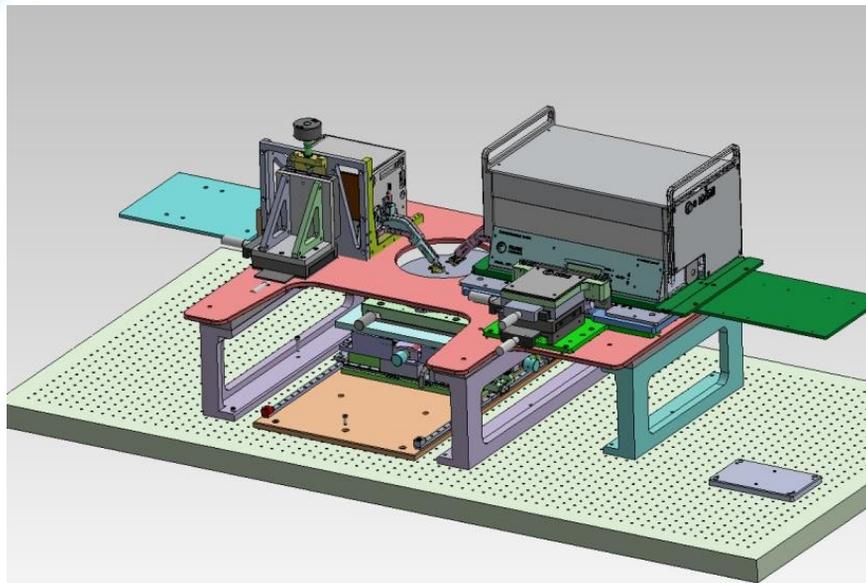
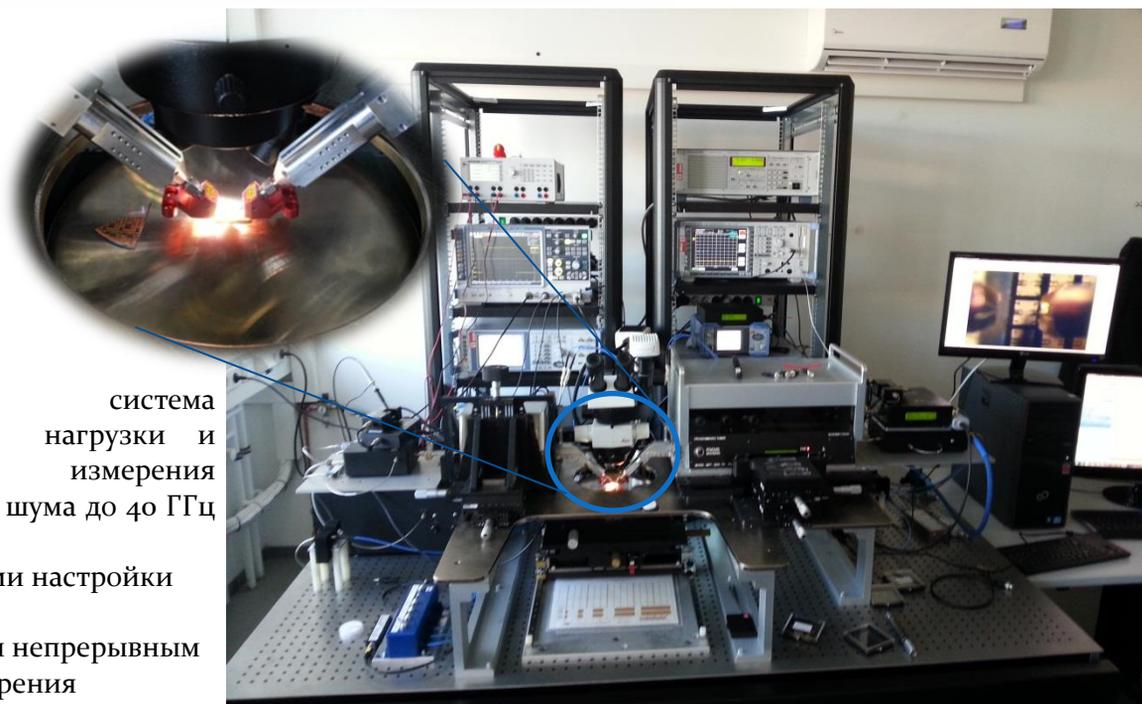


Рис. 25

Модульная зондовая станция с позиционером тюнера XYZ. 6 или 8 дюймовый держатель (Chuck) с XY ручным или автоматическим позиционером. Возможны конфигурации с регулировкой температуры в рабочей зоне.



Комплексная система согласования нагрузки и система измерения коэффициента шума до 40 ГГц с:

- возможностями настройки гармоник
- импульсным и непрерывным режимом измерения
- NVNA и измерениями во временной области

Рис. 25А



Системы измерения вольтамперных характеристик в импульсном режиме (MPIV)

Focus Microwaves представляет Modular Pulsed I-V. Это контролируемое с компьютера устройство, которое производит точное по времени смещение между двумя сигналами. Выходной пульсер (Drain pulser) является контролируемым по сети устройством, которое переключается между двумя внешними источниками питания ИП. Focus MPIV системы экономически эффективны так как клиент может использовать уже имеющийся у него цифровой осциллограф и источник питания.

В системы импульсных вольтамперных модулей входит следующее:

- Gate Pulser
- Drain Pulser
- Probing Board

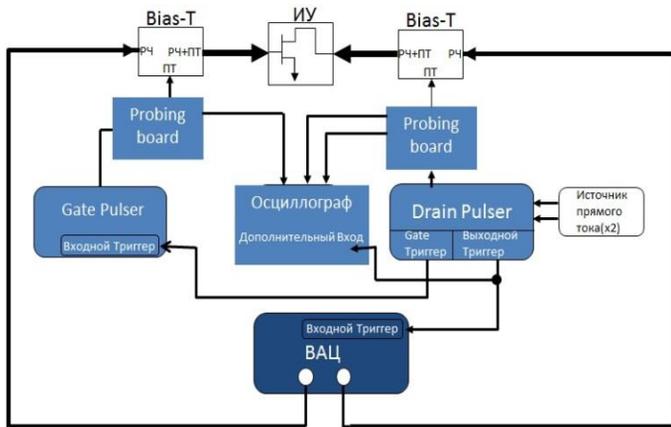


Рис 26: схема импульсных измерений ВАХ

Система показателей Modular Pulsed I-V

MPIV характеристики		Drain	Gate
Импульсного напряжения	Макс. напряжения	200В	±10В
	Разрешение	150мВ	5мВ
Макс. Ток	Макс. Ток	19А	100мА
	Макс. Погрешность	5%	5%
Длительность Импульса	Мин. длительность импульса	300нс	300нс
	Разрешение	33нс	33нс
Рабочий цикл	Мин. Рабочий цикл	0.02%	0.02%
	Макс. Рабочий цикл	100%	100%
точки покоя (Quiescent)	Макс. напряжения	200В	±10В
	Разрешение	150мВ	5мВ
Макс. Погрешность	Макс. Ток	19А	100мА
	Макс. Погрешность	5%	5%

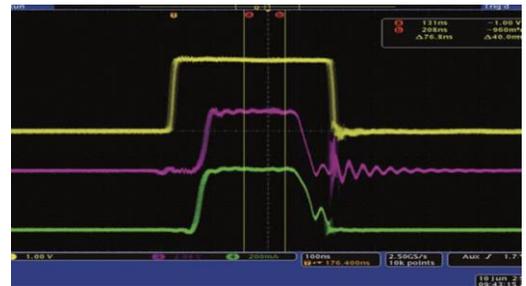


Рис 28 : измерение средней ВАХ между 2 курсорами



Рис 27 : система измерения ВАХ в импульсном режиме (Gate, Drain pulser и Probing Board)

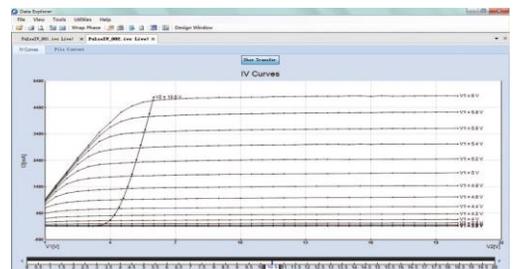


Рис 29: ВАХ транзистора.



Тестирование сотовых телефонов

Тюнер используется для симуляции антенн сотовых телефонов при измерении импеданса - магнитуды и фазы. Измерительное оборудование и тюнер используются для проверки производительности телефона с разными КСВН, а также для проверки выходной мощности, чувствительности приёмника, для оптимизации дизайна печатной платы. Рисунки 31 и 32 представляют собой результаты испытаний.

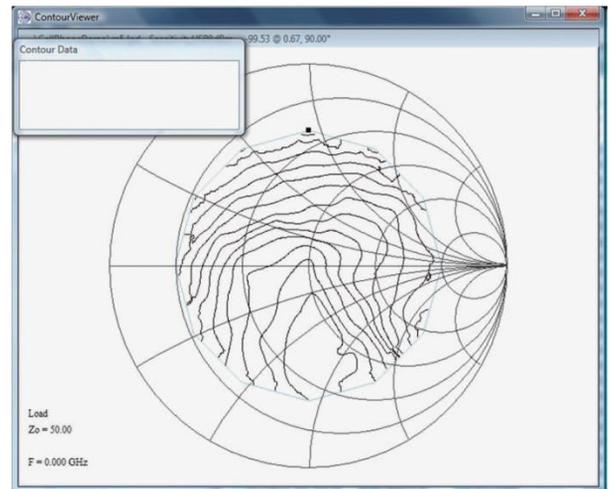


Рис.32- Чувствительности приёмника телефона при частоте битовых ошибок (BER) = 2%



Рис.30- Схема испытания сотового телефона

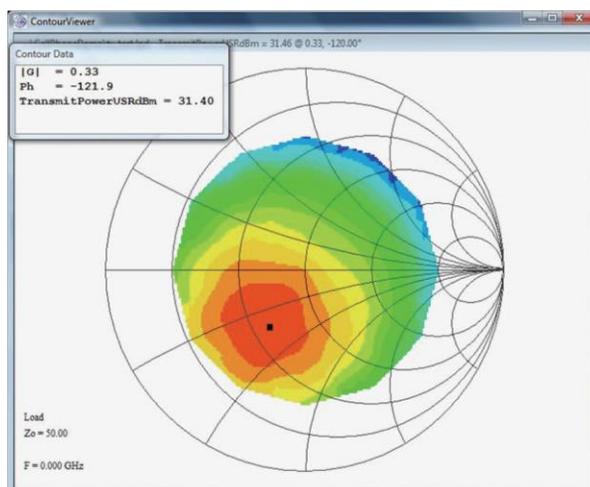
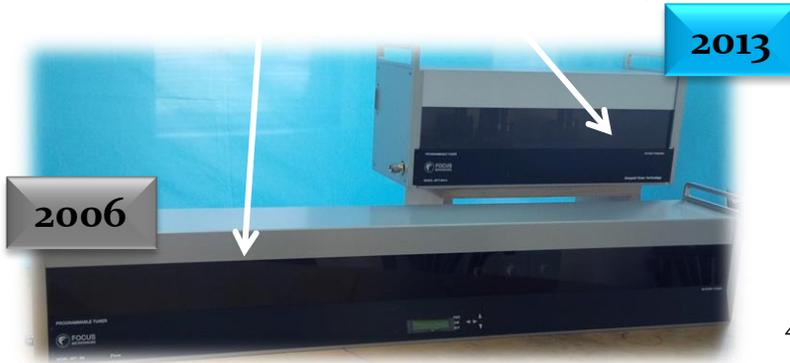


Рис.31- Мощность передатчика телефона при частоте битовых ошибок (BER) = 2%



MPT - S - Series - трёхчастотные гармонические тюнеры

MPT-804 и MPT-804-S (0.4-8 GHz)

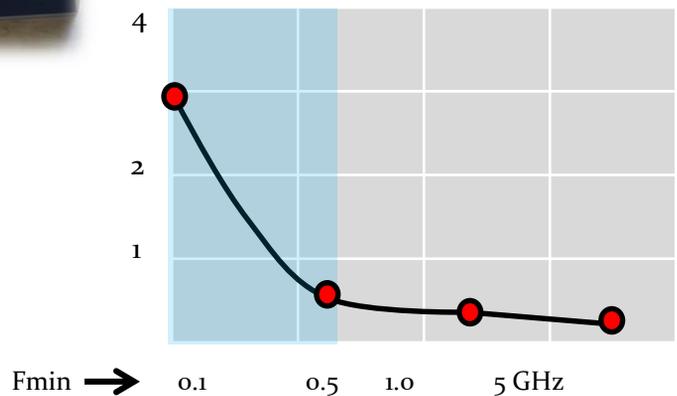


2013

2006

- Значительное уменьшение размеров
- Низкая стоимость интеграции on-wafer (на пластине)
- Совместимость со всеми установками
- Высокая Γ и гармоника
- Измерение Load Pull и параметров шума

Уменьшение размеров тюнера (длина в метрах)



Дифференциальный тюнер

FOCUS Microwaves разработал решение для измерения Load Pull в фазе и вне фазы сигналов дифференциальных устройств, путем добавления сигналов равной амплитуды и при 180° фазового отношения.

Основанный на проверенной технологии одноконечных устройств FOCUS, Дифференциальный Микроволновый Тюнер (DMT) позволяет синтезировать импеданс на входе и выходе DUT.

DMT тюнеры предлагаются как одиночные устройства, благодаря наличию библиотеки ActiveX. Также их можно использовать как стандартный конечный тюнер.

Тюнер DMT 8-50 GHz





Семейство тюнеров “Focus Microwaves”

“Focus Microwaves” стала лидером в разработке и производстве электронно-механических тюнеров для сверхширокополосных (СШП) измерений с высоким уровнем отражения - коэффициента шума, мощности и гармонических измерений с изменением сопротивления нагрузки.

1. Низкочастотные – LFT (Low Frequency Tuner)- 10-150 МГц
2. Широкополосные (также называются фундаментальными) – CCMT (Computer Controlled Microwave Tuner)- 0,1-67 ГГц
3. С высоким коэффициентом отражения – PMT (Pre-matched Microwave tuner), MPT-Lite (Multi-Purpose Tuner) -2 зонда), 0,4-65 ГГц
4. Широкополосные гармонические (мультичастотные) 0,4-65 ГГц .
 - A- 2 частоты (MPT -LITE, 2 зонда).
 - B- 3 частоты (MPT -Classic, 3 зонда).
 - C- 4 частоты (MPT -Quattro, 4 зонда)

CCMT серии – тюнеры, управляемые с компьютера



iCCMT-1804-3C (0.4-18GHz)



iCCMT-2607-TC (0.7-26.5GHz)



iCCMT-5020-TC (2-50GHz)



iCCMT-1003-3C (0.3-10GHz)



Таблица частот ССМТ тюнеров

тюнеры	Диапазон частот
iCCMT-101	0.1 - 1.1 ГГц
iCCMT-702-TC	0.2 - 6.5 ГГц
iCCMT-302	0.2 - 3 ГГц
iCCMT-304	0.4 - 3 ГГц
iCCMT-704	0.4 - 6.5 ГГц
iCCMT-704-TC	0.4 - 6.5 ГГц
iCCMT-1804-3C	0.4 - 18 ГГц
iCCMT-606	0.6 - 6 ГГц
iCCMT-1806-TC	0.6 - 18 ГГц
iCCMT-706-TC	0.6 - 6.5 ГГц
iCCMT-1808-TC	0.8 - 18 ГГц
iCCMT-2610-TC	1 - 26.5 ГГц
iCCMT-716	1.6 - 6.5 ГГц
iCCMT-1816-TC	1.6 - 18 ГГц
iCCMT-1818	1.8 - 18 ГГц
iCCMT-2620-TC	2 - 26.5 ГГц
iCCMT-3020-TC	2 - 30 ГГц
iCCMT-3520-TC	2 - 35 ГГц
iCCMT-4020-TC	2 - 40 ГГц
iCCMT-5020-TC	2 - 50 ГГц
iCCMT-4030-TC	3 - 40 ГГц
iCCMT-5030-TC	3 - 50 ГГц
iCCMT-2640	4 - 26.5 ГГц
iCCMT-3540	4 - 35 ГГц
iCCMT-3560	6 - 35 ГГц
iCCMT-4060	6 - 40 ГГц
iCCMT-5060-TC	6 - 50 ГГц
iCCMT-4060-TC	6 - 40 ГГц
iCCMT-3580	8 - 35 ГГц
iCCMT-4080	8 - 40 ГГц
iCCMT-5080	8 - 50 ГГц
iCCMT-6580	8 - 65 ГГц
iCCMT-18100-IBL	10 - 18 ГГц
iCCMT-35100	10 - 35 ГГц
iCCMT-40100	10 - 40 ГГц
iCCMT-50100	10 - 50 ГГц

тюнеры	Диапазон частот
iCCMT-67100	10 - 67 ГГц
iCCMT-50150	15 - 50 ГГц
iCCMT-40200	20 - 40 ГГц
iCCMT-50200	20 - 50 ГГц
iCCMT-40260	26.5 - 40 ГГц
iCCMT-50330	(Q band) 33 - 50 ГГц
iCCMT-75500	(V band) 50 - 75 ГГц
iCCMT-90600	(E band) 60 - 90 ГГц
iCCMT-110750	(W band) 75 - 110 ГГц
Тюнер с большим Гамма	
iCCMT-304-TC-HR	0.4 - 3 ГГц
iCCMT-404-TC-HR	0.4 - 4 ГГц
iCCMT-606-TC-HR	0.6 - 6 ГГц
iCCMT-808-TC-HR	0.8 - 8 ГГц



МРТ серии – трёхчастотные гармонические тюнеры



iMPT-804-TC (0.4-8 GHz)



iMPT-1808-TC (0.8-18GHz)



iMPT-3620-TC (2-36 GHz)



iMPT-6080 (8-60GHz)

Таблица частот МРТ тюнеров

тюнеры	Диапазон частот
iMPT-704-TC	0.4 - 7 ГГц
iMPT-804-TC	0.4 - 8 ГГц
iMPT-1206	0.6-12ГГц
iMPT-1007	0.7 - 10 ГГц
iMPT-808-TC	0.8 - 8 ГГц
iMPT-1208-TC	0.8 - 12 ГГц
iMPT-1808-TC	0.8 - 18 ГГц
iMPT-618	1.8 - 6 ГГц
iMPT-1818-TC	1.8 - 18 ГГц
iMPT-1820-TC	2 - 18 ГГц
iMPT-1020-TC	2 - 10 ГГц
iMPT-1220-TC	2 - 12 ГГц
iMPT-3020-TC	2 - 30 ГГц

тюнеры	Диапазон частот
iMPT-3620-TC	2 - 36 ГГц
iMPT-924	2.4 - 9 ГГц
iMPT-1224	2.4 - 12 ГГц
iMPT-1826-TC	2.6 - 18 ГГц
iMPT-1840	4 - 18 ГГц
iMPT-2640	4 - 26 ГГц
iMPT-1850	5 - 18 ГГц
iMPT-4560	6 - 45 ГГц
iMPT-5080	8 - 50 ГГц
iMPT-50140	14 - 50 ГГц
iMPT-6080	8 - 60 ГГц



MPT LITE серии – двухчастотные гармонические тюнеры



iMPT-lite-606 (0.6-6GHz)



iMPT-lite-1804-3C (0.4-18 GHz)



iMPT-lite-1808-TC (0.8-18GHz)



iMPT-lite-3620-TC (2-36GHz)

Таблица частот iMPT тюнеров

тюнеры	Диапазон частот
iMPT-Lite-1804-TC	0.4 - 18 ГГц
iMPT-Lite-1505	0.5 - 15 ГГц
iMPT-Lite-606	0.6 - 6 ГГц
iMPT-Lite-608	0.8 - 6 ГГц
iMPT-Lite-808-TC	0.8 - 8 ГГц
iMPT-Lite-1208	0.8 - 12 ГГц
iMPT-Lite-1808-TC	0.8 - 18 ГГц
iMPT-Lite-1218	1.8 - 12 ГГц
iMPT-Lite-3620-TC	2 - 36 ГГц
iMPT-Lite-3640	4 - 36 ГГц
iMPT-Lite-2970	7 - 29 ГГц



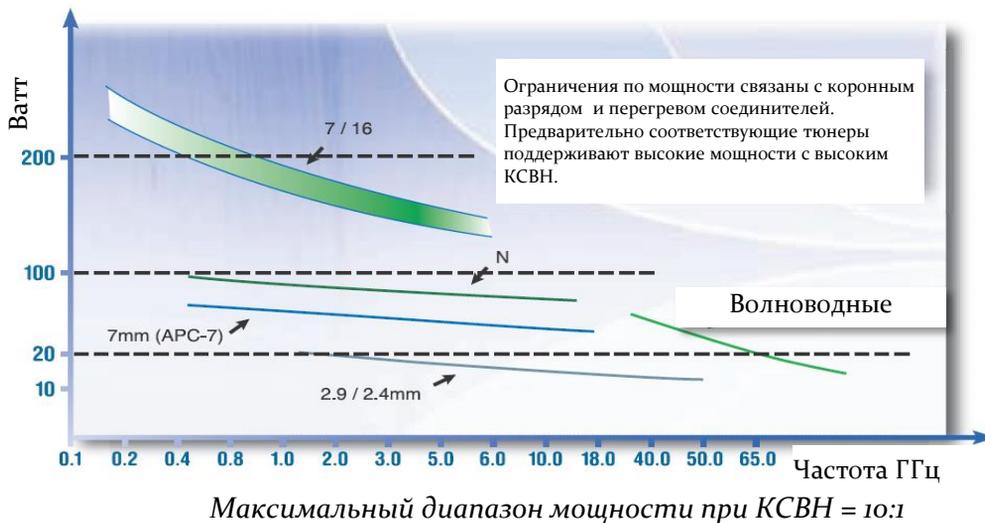
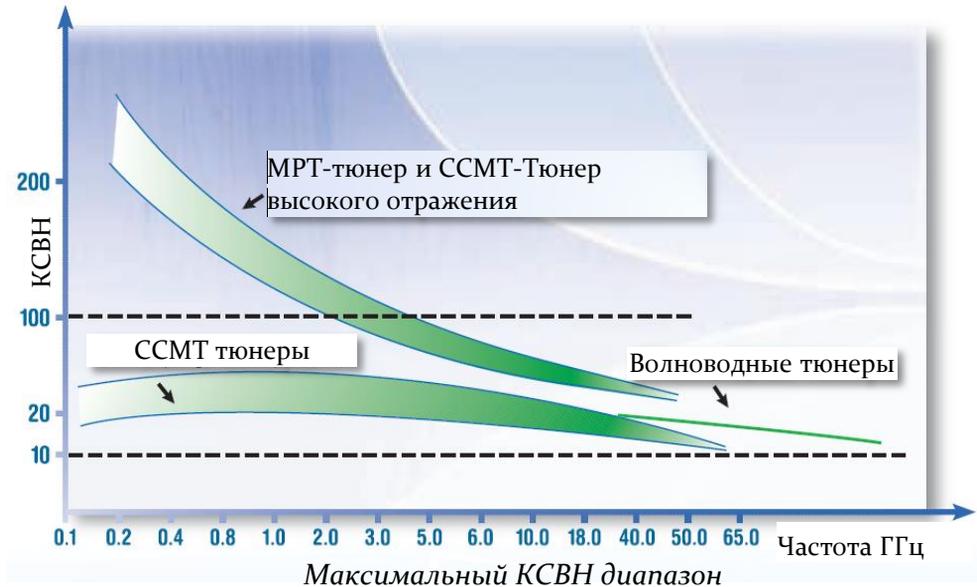
LFT - низкочастотные тюнеры



iLFT-004002 (20-40MHz)

тюнеры	Диапазон частот
iLFT-004002	20 – 40 МГц
iLFT-01004	40 – 100 МГц
iLFT-028009	90 – 280 МГц

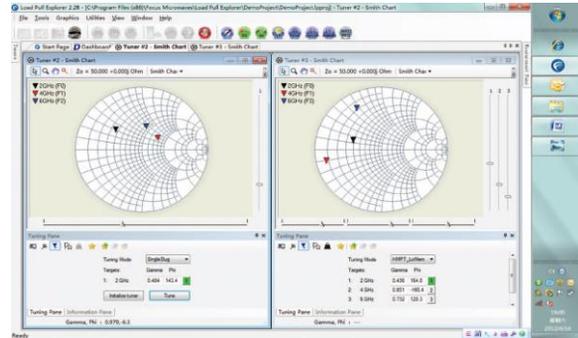
Руководство по выбору





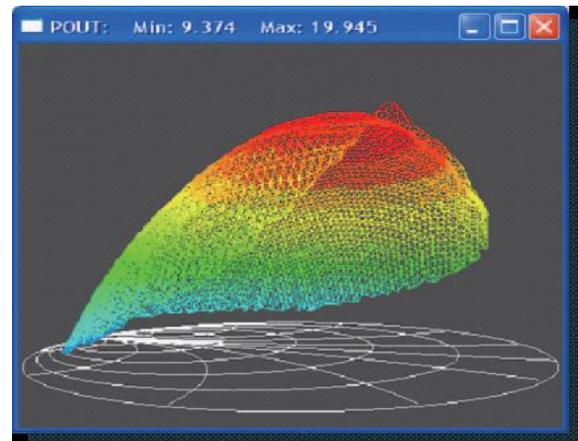
Focus Программное обеспечение FDACS

Комплексное решение FDACS включает в себя всё необходимое инженеру-испытателю для того, чтобы в полной мере охарактеризовать транзисторы от 10 МГц до 100 ГГц по мощности и шуму. Помимо традиционных параметров шума и гармонического согласования нагрузки, FDACS также поддерживает калибровку тюнера и TRL оснастки, приобретение временной области линии нагрузки, импульсную ВАХ и операцию инжекции обратной мощности (Active feedback Power Injection operations для $\Gamma \geq 1$). Полученные данные обрабатываются графически в 2D и 3D, и преобразуются в популярные форматы симулятора (ADS, AWR и т.д.)

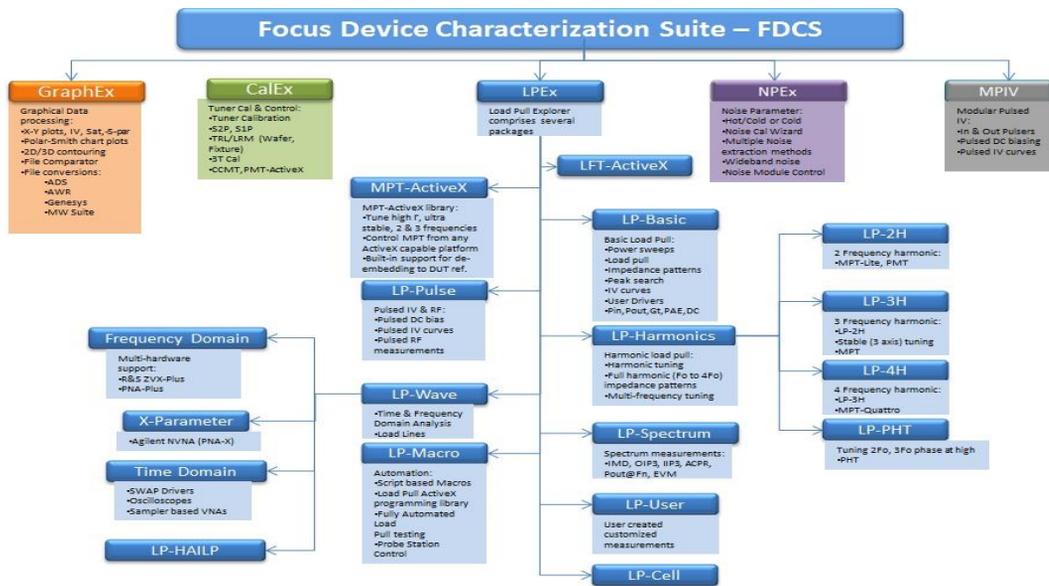


Главное окно программного обеспечения Load Pull Explorer.

программное обеспечение	Описание
CalEx	Tuner Control (iTuner & USB), Tuner Cal, S2P, S1P, TRL, 3T
LP-Basic	Peak Search, L/P, L/P Patterns, IV-Curves, Power Sweep, Gain, Pin, Pout, PAE, DC meas, User Calc, User Driver (standard instrument types), Graph
LP-Spectrum	Pout@Fn, IMD, OIP3, ACPR, EVM
LP-User	User Meas. Parameters, Cross patterns (advanced pattern options)
LP-Pulse	PIV, PRF, IV-Curves (Pulse)
LP-Macro	All Macro, LPActiveX
LP-2H	High VSWR, MPT-Lite (Second harmonic tuning)
LP-3H	Third harmonic tuning, Stable tuning
LP-4H	Fourth harmonic tuning
LP-Wave	Time Domain analysis, dynamic load line based characterization, X parameter extraction
MPT-ActiveX	Active X Library for MPT tuners
LFT-ActiveX	Active X Library for LFT tuners
NPEX	Hot-Cold and Cold-in Noise measurements
LP-Cell	Cell Phone Testing Operation



Контуры в трёхмерном виде



Структура FDACS



Оснастка для тестов

С 1995 года Focus производит оснастку для тестирования транзисторов: для согласования нагрузки и для измерений коэффициента шума до 26 Гц :

- Микро-полосковая оснастка для тестов (серийная модель PTJ-X-Y)
- Коаксиальная оснастка с ультра-низкими - потерями *(серийная модель MLTF-x-y (x: диапазон частот / максимальная частота; y: тип соединителя)

Существуют PTJ-оснастки на 50Ω или с $\lambda/4$, или с широкополосным Klopfenstein трансформатором или с интегрированными цепями инъекции постоянного тока. Для того, чтобы быть пригодными для согласования нагрузки и свести к минимуму вносимые потери (insertion loss) оснастки должны позволять прямой доступ к портам тюнера.

PTJ серии

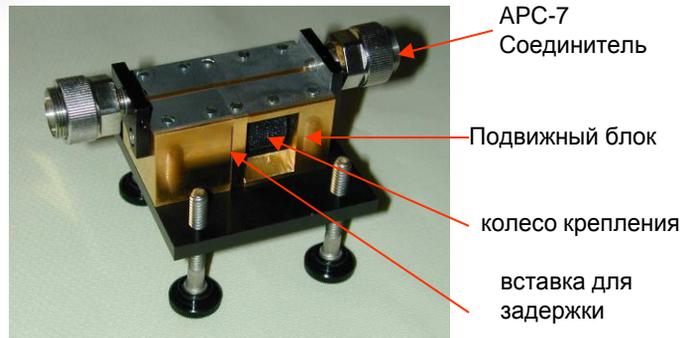
Модель	Диапазон частот	Тип интерфейса
PTJ-S	DC-4GHz	SMA, N, 3.5, 7, 7/16
PTJ-C	DC-6GHz	SMA, N, 3.5, 7, 7/16
PTJ-X	DC-12GHz	SMA, N, 3.5, 7
PTJ-Ku	DC-18GHz	SMA, N, 3.5, 7

MLTF серии

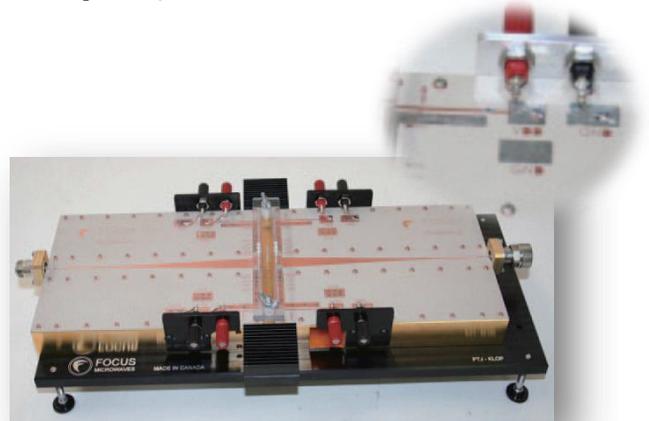
Модель	Диапазон частот	Тип интерфейса
MLTF-C	DC-6GHz	N, 7, 7/16
MLTF-X	DC-12GHz	N, 7
MLTF-Ku	DC-18GHz	N, 7



MLTF (*Minimum Loss Test Fixture*) использует структуру горизонтальной полосковой линии. Запатентованная конструкция позволяет минимизировать возможные вносимые потери (insertion loss) в отличие от любых других существующих оснасток для тестов.



Стандартная 500м оснастка



(*Pre-matched Fixture*, 0.4-4ГГц)
 Широкополосная предварительно подобранная оснастка приспособлена для тестирования транзисторов высокой мощности. Она использует широкополосный (Klopfenstein тип) 10Ω конический трансформатор предварительно подобранный и тепловые трубки для вентиляции и охлаждения. Водяное охлаждение также возможно, используя герметичный блок водяного охлаждения, WCU.



Focus Калибровочный комплект (CalKit)

Focus microwaves поставяет TRL CalKit (Калибровочные комплекты) предназначенные для тюнеров. Обычно производители ВАЦ используют SOLT технологии в своих калибровочных комплектах. SOLT технология хороша при 50 Ом. Однако для системы согласования нагрузки и измерения шума нужны настройки на всей диаграмме Смита. Очевидно, SOLT внесет много ошибок, когда рабочая точка находится далеко от 50 Ом

Focus TRL Cal Kit модели

модель калибровки	Тип конектора	Тип интерфейса
TRL		
GPC-7/16-TRL-CV	7/16	TRL Calibration Kit, до 6.5 ГГц
GPC-N-TRL-CV	N Type	TRL Calibration Kit, до 18 ГГц
GPC-7-TRL-CV	APC7	TRL Calibration Kit, до 18 ГГц
GPC-3.5-TRL-CV	3.5 mm	TRL Calibration Kit, с 0.3 по 35 ГГц
GPC-2.9-TRL-CV	2.92 mm	TRL Calibration Kit, с 0.3 по 40 ГГц
GPC-2.4-TRL-CV	2.4 mm	TRL Calibration Kit, с 0.5 по 50 ГГц
GPC-V-TRL-CV	1.85 mm	TRL Calibration Kit, до 65 ГГц
WR22-TRL-CV	WR22	TRL Calibration Kit, с 33 по 50 ГГц
WR15-TRL-CV	WR15	TRL Calibration Kit, с 50 по 75 ГГц
WR10-TRL-CV	WR10	TRL Calibration Kit, с 75 по 110 ГГц



2.4mm (50 GHz)



Precision N (12 or 18GHz)



7/16 (7 GHz)

Обучение и технические услуги

Системы согласования нагрузки и измерения шума не являются самостоятельным оборудованием, а скорее полным набором сложной системы тестов. Она включает в себя: тюнер, программное обеспечение (FDSCS), ВАЦ, генератор сигналов, приемники и источники питания и т.д. Для измерений высокой мощности необходимы: усилители, направленный ответвитель, аттенюаторы и изоляторы и т.д.

...

Для системы на пластине (on-wafer system) необходима зондовая установка (probe station). Поэтому услуги профессиональной и технической поддержки необходимы, чтобы помочь клиентам использовать систему эффективным способом для проектирования продукта и процесса тестирования.

Focus профессиональное обучение и курсы

- LP 101 Вводный курс согласования нагрузки I - 1 день.
- LP 102 Промежуточный курс согласования нагрузки I: применения мощности - 2 дня.
- LP 103 Промежуточный курс согласования нагрузки II: применения шума - 2 дня.
- LP 104 Передовой курс согласования нагрузки I - 2 дня.
- LP 130 Вводный курс проектирования оснастки для тестов для беспроводных усилителей мощности - 2 дня.
- LP 131 Передовой курс проектирования оснастки для тестов для беспроводных усилителей мощности - 2 дня.
- LP 210 Проектирование усилителя мощности мобильного телефона с согласованием нагрузки - 4 дня.
- LP 211 Проектирование усилителя мощности для базовой станции с согласованием нагрузки - 4 дня.
- LP 310 Проектирование усилителей мощности Switch-Mode, E-класса и F-класса с согласованием нагрузки - 4 дня.
- LP 311 Проектирование усилителей мощности EET, Догерти и Polar с согласованием нагрузки - 4 дня.

FOCUS

MiCROWAVES



Mr. Matthias Beer, MBA

**General Manager Europe
Munich, Germany**

+49 89 809 19 845

+49 173 2985 783

**europe@focus-microwaves.com
info@focus-microwaves.com**

Winning Through Innovation