

Наилучший выбор: USB-датчики мощности компании Rohde&Schwarz

Всего за несколько лет оснащенные USB-интерфейсом датчики мощности почти полностью заменили традиционно используемое сочетание аналогового датчика мощности и аналого-цифрового базового блока в контрольно-измерительных приложениях для ВЧ и СВЧ. Движущей силой этой тенденции являются низкая стоимость и универсальность применения благодаря широкой распространенности USB-интерфейса. Однако большая часть пользователей даже и не подозревают, что концепция измерителя мощности, которая подразумевает возможность полноценной интеграции в датчик мощности, является наиважнейшим фактором, стимулирующим совершенствование технологий измерений мощности в диапазоне ВЧ как в функциональном, так и в количественном отношении.

Почему именно датчики?

Измерители мощности занимают исключительное положение среди контрольно-измерительного оборудования в области ВЧ-разработки. Это единственный тип устройств, которые непосредственно подключаются к испытываемому устройству (ИУ), т.е. не требуют применения ВЧ-кабеля, что вызвано необходимостью измерения мощности ИУ на идеально согласованной нагрузке. Даже надежное подключение ВЧ-кабеля к измерителю мощности приводит к некоторому рассогласованию и отрицательно влияет на результаты измерения.

Поскольку в большинстве случаев подключение функционально полного измерительного устройства весом несколько килограммов непосредственно к ВЧ-разъему ИУ не является возможным, ВЧ-преобразователь был изначально вынесен за пределы прибора и размещен в компактном датчике мощности. Датчик подключался непосредственно, что позволяло передавать в базовый блок лишь сравнительно нечувствительный низкочастотный выходной сигнал преобразователя.



Рисунок 1 –
Ассортимент
датчиков мощности
семейства изделий
R&S®NRP.

Хотя эта концепция существует на рынке уже много лет, в конечном счете, она оказалась неспособной удовлетворить новым требованиям, возникшим преимущественно в области беспроводной цифровой связи. Несмотря на постоянные усовершенствования в области электроники, себестоимость продукции и цена реализации больше не могли снижаться. Функциональность оборудования, скорость и даже точность измерения ограничивались концепцией распределения компонентов устройства. Единственным способом преодоления этих преград стала интеграция функциональных компонентов базового блока в датчик мощности.



Рисунок 2 – Сравнение размеров интерфейсов для датчиков мощности (в масштабе): интерфейс анализатора пиковой мощности (слева), стандартизированный интерфейс для R&S[®]NRP (по центру) и интерфейс Micro USB.

Компания Rohde&Schwarz: первопроходец в области интеграции

В середине 1990-х годов прогресс в области миниатюризации и увеличения производительности электронных компонентов достиг уровня, на котором такая интеграция стала технически реализуемой. Компания Rohde&Schwarz первой применила этот подход при разработке направленных датчиков мощности R&S[®]NRT-Z, управляемых по интерфейсу RS-422. Эти датчики поддерживали работу с выделенным цифровым базовым блоком R&S[®]NRT, а также с ПК, через интерфейс RS-232 или интерфейс PC Card. Примененная концепция установила новые стандарты и повсеместно копировалась компаниями-конкурентами.

Встроенные измерители мощности получили широкое признание в начале 2000-х годов вместе с коммерческим выходом датчиков мощности серии R&S[®]NRP-Z, оснащенных USB-интерфейсом (Рис. 1). В связи с тем, что аксессуары для широкого ассортимента устройств и приборов сделали возможным преобразование планшетных ПК и мобильных телефонов в измерители мощности*, эти датчики извлекли огромную выгоду из популярности USB-интерфейсов. Однако широкое распространение USB-интерфейсов – это лишь самая очевидная из причин подобного успеха.

Компактность, малый вес и экономичность

В классических измерителях мощности около двух третей суммарной стоимости связано с базовым блоком. Интеграция функционала измерительных компонентов базового блока в датчик позволяет снизить стоимость в два раза по сравнению с классическими системами (при условии, что компьютер или измерительное устройство обладают возможностью обработки результатов измерений).

Сумма сэкономленных средств будет еще выше при сравнении встроенных широкополосных датчиков мощности с идентичными по функционалу анализаторами пиковой мощности. Долгое время эти приборы выгодно выделялись среди других измерителей мощности благодаря поддержке возможности анализа импульсных и модулированных сигналов с последующим отображением во временной области. Это

значительно усложнило их конструкцию по сравнению с обычными измерителями мощности, вследствие чего стоимость анализаторов пиковой мощности и по сей день достаточно высока. Примером этого является дорогостоящий интерфейс датчика (Рис. 2), который, однако, не устраняет влияния длины присоединяемого кабеля на результаты измерений.

Встроенные широкополосные датчики, такие как датчики серии R&S[®]NRP-Z8x, допускают производство по сниженной стоимости без ухудшения эксплуатационных характеристик: ширина полосы видеосигнала 30 МГц, время нарастания 13 нс, частота дискретизации в реальном масштабе времени 80 млн. отсчетов/с, внутренний и внешний запуск, автоматическое определение параметров импульса. Длина присоединяемого кабеля не оказывает никакого влияния на результаты измерения. Среди других преимуществ широкополосных датчиков мощности компании Rohde&Schwarz стоит упомянуть непревзойденный динамический диапазон и быстродействующую функцию статистической обработки.

Помимо экономической эффективности преимуществами также являются сниженный вес и компактность. Использование встроенного измерителя мощности позволяет добиться снижения затрат более чем на 90%.

Продуктивные и высокоточные измерения без использования базового блока

Использование стандартизированного одноканального интерфейса в обычных датчиках мощности имеет как сильные, так и слабые стороны. С одной стороны, этот интерфейс позволяет подключать различные датчики к базовому блоку. С другой стороны, он значительно ограничивает возможности обработки сигналов. Особенно ярко это проявляется для многоканальных датчиков, применение которых в наши дни имеет ключевое значение. В связи с тем, что единственный способ их использования подразумевает последовательную передачу сигналов детектора в классический базовый блок, их потенциал еще только начинает раскрываться. В процессе коммутации измерительного тракта возникают задержки переключения и эффект гистерезиса. Кроме того, стандартизированный измерительный канал подвергается существенному влиянию помех. Это неприемлемо ни для стробируемых измерений, ни для измерений мощности огибающей.

В противоположность этому, многоканальные датчики с функцией встроенной обработки сигналов используют концепцию, которая идеально соответствует характеристикам применяемого детектора. Концепция подразумевает параллельную обработку сигналов до трех измерительных трактов с предоставлением достоверных результатов измерения в любой момент времени. Это позволяет покончить с необходимостью проведения повторных измерений из-за недогрузки или перегрузки

* Бесплатное приложение Power Viewer Mobile для устройств на базе ОС Android доступно в интернет-магазине Google Play. Здесь может быть загружено приложение-обработчик "Using R&S[®]NRP-Z Power Sensors with Power Viewer Mobile for Android Handheld Devices" (Использование датчиков мощности R&S[®]NRP-Z с приложением Power Viewer Mobile для устройств под управлением ОС Android) (ключевое слово: 1MA215).

выбранного измерительного тракта. Более того, измерительный канал может быть сконфигурирован для проведения стробированных измерений мощности, например, сигналов со структурой TDMA (множественный доступ с временным разделением каналов).

Можно предположить, что классическая концепция, по крайней мере, обеспечивает более высокий уровень точности. Однако при использовании других высокоточных термоэлектрических датчиков мощности становится ясно, что встроенные решения позволяют достичь более высокой производительности системы. Дело в том, что аналоговые базовые блоки обладают собственными неустранимыми погрешностями, которые отсутствуют в устройствах, реализованных по принципу интеграции (Рис. 3).

Устранение базового блока влечет за собой и другие преимущества. Если результаты измерений будут зависеть только от датчика мощности, то измерения относительного уровня мощности смогут выполняться с низким уровнем погрешности и более высоким коэффициентом воспроизводимости, позволяя производителям датчиков компенсировать смещение нуля для каждой конкретной модели датчика. Это приводит к значительному уменьшению погрешности измерения относительного уровня мощности: вместо погрешности типа В, составляющей, по меньшей мере, 1 % для сочетания датчика и базового блока в классическом измерителе мощности, встроенные тепловые датчики мощности серии R&S[®]NRP-Z5x позволяют добиться значения не выше 0,23 % во всем диапазоне измерения мощности.

Источник опорного сигнала 50 МГц больше не актуален

Источник опорного сигнала, известный по работе с классическими измерителями мощности, использовался не всегда. Он был введен в эксплуатацию в процессе перехода от термисторных датчиков мощности (в настоящее время считаются устаревшими) к термоэлектрическим датчикам. Тогда как термисторные датчики мощности демонстрируют присущую им долговременную стабильность благодаря применяемому методу замещения по постоянному току, для

термоэлектрических и диодных детекторов дело обстоит иначе. В результате, компании-конкуренты и по сей день не калибруют датчики этого типа в абсолютных величинах, применяя вместо этого относительную калибровку с помощью источника опорного сигнала частотой 50 МГц. Абсолютное значение обеспечивается установленным в базовом блоке источником опорного сигнала 50 МГц.

Несмотря на то, что компания Rohde&Schwarz с самого начала придерживалась иного подхода, используя абсолютную калибровку датчиков мощности семейств R&S[®]NRV и R&S[®]NRP, источник опорного сигнала 50 МГц и в этом случае являлся важнейшим компонентом, применяемым для поверки датчиков мощности, которые, несмотря на гарантированную долговременную стабильность, подвергались влиянию искажающих характеристики воздействий.

В настоящее время внешний источник опорного сигнала больше не актуален. С одной стороны, его использование требует отключения датчика мощности от ИУ и подсоединения этого датчика к источнику – трудоемкая и изнурительная, а в ряде случаев и вообще бесполезная работа. С другой стороны, собственная погрешность измерения источника ставит под сомнение целесообразность его использования. Варьируясь в диапазоне от 0,4 % до 1,2 %, эта погрешность существенно превышает наблюдаемый уровень дрейфа параметров, тем самым подразумевая, что источник может использоваться лишь для обнаружения значительных отклонений.

USB-датчики мощности в очередной раз совершили определяющий рывок в направлении изменения существующей концепции. Поскольку источник опорного сигнала 50 МГц для этих датчиков, как правило, локально недоступен, единственным вариантом является выполнение поверки параметров существующих датчиков. Этот подход был впервые применен с высоким уровнем точности в тепловых датчиках мощности R&S[®]NRP-Z5x. Эти датчики содержат эталонную цепь на базе высокостабильного источника постоянного напряжения. Формируемый эталонной цепью сигнал накладывается на сигнал ИУ,

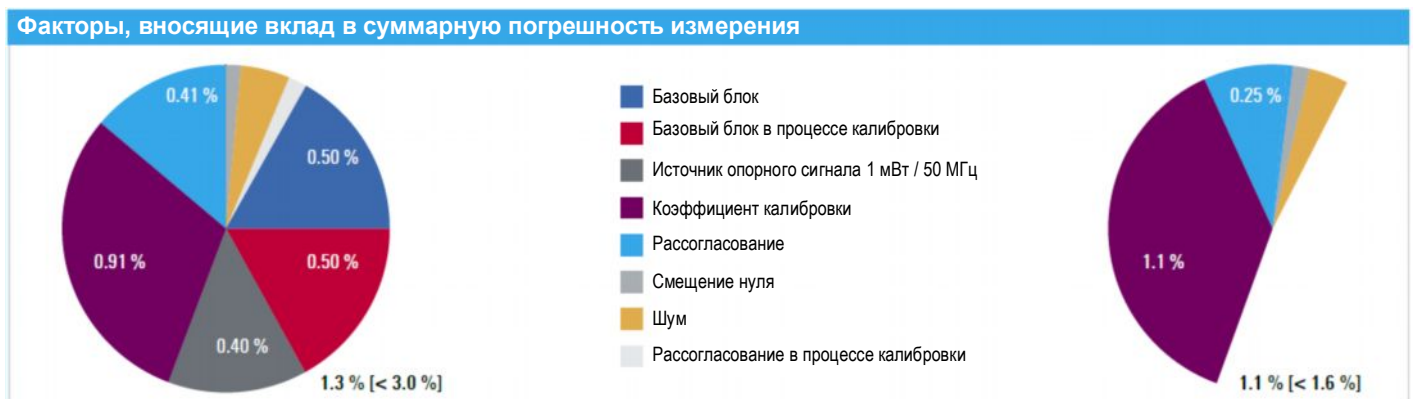


Рисунок 3 – Факторы, вносящие вклад в суммарную погрешность измерения при измерении абсолютного уровня мощности с использованием термоэлектрического датчика мощности в стандартных областях применения: частота сигнала 2 ГГц, уровень мощности –3 дБмВт, источник SWR 1.10. Слева: классическое устройство современной конструкции для измерения мощности; справа: R&S[®]NRP-Z 51 (модель .03). Числовые значения представляют собой расширенные неопределенности (погрешности) измерения (k = 2), рассчитанные в соответствии с ISO / IEC Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (Руководство по представлению погрешностей измерения) (GUM). Полуужирным шрифтом: суммарная расширенная неопределенность после добавления квадратов частных погрешностей. В скобках: итоговое значение частных погрешностей после линейного суммирования.

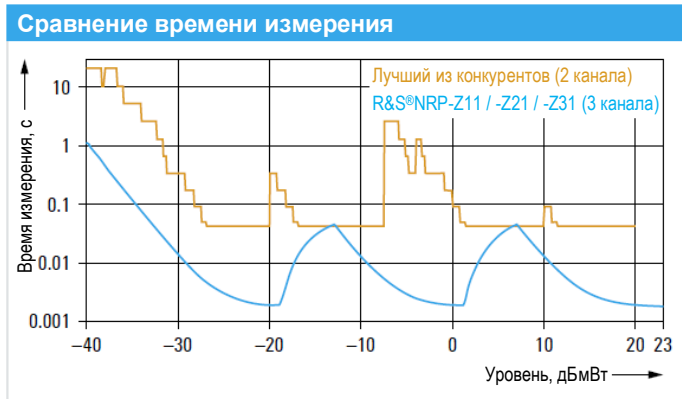
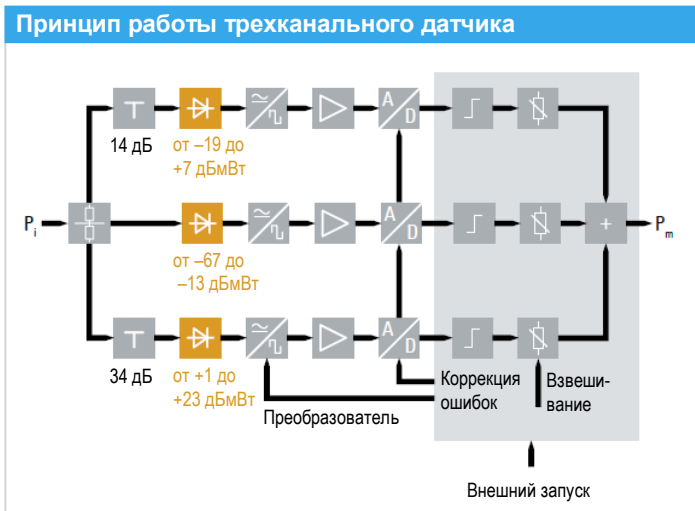


Рисунок 5 – Минимально возможное время измерения при измерении времени установления с использованием многоканального датчика; результаты содержат две σ шумовой составляющей, уровень которой не превышает 0,01 дБ.

Рисунок 4 – Архитектура трехканальных датчиков серии R&S®NRP.

позволяя всего за несколько секунд выполнить полную проверку датчика – от термоэлектрического преобразователя до АЦП – исключая необходимость отсоединения датчика мощности. Коэффициент воспроизводимости порядка 10^{-4} позволяет добиться уровня достоверности, ранее достижимого только при использовании термисторных измерителей мощности. Можно предположить, что этот принцип будет перенесен и на другие типы датчиков.

Не все датчики одинаковы

Немногие изделия ухитрились развить потенциал концепции встроенных датчиков до уровня, сравнимого с датчиками мощности серии R&S®NRP. Ряд недавно выведенных на рынок изделий позиционируются исключительно как бюджетные альтернативы классическим измерителям мощности и потому не могут обеспечить столь же высокую точность и скорость измерений. Использование детекторов ведет к риску непреднамеренного совершения пользователями серьезных ошибок измерения.

CW-датчики и датчики с логарифмическими детекторами (в этом контексте) по определению пригодны лишь для работы с чистыми синусоидальными сигналами, испытывая неудачу при работе с наложенными сигналами помехи (шум, гармоники) и модулированными сигналами. И хотя в недавнем прошлом использование CW-датчиков все еще имело смысл благодаря малому времени измерения и высокому отношению сигнал-шум, в настоящее время они считаются полностью устаревшими. Наилучшим выбором в таких областях применения являются встроенные многоканальные датчики. Они работают с более высокой скоростью и не ограничены ни одним из вышеназванных факторов.

Само собой, встроенные многоканальные датчики также могут значительно различаться по уровню качества, особенно по скорости измерения. Для достижения наивысшей производительности в датчиках должны гармонично сочетаться три

фактора. Первым является совокупность диодов детектора, т.е. последовательно подключенные встроенные массивы диодов. Они улучшают ВЧ-характеристики датчика и расширяют динамический диапазон для каждого измерительного канала. Вторым фактором является запатентованный компанией Rohde&Schwarz алгоритм взвешивания, который исключает жесткое переключение каналов, обеспечивая плавность сопряжения (Рис. 4). Алгоритм подразумевает использование данных соседнего измерительного канала для вычисления конечного результата в широком перекрывающемся диапазоне 6 дБ (отношение мощностей 4:1). Оба этих фактора позволяют в 100 раз уменьшить среднее время нахождения в переходной области.

Третьим фактором является наличие третьего измерительного канала – особенности, до настоящего времени реализованной лишь компанией Rohde&Schwarz. Использование многоканальных датчиков компании Rohde&Schwarz позволяет в 20 раз уменьшить время измерения по сравнению с лучшим конкурирующим решением (Рис. 5), одновременно расширяя динамический диапазон на 10 дБ.

Перспективы

Приведенные выше доводы могут с легкостью создать впечатление того, что потенциал дальнейшего усовершенствования USB-датчиков мощности полностью исчерпан. На самом же деле это лишь начало пути, поскольку такие датчики не имеют ограничений, присущих классическим датчикам. Постоянная миниатюризация компонентов, в конечном счете, приведет к возникновению еще более эффективных концепций, таких как создание общей системы синхронизации для многоканальных измерений с распределенными датчиками.

Томас Рейчел (Thomas Reichel)