

МЕТОДЫ ТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

UNDERSTANDING YOUR OPTIONS FOR MAKING PRECISE, IN-FIELD POWER MEASUREMENTS

Том Хоппин (Tom Hoppin), Agilent Technologies

Измерения мощности (например, средней или пиковой) играют очень важную роль, когда речь идёт об определении характеристик коммуникационных или радиолокационных систем, или их проверке на соответствие стандартам. Поэтому такие измерения приходится выполнять очень часто и в самых разных местах. Для этой задачи необходим прецизионный прибор с высокими характеристиками, способный выполнять воспроизводимые измерения независимо от климата и условий эксплуатации. Не менее важно и то, чтобы калибровка используемого прибора была соотнесена с известным эталоном. Другими словами, результаты измерений должны представлять собой точные значения абсолютной мощности.

За многие годы для измерения средней и пиковой мощности в полевых условиях было предложено множество измерительных приборов и методов измерения. И хотя эти методы и приборы имеют широкое практическое применение, решения, обеспечивающие наивысшую точность, обладают малым динамическим диапазоном и требуют продолжительных интервалов измерения и длительного прогрева оборудования. Альтернативное решение, которое заключается в применении настроенного приёмника, позволяет расширить динамический диапазон за счет незначительного снижения точности. Решение, которое выберет инженер, зависит от того, какие преимущества он рассчитывает получить и на какие компромиссы он готов пойти.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

Выходная мощность системы является наиболее важным параметром практически любого ВЧ и СВЧ оборудования. Передаваемая и принимаемая мощность определяет общие характеристики любой коммуникационной или радиолокационной системы. Измерение уровня сигнала крайне важно, поэтому выполняется на каждом этапе жизненного цикла системы, начиная с разработки и изготовления прототипов отдельных узлов, и заканчивая изготовлением, установкой, квалификационными испытаниями и, наконец, регламентным обслуживанием и диагностикой по месту эксплуатации.

Измерения мощности могут выполняться множеством разных приборов — измерителями мощности, анализаторами сигналов и анализаторами цепей. В полевых условиях часто применяются датчики мощности и анализаторы спектра. Датчики мощности могут подключаться



Agilent Technologies

к традиционным измерителям мощности, ноутбукам или анализаторам спектра. Например, датчик мощности с USB-портом можно подключить к автономному измерителю мощности или к ноутбуку (с соответствующим измерительным программным обеспечением). Измерители мощности поддерживают до четырёх датчиков, тогда как ноутбуки — до 20 датчиков. Кроме того, датчик мощности с USB-портом можно подключить напрямую к анализатору спектра. Поскольку анализатор спектра отображает измеренную мощность, вы можете не брать с собой на объект ноутбук или измеритель мощности, что особенно удобно в тех случаях, когда для установки, обслуживания или диагностики системы необходимо выполнять измерения спектра.

И, наконец, анализатор спектра со встроенным измерителем мощности канала (CPM) может использоваться для непосредственного измерения мощности сигнала без внешнего датчика мощности. В этом случае настроенный приёмник анализатора измеряет среднюю мощность, а для подключения анализатора к контрольной точке используется короткий переходной кабель.

ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Разные методы измерения простых и сложных сигналов в полевых условиях обычно отличаются точностью, диапазоном частот и динамическим диапазоном измерений, а также портативностью, надёжностью и временем прогрева используемых приборов. Чтобы лучше понять компромиссы, связанные с применением датчика мощности или анализатора спектра с CPM, нужно сначала более подробно рассмотреть каждый из этих вариантов.

Типовая схема из датчика и измерителя мощности представляет собой систему из элемента (детектора), подключенного к аналоговой или цифровой схеме обработки сигналов. Если используется датчик мощности с автономным измерителем мощности, то схема обработки сигналов расположена в измерителе мощности. Если используется датчик мощности с USB-интерфейсом, то функция обработки сигнала выполняется в самом датчике, а ноутбук или анализатор спектра используются в качестве дисплея. Но в любом случае, чувствительный элемент (например, термопара или диод) преоб-

разует входной ВЧ/СВЧ сигнал в постоянное напряжение или в сигнал низкой частоты. Поскольку выходное напряжение датчика может иметь уровень порядка 100 нВ, оно усиливается и затем фильтруется для подавления высокочастотного шума. В некоторых конфигурациях полосу пропускания фильтра можно сужать для повышения чувствительности измерений или расширять для повышения скорости. Затем аналоговый сигнал оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя. Микропроцессор выполняет дополнительную фильтрацию и усреднение по времени оцифрованного сигнала. Кроме того, он обращается к органам управления прибором и отвечает за отображение результатов измерения.

И хотя существует множество разных датчиков, охватывающих разные диапазоны частот и уровней мощности, все они делятся на две основные категории — тепловые и диодные. Тепловые датчики (например, термисторы и термопары) преобразуют тепло, создаваемое ВЧ/СВЧ сигналом в изменение некоторой электрической характеристики датчика, определяя истинную среднюю мощность сигнала независимо от формата модуляции. Диодные датчики выпрямляют и фильтруют входной ВЧ/СВЧ сигнал с помощью диода и конденсатора. Затем выходной сигнал датчика усиливается, фильтруется и подаётся на вход измерителя мощности.

Тепловые датчики идеально подходят для измерения средней мощности немодулированных синусоидальных и модулированных сигналов с уровнем до +20 дБм, но обычно имеют ограниченный динамический диапазон. Диодные датчики обладают существенно более широким динамическим диапазоном, но им свойственна нелинейность, которую для достижения высокой точности приходится измерять и компенсировать. Если рабочая мощность превысит уровень +20 дБм, это может привести к необратимому повреждению датчика.

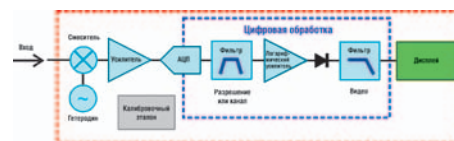


Рис. 1. Структурная схема с настроенным приёмником, используемая в большинстве современных средств радиосвязи и анализаторов спектра. Такая архитектура типична для современных супергетеродинных приёмников, в которых частота исходного ВЧ сигнала преобразуется в более низкую частоту, которую проще фильтровать и детектировать

Кроме того, эти датчики чрезвычайно чувствительны к электростатическим разрядам и механическим ударам, а для достижения номинальной точности требуют 3-минутного прогрева.

Анализатор спектра со встроенным CPM тоже предлагает достаточно простые методы измерения средней мощности. Упрощённая структурная схема анализатора спектра с настроенным приёмником показана на рис. 1. Приведённая конфигурация демонстрирует несколько существенных отличий от архитектуры датчика/измерителя мощности. Например, амплитудный детектор расположен ближе к АЦП, а входной интерфейс настроенного приёмника имеет преобразователь частоты, состоящий из смесителя и гетеродина. Кроме того, здесь имеется дополнительный полосовой фильтр, установленный перед амплитудным детектором.



Рис. 2. По сравнению с датчиком мощности, анализатор спектра Agilent FieldFox обладает более широким динамическим диапазоном и немного меньшей точностью измерений. Функция автоматической калибровки InstAlign позволяет достичь типовой погрешности измерений $\pm 0,35$ дБ в полосе до 18 ГГц и $\pm 0,5$ дБ в полосе до 26,5 ГГц в диапазоне температур от -10 до $+55$ °C без прогрева. По сравнению с обычным датчиком мощности, этот прибор значительно прочнее и идеально подходит для работы в сложных климатических условиях

Современные анализаторы спектра, такие как FieldFox, используют архитектуру настроенного приёмника для построения зависимости мощности сигнала от частоты, для чего гетеродин выполняет свипирование в заданном диапазоне частот (рис. 2). Благодаря встроенному CPM, FieldFox может очень точно измерять мощность в канале во всём диапазоне частот и не требует прогрева. С помощью такого анализатора спектра инженеры могут выполнять прецизионные измерения, точность которых близка к точности измерений, выполняемых датчиком мощности.

ОЦЕНКА ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ

Выбирая между датчиком мощности и анализатором спектра с CPM для выполнения измерений мощности в полевых условиях, нужно учитывать несколько факторов. Во-первых, датчики мощности обладают обычно наивысшей точно-

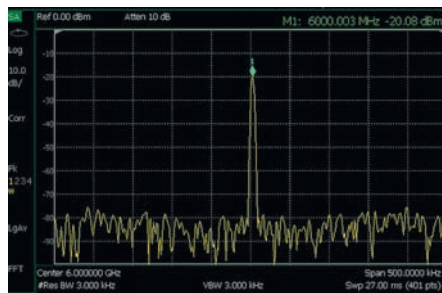


Рис. 3. Пример измерения анализатора спектра, демонстрирующий спектр немодулированного сигнала, полученный свипированием с полосой обзора 500 кГц. Для сравнения измерение выполнялось с помощью (а) анализатора спектра с маркером, (б) датчика мощности и (с) анализатора спектра FieldFox со встроенным CPM. Заметьте, что результаты всех трёх измерений отличаются менее чем на 0,1 дБ: (а) измеренная средняя мощность равна $-20,08$ дБм, (б) $-20,00$ дБм и (с) $-20,09$ дБм

стью, но требуют установки нуля и калибровки для коррекции частотной характеристики, температурного дрейфа и старения чувствительного элемента. При использовании измерителя мощности, калибровочный процесс требует периодического подключения датчика мощности к выходу опорной частоты 50 МГц.

Анализатор спектра не обладает точностью, присущей датчикам мощности, однако современные анализаторы спектра обеспечивают погрешность порядка $\pm 0,5$ дБ во всём частотном, температурном и динамическом диапазоне прибора (рис. 3). Многие ручные анализаторы не требуют прогрева и обладают большой гибкостью и удобством, позволяя обойтись в полевых условиях без нескольких датчиков мощности и, возможно, без отдельного измерителя мощности.

Кроме того, ручные анализаторы спектра значительно прочнее датчиков и измерителей мощности, что делает их более надёжными и пригодными для измерения в полевых условиях, где измерительное оборудование может подвергаться воздействию неблагоприятных усло-

вий окружающей среды (например, сильному нагреву, охлаждению или влажности). Датчики и измерители мощности обычно рассчитаны на лабораторные условия и очень чувствительны к электростатическим разрядам и неблагоприятным климатическим условиям. Кроме того, при малых входных уровнях датчики мощности требуют усреднения, что увеличивает время измерения. В отличие от этого, анализаторы спектра с настроенным приёмником обладают большей чувствительностью и, следовательно, более коротким временем измерения. Например, анализатор спектра FieldFox обладает чувствительностью -154 дБм/Гц и динамическим диапазоном более 105 дБ.

И последним отличием является избирательность по частоте. Анализатор спектра измеряет мощность в определённой полосе частот. В отличие от этого, датчик мощности не обладает частотной избирательностью. Он определяет мощность во всём частотном диапазоне, захватывая гармоники и другие попадающие в датчик сигналы. Поскольку он не позволяет настраивать полосу измерения, он может измерять сигналы с уровнем не ниже -70 дБм. В отличие от этого, анализатор спектра может измерять сигналы значительно меньшей мощности, устанавливая узкую полосу измерения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Точные измерения мощности весьма важны для обеспечения необходимых характеристик и для проверки на соответствие стандартам современных коммуникационных и радиолокационных систем. И хотя эти измерения могут выполняться множеством разных способов, каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. При работе в полевых условиях анализатор спектра с настроенным приёмником, такой как FieldFox со встроенным CPM, предлагает лучшую чувствительность, больший динамический диапазон, не требует прогрева и лишь незначительно уступает по точности датчику мощности.

Дополнительную информацию можно найти в рекомендациях по применению компании Agilent «Методы точного измерения мощности в полевых условиях» (<https://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?cc=US&lc=eng&ckey=2219032&nid=-33903.0&id=2219032>).

Precise power measurements are critical to ensuring the performance and compliance of modern communication and radar systems. While there are certainly a large number of options available for making these measurements, each comes with its own set of trade-offs. For field measurements, use of a tuned receiver like the FieldFox spectrum analyzer with built-in CPM offers users better sensitivity, a higher dynamic range, short measurement times, and no warm-up time, with only slightly reduced measurement accuracy as compared to a power sensor.