

Портативный измеритель частоты и мощности MFP-8000.



Интенсивное развитие техники СВЧ в направлении повышения рабочей частоты обуславливает актуальность разработки компактных и недорогих измерительных устройств, которые бы позволили быстро и объективно определять мощность и частоту колебаний в расширенном диапазоне СВЧ.

Для удовлетворения возникших потребностей была осуществлена разработка портативного измерителя частоты и мощности (MFP-8000), имеющего расширенный до 8 ГГц диапазон частот и обладающего метрологическими характеристиками, приближенными к характеристикам настольных измерительных приборов.

Основные возможности MFP-8000.

Портативный измеритель мощности MFP-8000 - это в полном смысле универсальный прибор, который органично сочетает в себе свойства присущие сразу нескольким типам измерительных приборов - измерителю мощности, частотомеру, индикатору поля и анализатору

сигнатуры.

MFP-8000 позволяет пользователю в ручном и автоматическом режимах:

- Определять частоту входного сигнала в диапазоне частот от 100 кГц до 8 ГГц.
- Измерять мощность входного сигнала в диапазоне уровней от минус 60 дБм до плюс 30дБм.
- Идентифицировать во входном сигнале наличие признаков протокола обмена данными для сотовой и телефонной систем связи (GSM 900/1800/1900, DECT).
- Автоматически (посредством встроенного интерфейса) настраивать панорамные радио приемники или другие устройства на измеренную MFP-8000 частоту сигнала.
- Использовать (встроенные) память прибора, часы и календарь для протоколирования и хранения результатов измерений.
- Задействовать встроенный интерфейс для организации использования MFP-8000 в качестве измерительного элемента в составе автоматизированных компьютерных систем.

Измерение мощности MFP-8000.

Принцип действия подавляющего большинства измерителей мощности СВЧ колебаний основан на измерении изменения температуры или сопротивления элементов, возникающих под действием рассеиваемой энергии исследуемого электромагнитного поля. В подобных устройствах в основном применяется мостовая схема с терморезисторами. В одно плечо моста подаётся измеряемое СВЧ напряжение, а в другое - известное постоянное напряжение. Величина поглощаемой СВЧ мощности при этом определяется исходя из величины мощности постоянного тока, рассеиваемой во втором плече при полной балансировке моста. Такой способ получил название калориметрический.

Этот способ измерения мощности прост в реализации, обладает хорошей воспроизводимостью результатов, но, к сожалению, обладает рядом существенных недостатков: значительным временем измерения, необходимым для нагрева и стабилизации температуры на-

грузочного элемента и ограничениями по динамическому диапазону измеряемых мощностей, связанных с большими затруднениями при измерении малых значений.

До недавнего времени альтернативы калориметрическому способу измерения мощности в СВЧ диапазоне частот практически не существовало. Поскольку давно известный, и применяемый на более низких частотах, способ прямого измерения уровня сигнала с помощью квадратичного детектирования, в этом диапазоне частот, не использовался по причине полного отсутствия необходимой для его реализации элементной базы.

Ко времени начала разработки портативного измерителя мощности MFP-8000 появилась и была задействована новейшая элементная база, которая позволяла реализовать в СВЧ диапазоне частот достаточно точное измерение мощности прямым способом с использованием логарифмического усиления в сочетании с широкополосным квадратичным детектированием.

Таким образом, были устранены основные недостатки, присущие используемому ранее, калориметрическому способу и получены высокая чувствительность, быстрый отклик на изменения мощности входного сигнала и широкий динамический диапазон. Например, динамический диапазон измеряемых MFP-8000 значений мощностей превышает 90 дБ, при точности измерения $\pm 0,5$ дБ, в диапазоне частот от 100 кГц до 8 ГГц.

Рассмотрим подробнее техническую сторону реализованного в MFP-8000 способа. Известно, что на практике приходится иметь дело со значениями мощностей входных сигналов, отличающихся друг от друга в процессе наблюдения на 6...9 и более порядков. Естественно, измерять и представлять такой динамический диапазон в линейном масштабе не вполне удобно. Гораздо удобнее пользоваться для этого логарифмическим преобразованием (использовать логарифмические усилители). Издавна логарифмическая шкала в электронике – это самый распространенный и удобный способ отображения процессов и результатов измерений. Она позволяет увидеть в сжатом виде сигналы, отличающиеся друг от друга на значительное число порядков.

Логарифмический усилитель это усилитель с нелинейной амплитудной характеристикой описываемой функцией:

$$U_{\text{ВЫХ.}} = U_Y \cdot \text{Log}_{10}(U_{\text{ВХ.}}/U_X)$$

где:

$U_{\text{ВЫХ.}}$ – выходное напряжение;

$U_{\text{ВХ.}}$ – входное напряжение;

U_Y – наклон характеристики;

U_X – точка пересечения оси координат.

На рис. 1 приведен график идеальной логарифмической функции. В реальных устройствах эта зависимость имеет некоторую неравномерность, связанную с ошибкой аппроксимации преобразования.

В MFP-8000 логарифмический усилитель-квадратичный детектор сжимает входной СВЧ сигнал в широком диапазоне, переводя его мощность в эквивалент, отсчитываемый в децибелах. Точность преобразования лежит в пределах $\pm 0,5$ дБ в динамическом диапазоне сигналов до 90 дБ.

Остановимся подробнее на передаточной функции логарифмического усилителя детектора. На Рис. 2 приведена его упрощенная блок-схема, состоящая из нескольких усилителей в каскадном включении. Для упрощения, на рисунке показаны пять усилителей с коэффициентом усиления 20 дБ. На вход первого усилителя подается сигнал с малым

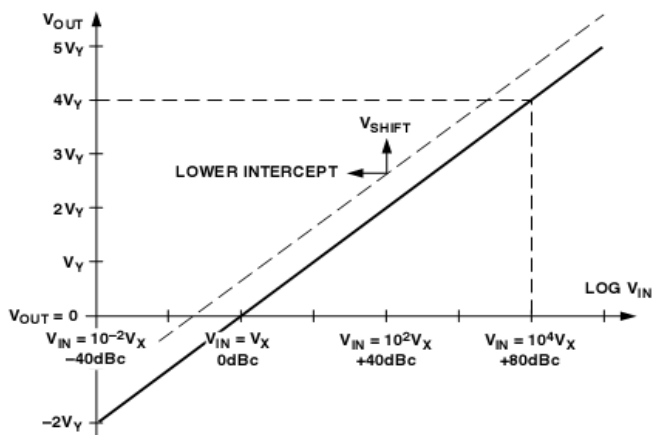


Рис. 1

уровнем. Как видно из рисунка, после прохождения нескольких усилителей, постепенно увеличиваясь по амплитуде, входной сигнал доходит до ограничения (или клиппирования) на определенном уровне. В данном случае полагаем порог ограничения для всех усилителей одинаковым и равным 1 В. Уровень входного сигнала и усиления каскадов таковы, что ограничение сигнала проявляется на третьем усилителе. К выходу каждого усилителя подключен квадратичный выпрямитель. Выходы выпрямителей подключены к сумматору, после которого сигнал фильтруется ФНЧ. Фильтр нижних частот (ФНЧ) необходим для устранения пульсаций выпрямленного сигнала. На выходе этой схемы получается статический выходной сигнал постоянного тока пропорциональный статическому уровню входного сигнала.

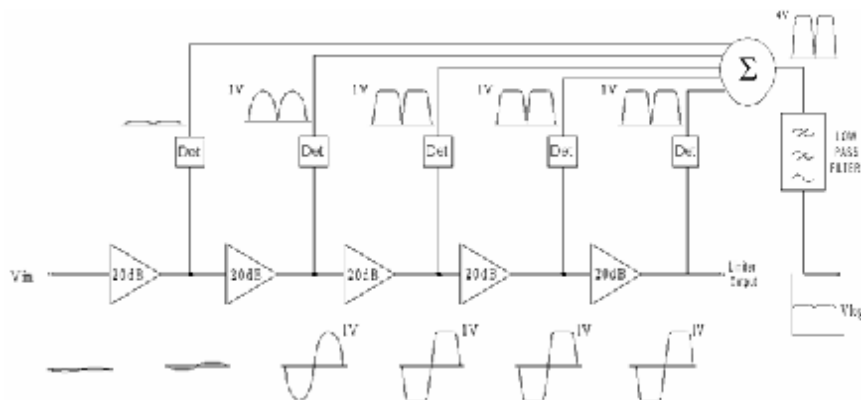


Рис. 2

Для понимания того, как происходит преобразование огибающей входного сигнала, рассмотрим случай, когда входной сигнал уменьшился на 20 дБ. До уменьшения сигнала видно, что на выходе сумматора напряжение 4 В. Третий, четвертый и пятый усилители находятся в ограничении, второй усилитель на пороге ограничения. Если входной сигнал уменьшить на 20 дБ, то в ограничении будут только четвертый и пятый усилители, а третий будет на грани ограничения. На выходе сумматора, в этом случае, будет напряжение равное 3 В.

Видим, что уменьшение входного сигнала на 20 дБ ведет к уменьшению напряжения на выходе сумматора на 1 вольт. Отсюда следует вывод – наклон передаточной характеристики логарифмического усилителя-детектора слабо или вообще не зависит от уровня входного сигнала. Это свойство логарифмического усилителя позволяет использовать его для измерений в широком диапазоне изменений входного сигнала с постоянным наклоном передаточной характеристики. Не сложно подсчитать, что в таком случае наклон логарифмической характеристики, показанной на рис.1, вне зависимости от уровня входного сигнала, будет равен 50 мВ/дБ. В этом и состоит ключевое отличие логарифмического усилителя-детектора от обычного диодного детектора, наклон передаточной характеристики которого очень сильно зависит от уровня входного сигнала.

Для повышения точности при измерениях мощности, в MFP-8000 предусмотрена калибровка всей измерительной системы. Несмотря на то, что элементная база, примененная в измерителе, изготавливается с очень высокой точностью, тем не менее, характеристики каждого конкретного экземпляра имеют разброс по величине и некоторую температурную зависимость. Кроме того, на точность измерений оказывают влияние аттенюаторы и направленные ответвители, также входящие в состав измерительной системы. Цель проведения калибровки – устранение этого влияния.

На рис. 3 показана зависимость переходной характеристики реального логарифмического детектора при синусоидальном входном сигнале 5,6 ГГц и разных температурах. В отличие от графика идеальной логарифмической функции, приведенного на рис. 1, передаточная характеристика большинства реальных устройств имеет обратный наклон, что легко можно учесть при интерпретации результатов измерений. Эту передаточную характеристику можно описать следующим уравнением:

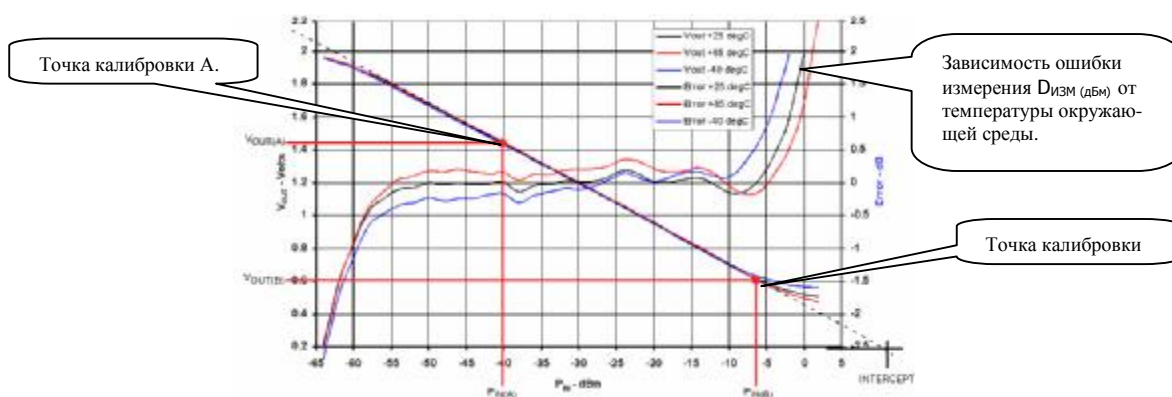


Рис. 3

$$U_{\text{ВЫХ.}} (\text{мВ}) = S (\text{мВ/дБм}) \cdot [P_{\text{ВХ.}} (\text{дБм}) - I (\text{дБм})]$$

Параметр S (крутизна преобразования), в данном случае, определяется как изменение выходного напряжения соответствующее изменению входной мощности. Параметр I – в размерности дБм - точка пересечения оси координат мощности идеальной характеристикой логарифмического усилителя. $P_{\text{ВХ.}}$ – входная мощность в размерности дБм. $U_{\text{ВЫХ.}}$ – выходное напряжение в размерности мВ.

Калибровка измерительной системы заключается в нахождении параметров S , I и вычислении ошибки измерения $D_{\text{изм}}$ по формуле:

$$D_{\text{изм.}} (\text{дБм}) = [U_{\text{ВЫХ. РЕ.}} (\text{мВ}) - U_{\text{ВЫХ. ИДЕАЛ.}} (\text{мВ})] / S (\text{мВ/дБм})$$

где:

$U_{\text{ВЫХ. РЕ.}} (\text{мВ})$ – реально измеренное значение выходного напряжения в мВ;

$U_{\text{ВЫХ. ИД.}} (\text{мВ})$ – выходное напряжение при идеальной передаточной характеристике в мВ.

S и I находятся по формулам:

$$S (\text{мВ/дБм}) = [U_{\text{ВЫХ. «В»}} (\text{мВ}) - U_{\text{ВЫХ. «А»}} (\text{мВ})] / [P_{\text{ВХ. «В»}} (\text{дБм}) - P_{\text{ВХ. «А»}} (\text{дБм})]$$

$$I (\text{дБм}) = P_{\text{ВХ. «В»}} (\text{дБм}) - U_{\text{ВЫХ. «В»}} (\text{мВ}) / S (\text{мВ/дБм})$$

где:

$U_{\text{ВЫХ. «В»}} (\text{мВ})$ – выходное напряжение в точке «В» в мВ;

$U_{\text{ВЫХ. «А»}} (\text{мВ})$ – выходное напряжение в точке «А» в мВ;

$P_{\text{ВХ. «В»}} (\text{дБм})$ – мощность на входе в точке «В» в дБм;

$P_{\text{ВХ. «А»}} (\text{дБм})$ – мощность на входе в точке «А» в дБм.

Обычно для калибровки проводятся измерения в двух точках «А» и «В», располагающихся на краях динамического диапазона входных мощностей, и по полученным данным вычисляются параметры S и I . На рис. 3, кроме наглядного отображения процесса калиб-

ровки, показаны реальные зависимости ошибки измерения мощности от температуры окружающей среды.

Не лишним будет отметить, что хотя ошибка идеального логарифмического усилителя не зависит от частоты входного сигнала, но вся измерительная система в целом реально имеет ошибку измерения уровня сигнала зависящую от частоты.

Поэтому, для обеспечения заданной точности измерений мощности в портативном измерителе мощности MFP-8000 на заводе-изготовителе осуществляется калибровка измерительной системы во всем диапазоне рабочих частот с шагом 100 МГц.

Для расширения динамического диапазона измеряемых мощностей (в сторону увеличения значений) MFP-8000 снабжен входным аттенуатором 30 дБ с шагом по 10 дБ.

Измерение частоты MFP-8000.

В режиме измерения частоты портативный измеритель мощности MFP-8000 имеет возможность:

- индицировать частоту непрерывных источников радиоизлучений;
- идентифицировать наличие во входном сигнале признаков, соответствующих протоколам обмена данными для сотовой и телефонной систем связи (GSM 900/1800/1900, DECT);
- в стандарте GSM определять режим работы "SMS", "Talk" («текста», «разговор») и значение частоты.

Измерение частоты в MFP-8000 проводится методом прямого счета. Для задания требуемой точности при определении значения частоты входного сигнала имеется возможность изменения времени счета. Время счета может устанавливаться в диапазоне от 1 мс до 1000 мс. Относительная погрешность измерения среднего за время счета значения частоты (d_f) не превосходит значения, определяемого по формуле:

$$d_f = \pm \left(|d_{кв}| + \frac{1}{f_{изм} \cdot t_{сч}} \right) \cdot N$$

где: $d_{кв}$ - относительная погрешность частоты опорного генератора;

$f_{изм}$ - значение измеряемой частоты, кГц;

$t_{сч}$ - время счета, мс;

N - коэффициент деления входного делителя.

Коэффициент деления входного делителя равен:

N=1 в диапазоне частот входного сигнала (0,1 - 200) МГц;

N=4 в диапазоне частот входного сигнала (200 - 600) МГц;

N=8 в диапазоне частот входного сигнала (600 - 1200) МГц;

N=16 в диапазоне частот входного сигнала (1200 - 2500) МГц;

N=32 в диапазоне частот входного сигнала (2,5 - 4,8) ГГц;

N=64 в диапазоне частот входного сигнала (4,8 - 8) ГГц.

В целях получения высокой точности измерений частоты, в MFP-8000 используется высокоточный термокомпенсированный опорный генератор, обладающий стабильностью частоты не хуже $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$.

Использование MFP-8000 в качестве индикатора электромагнитного поля.

MFP-8000 в комплекте с антенной может использоваться в том числе и как высокочувствительный индикатор электромагнитного поля, фиксирующий источники радиоизлучений, имеющие мощность сигнала на входе прибора превышающую $0,5 \cdot 10^{-8}$ Вт, в диапа-

зоне частот от 100 кГц до 8 ГГц. Для этого в MFP-8000 имеется соответствующий набор режимов, имеющихся у лучших образцов индикаторов электромагнитного поля (например у РИЧ-3 и др.). В идеальных условиях прибор уверенно, с расстояния до 20-ти метров обнаруживает излучение СВЧ источников с выходной мощностью порядка 5 мВт.

Для использования режима «акустозавязывания» при идентификации радиомикрофонов в MFP-8000 предусмотрены соответствующий детектор, усилитель и звуковой излучатель.

В MFP-8000 имеется также режим мониторинга «ближней зоны». В этом режиме прибор выдает сигнал при обнаружении радиоизлучения, уровень которого превышает пороговое значение, установленное оператором. Пороговое значение может быть установлено оператором в диапазоне от 3 до 24 дБм.

Кроме того, протокол (до 1000 значений) измерений может запоминаться и храниться во встроенной памяти прибора.

Через встроенный интерфейс MFP-8000 может автоматически управлять настройкой панорамных приемников (типа AOR 8000) или других устройств на измеренную частоту.

Имеющийся интерфейс позволяет также управлять настройками MFP-8000 с внешнего компьютера, а также считывать туда, для последующей обработки, результаты измерений.

Технические характеристики MFP-8000.

- Диапазон рабочих частот: (0,1- 8000) МГц.
- Вход: 50 Ом (не более 1Вт), разъем «N» типа.
- Динамический диапазон измерений уровня мощности : 90 дБм, (от минус 60 дБм до + 30дБм).
- Точность измерения уровня мощности: $\pm 0,5$ дБм.
- Максимальная измеряемая мощность (со встроенным аттенуатором): 1 Вт.
- Чувствительность:
 - при измерении частоты не хуже 13 мВ (минус 25 дБм) в диапазоне (0,1 - 8000) МГц и не хуже 1,2 мВ (минус 45 дБм) в диапазоне (300 - 6000) МГц;
 - при измерении мощности - не хуже $0,5 \cdot 10^{-8}$ Вт.
- КСВН не более 1,5.
- Диапазон рабочих температур: от 0 до +50 °С
- Питание: встроенная литий ионная батарея 3,6 В емкостью 1,95 А·час.
- Средний ток потребления: не более 250 мА.
- Габариты: 115 x 70 x 27 мм.