

УДК 621.3.083.1

А.С. Загородний, К.Н. Роцин, Н.Н. Воронин

Определение импульсной мощности сигналов СВЧ посредством измерителя средней мощности

Рассмотрены вопросы измерения мощности сигналов СВЧ с применением преобразователей на основе диодных детекторов. Исследована и подтверждена возможность косвенных измерений импульсной мощности с помощью измерителя средней мощности. Описаны особенности и основные ограничения метода.

Ключевые слова: импульсно-модулированный сигнал, диодный детектор, измеритель мощности, импульсная мощность.

Современные измерители мощности позволяют проводить измерения различных мощностных параметров: средней, импульсной, пиковой мощности, отношения пиковой и средней мощности, уровни мощности во временных окнах и пр. В отдельную категорию можно выделить измерители средней мощности. Для них характерны широкие частотные и динамические диапазоны измерений, а также невысокая стоимость по сравнению с измерителями пиковой мощности. В данной работе рассматривается методика косвенного определения импульсной мощности с помощью измерителя средней мощности. Эта задача весьма актуальна для практических задач, где не требуется измерения большого перечня параметров с применением сложной аппаратуры, а достаточно оценить уровень мощности сигнала.

При рассмотрении измерителей мощности в первую очередь следует обратить внимание на преобразователь мощности. Основная идея преобразователя мощности заключается в преобразовании мощности высокочастотного сигнала в постоянный ток или сигнал низкой частоты, которые измеряются и пересчитываются с учетом калибровочных данных детектора в значение мощности сигнала. Тремя основными типами преобразователей являются терморезисторы, термопары и диодные детекторы [1]. Каждый тип преобразователя имеет свои преимущества, функциональные возможности и ограничения, связанные с его применением. Измерители мощности на основе терморезисторов и термопар оценивают тепловую энергию сигнала СВЧ, рассеянную на чувствительном элементе. Подобные устройства могут использоваться для измерения средней мощности, но не могут непосредственно измерять импульсную и пиковую мощность, а также обладают малым динамическим диапазоном и большим временем измерений.

В отличие от терморезисторов и термопар, диодный детектор не измеряет содержание тепла, рассеянного на нагрузке, а выпрямляет СВЧ-сигнал и проводит интегрирование результата на видеофильтре (ФНЧ). Основным достоинством диодного преобразователя является чувствительность, позволяющая измерять такие низкие уровни мощности, как минус 70 дБм (100 пВт). По величине полосы видеофильтра преобразователи на диодных детекторах разделяют на две группы – узкополосные (интегрирующие) и широкополосные. Узкополосные преобразователи на диодных детекторах позволяют проводить оценку среднего значения мощности на временных интервалах, во много раз превышающих период повторения сигнала. Широкополосные преобразователи на диодных детекторах позволяют измерять мощность СВЧ-сигнала с высоким разрешением по времени.

К недостаткам преобразователя на диодных детекторах можно отнести нелинейность закона преобразования, связанного с нелинейными свойствами диода. Если мы разложим уравнение, описывающее поведение диода в степенной ряд, то увидим, что выпрямленное выходное напряжение является функцией квадрата напряжения входного сигнала до уровня сигнала, соответствующего мощности не более –20 дБм на нагрузке 50 Ом [2]. В данном динамическом диапазоне выходное напряжение пропорционально среднеквадратичному значению уровня входной мощности. При превышении уровня мощности –20 дБм процесс выпрямления становится все более линейным, а выходное напряжение переходит к функции входного напряжения (а не к квадрату входного напряжения). Для непрерывного гармонического сигнала данная нелинейность может быть скорректирована для получения истинного среднеквадратичного значения мощности.

Если при измерении среднего значения мощности импульсно-модулированного сигнала мощность импульса превышает -20 дБм, то среднее значение напряжения на выходе детектора не пропорционально средней мощности сигнала на входе. Это приводит к появлению ограничений при использовании преобразователя на диодном детекторе при измерении параметров мощности импульсно-модулированных сигналов. На рис. 1 показана взаимосвязь импульсной и средней мощности [3]. В примере использован простой импульс длительностью 10 мкс с периодом повторения 40 мкс, следовательно, разница импульсной и средней мощности равна $6,02$ дБ. Данная величина может быть внесена в измеритель как величина компенсации ослабления, чтобы на дисплее отображалась импульсная мощность (действующее значение мощности импульсов).

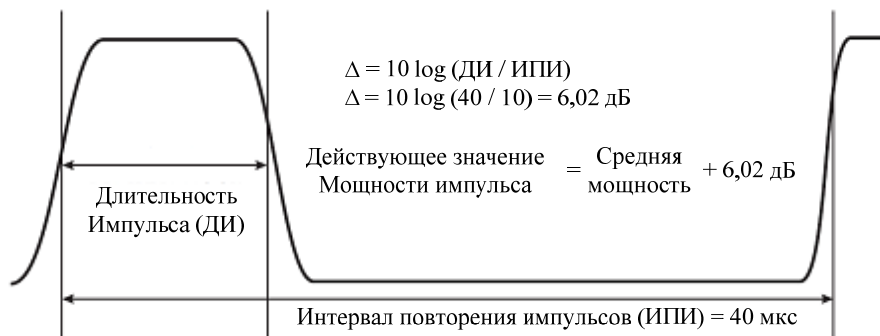


Рис. 1. Использование измерителя средней мощности для определения импульсной мощности

Экспериментальные исследования. Целью эксперимента являлось практическое подтверждение возможности использования измерителя средней мощности для измерений мощности импульсно-модулированных сигналов и, в частности, для измерений импульсной мощности. В качестве измерителя средней мощности был выбран измеритель мощности СВЧ МЗМ-18 [4] фирмы «Микран». Помимо этого, проводились эксперименты для измерителя средней мощности E4418 (с сенсором E4413A) компании Agilent Technologies. Общие закономерности для обоих измерителей схожи. Далее подробно рассмотрим результаты экспериментов для МЗМ-18.

В ходе работы было проведено сравнение показаний МЗМ-18 с результатами эталонного измерителя мощности при измерении мощности радиочастотных сигналов с импульсной модуляцией. В качестве эталонного измерителя был использован измеритель мощности N1911A компании Agilent Technologies с сенсором N1922A. Идентичность входных сигналов достигалась путем использования общего генератора и делителя мощности. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Измеритель мощности МЗМ-18 включает в себя детекторную секцию и не требует подключения дополнительного сенсора мощности.

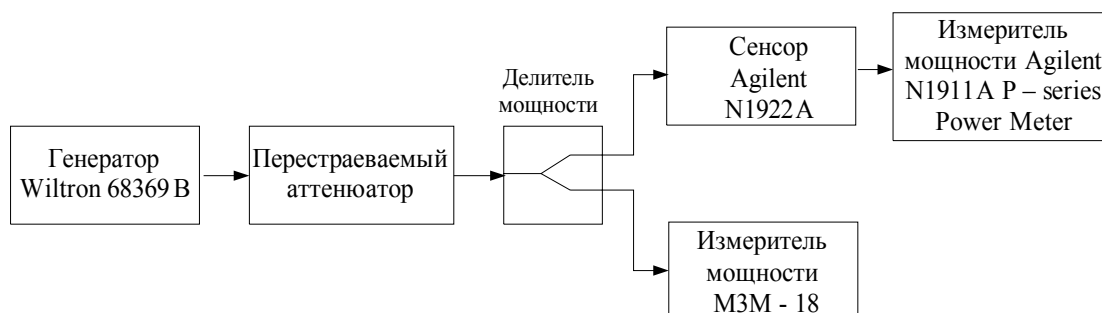


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки

Изменение уровня мощности производилось перестройкой аттенюатора, т.к. это позволяет добиться большей стабильности по сравнению с перестройкой уровня выходной мощности генератора. Исследования проводились для радиоимпульсов фиксированной частоты 3 ГГц с длительностью импульсов 500 нс. Скважность импульсов Q варьировалась путем изменения периода следования импульсов. Для исключения погрешностей, присущих отдельным приборам, было использовано несколько однотипных ИМ МЗМ-18. На рис. 3 приведены типичные характеристики отклонений показаний МЗМ-18 от показаний эталонного измерителя мощности.

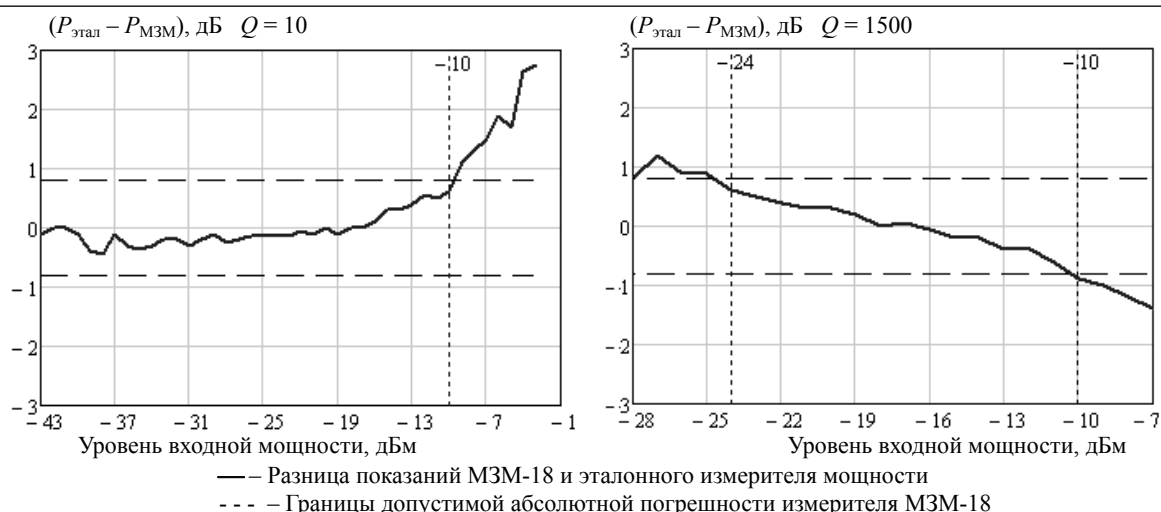


Рис. 3. Экспериментальные результаты

Из рис. 3 видно, что при увеличении скважности сигнала увеличивается граница минимальной измеряемой мощности. Это вызвано уменьшением значения средней мощности сигнала. Верхняя граница измеряемой мощности не зависит от скважности и обусловлена поведением детекторной характеристики. В ходе эксперимента для различных значений скважности были получены графики, подобные рис. 3. Для определения границ динамического диапазона учитывались уровни мощности, при которых разница показаний не превышает допустимую абсолютную погрешность ИМ МЗМ-18 ($\pm 0,8$ дБ). Часть экспериментально определенных границ приведена в таблице.

На основе экспериментальных данных выявлены общие соотношения для расчета динамического диапазона ДД и минимальной измеряемой мощности P_{min} :

$$ДД = (43 - 10 \log(Q)) \text{ дБ}, \quad (1)$$

$$P_{min} = (-53 + 10 \log(Q)) \text{ дБм}. \quad (2)$$

На рис. 4 представлены графики максимальной и минимальной измеряемых мощностей. Из рисунка легко определить ограничения метода по динамическому диапазону: при известной скважности уровни измеряемой мощности не должны выходить за пределы указанных линий.

Экспериментально подтверждено, что полученные выражения (1), (2) применимы во всем частотном диапазоне ИМ МЗМ-18, однако стоит отметить, что они справедливы для радиоимпульсов с идеализированной формой. Различные факторы, такие как длительные фронты импульса, выбросы огибающей, связанные с переходными процессами, могут оказывать значительное влияние на форму импульсов и приводить к увеличению погрешности измерения импульсной мощности.

Еще одним немаловажным фактором при измерении импульсной мощности является частота следования радиоимпульсов. Поскольку измерители средней мощности выполняют усреднение по времени, то для получения результата необходимо проинтегрировать результат на большом количестве периодов повторения импульсов. Это накладывает ограничения на минимальную частоту следования импульсов. В ходе работы выявлено, что минимальная частота повторения для ИМ МЗМ-18 составляет 80 Гц, для ИМ Agilent N4418 – 500 Гц.

Значения динамического диапазона	
Скважность импульсов	Динамический диапазон
2	от -50 дБм до -10 дБм (40 дБ)
10	от -43 дБм до -10 дБм (33 дБ)
100	от -33 дБм до -10 дБм (23 дБ)
1500	от -24 дБм до -10 дБм (14 дБ)

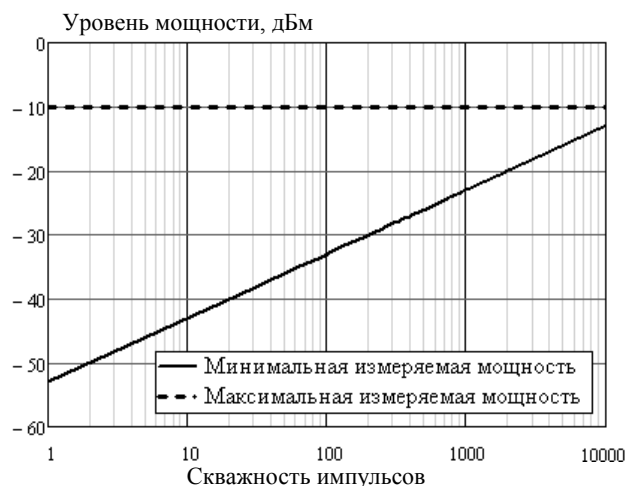


Рис. 4. Границы измеряемых мощностей

Заключение. В работе предложена и экспериментально подтверждена возможность использования измерителей средней мощности для измерения импульсной мощности на примере измерителей мощности МЗМ-18 фирмы «Микран» и E4418 компании Agilent Technologies. Рассмотрены основные особенности и ограничения метода. Для точного определения значений погрешностей измерений необходимо выполнение процедуры поверки используемого прибора с использованием импульсно-модулированных сигналов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 13.G25.31.0011 от 07.09.2010 г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

Литература

1. Bryant G.H. Principles of Microwave Measurements // IEE Electrical Measurement. – 1988. – 415 с.
2. Agilent Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements (Part 2). Agilent Application Note 1449-2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-9214EN.pdf>, свободный (дата обращения: 08.09.2011).
3. Agilent Radar Measurements Application Note, 2009. – 75 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7575EN.pdf>, свободный (дата обращения: 08.09.2011).
4. Измеритель мощности СВЧ МЗМ-18. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.micran.ru/~ulw/get.php?file=m3m/Docs>, свободный (дата обращения 08.09.2011).

Загородний Андрей Сергеевич

Аспирант каф. сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники ТУСУРа

Тел.: +7-923-414-99-26

Эл. почта: andreyzag@micran.ru

Рошин Константин Николаевич

Начальник отдела ЦС департамента ИИС ЗАО «НПФ «Микран»

Тел.: +7 (382-2) 90-00-37

Эл. почта: kostya@micran.ru

Воронин Николай Николаевич

Инженер департамента ИИС ЗАО «НПФ «Микран»

Тел.: +7-(382-2) 90-00-37

Эл. почта: voronin@micran.ru

Zagorodniy A.S., Rochin K.N., Voronin N.N.

The measurement of pulsed power of high frequency signals by means of average power meter

This paper describes the problems of microwave power measurements by using diode detector sensor. The possibility of indirect pulse power measurements by average power meter is investigated and confirmed by the experiment. The features and the main restrictions of this method are described.

Keywords: pulse modulation signal, diode detector, power meter, pulse power.