



УДК 621.317.7.023

## ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ВЧ СИГНАЛА

*А.Ю. Полухин, А.Н. Угловский, А.Е. Резниченко*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,  
г. Новочеркасск

В данной статье проведен обзор и анализ существующих устройств измерения мощности высокочастотного сигнала. Необходимость в приборах измерения сигналов высокой частоты возникла в связи с появлением и расширением сферы беспроводных телекоммуникаций и общим трендом перехода на беспроводные каналы связи. Измерение мощности может быть интересно по двум причинам: по мощности сигнала можно определить радиус действия источника излучения радиоволны и определить места расстановки приёмников сигнала; высокочастотный сигнал влияет на работу других устройств и комплексов, а также может пагубно сказываться на состоянии здоровья людей и животных, поэтому требуется его контроль в соответствии с нормативными документами

**Ключевые слова:** высокочастотный сигнал, мощность сигнала, радиоволны, беспроводные каналы связи

## OVERVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING RF POWER MEASURING DEVICES

*A.U. Polukhin, A.N. Uglovsky, A.E. Reznichenko*

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article provides a review and analysis of existing devices for measuring the power of a high-frequency signal. The need for devices for measuring high-frequency signals arose in connection with the emergence and expansion of the field of wireless telecommunications and the general trend of transition to wireless communication channels. Power measurement can be interesting for two reasons: by the signal power, you can determine the range of the radio wave radiation source and determine the location of the signal receivers; the high-frequency signal affects the operation of other devices and complexes, and can also adversely affect the health of people and animals, therefore, its control is required in accordance with regulatory documents

**Keywords:** high frequency signal, signal strength, radio waves, wireless communication channels

На данный момент на рынке измерителей мощности высокочастотного (ВЧ) сигнала существуют различные устройства как по функциональным возможностям, так и по эксплуатационным характеристикам. Рассмотрим разные примеры таких приборов.

Измеритель ВЧ мощности *Boonton Electronics 4530*

Внешний вид измерителя ВЧ мощности *Boonton Electronics 4530* приведен на рисунке 1.



Рис. 1 – Внешний вид измерителя ВЧ мощности *Boonton Electronics 4530*



Измеритель ВЧ мощности *Boonton Electronics 4530* сочетает точность прибора лабораторного класса с быстродействием, необходимым для производственного тестирования. В них используются запатентованные технологии, позволяющие точно измерять цифровые модулированные сигналы. Наряду с измерением мощности несущей, пиковой мощности напряжения, он также способен выполнять статистический анализ мощности (построение кумулятивной функции распределения (*CDF*) и функции плотности вероятностей (*PDF*)). Эта модель совместима с большинством выпускаемых *Boonton* ВЧ датчиков мощности и напряжения, начиная с коаксиальных двухдиодных датчиков и заканчивая тепловыми датчиками для измерения на частотах до 40 ГГц. Настройка датчика и обеспечение точности измерений не вызывает затруднений, так как при подключении датчика автоматически осуществляется калибровка и настройка его параметров.

Основные технические характеристики измерителя ВЧ мощности *Boonton Electronics 4530* приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики *Boonton Electronics 4530*

Наименование	Значение
Измерение пиковой мощности	
Диапазон частот	от 50 МГц до 40 ГГц
Динамический диапазон	>60 дБ
Полоса пропускания	20 МГц
Измерение мощности несущей	
Диапазон частот	от 10 кГц до 40 ГГц
Динамический диапазон	90 дБ
Прочие параметры	
Источники калибровки	Внутренний калибратор
Погрешность при 0 ° ... 20 °С	+20 ... -39,9 дБм ±0,06 дБ (1,4%)
	-40 ... -60 дБм ±0,09 дБ (2,1 %)
Временное разрешение сигналов запуска	20 нс
Видеополоса	20 МГц
Разрешение	с шагом 0,1 дБ
Частота выходного сигнала	50,025 МГц ±0,1 %

Модель 4530 измеряет мощность несущей в широком динамическом диапазоне без переключения поддиапазонов, сопровождаемого нелинейностью и разрывами, что характерно для менее широкодиапазонных измерителей мощности.

Прибор 4530 измеряет точные значения пиковой и средней мощности современных сигналов со сложной цифровой модуляцией. Их полоса модуляции может занимать до 20 МГц и, следовательно, попадает в частотный диапазон этой модели, позволяя измерять сигналы, используемые в *CDMA*, *W-CDMA*, *CDMA2000*, *TDMA*, *GSM*, *GSM-EDGE*, *GPRS*, *OFDM*, *HDTV* и *UMTS*. Модель 4530 может отображать периодические и импульсные сигналы в графическом формате, а набор автоматических измерений позволяет снять временной и мощностной профили импульса.



Расширенные возможности запуска, эффективная частота дискретизации до 50 Мвыб/с и программируемые курсоры позволяют мгновенно предоставить результаты измерения мощности с точными временными задержками от фронта импульса. С помощью внутреннего и внешнего запуска можно также выполнять измерения пиковой и средней мощности в заданном временном или мощностном диапазоне. Запуск может быть синхронным или асинхронным.

Для просмотра определенной части сигнала предусмотрен запуск с упреждением или с задержкой.

Случайное и редкое появление выбросов мощности делает практически невозможным их обнаружение и измерение с помощью обычных измерителей мощности. Прибор сначала проводит анализ вероятности возникновения выбросов вблизи точки абсолютного значения пиковой мощности, а затем выявляет и анализирует данные с высокой точностью, позволяющей реально оценить работу усилителя. Располагая широкой видеополосой, модель 4530 обнаруживает даже узкие пики.

К недостаткам данного устройства можно отнести высокую стоимость и отсутствие связи с персональным компьютером, что уменьшает область и возможности применения данного прибора.

Широкополосный измеритель мощности *ML2487A* и *ML2488A Anritsu*.

Внешний вид широкополосного измерителя мощности *ML2487A Anritsu* приведен на рисунке 2.



Рис. 2 – Внешний вид широкополосного измерителя мощности *ML2487A Anritsu*

Широкополосные измерители мощности *ML2487A* и *ML2488A* производят точные измерения пиковой мощности для систем передачи данных, беспроводных и воздушно-космических систем связи. Для создания и применения беспроводных систем связи, необходимо оборудование, отвечающее жестким требованиям контроля и измерения мощности. Основные технические характеристики широкополосных измерителей мощности *ML2487A* и *ML2488A* приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технические характеристики *ML2487A* и *ML2488A*

Наименование	Значение
Диапазон частот	от 50 МГц до 18 ГГц
Динамический диапазон	от -60 дБ до +20 дБ
Время нарастания	<18 нс
Выборный фильтр	5/20 МГц
Встроенная статистика	CCDF, CDF и PDF
Каналы связи	Bluetooth и IEEE 802.11 WLAN стандартов
Дисплей	цветной с графическим интерфейсом



Производительность канала сигнала и широкий диапазон возможностей приборов, делают их лучшим решением для проведения точных и надежных измерений мощности радиолокационных систем и систем связи. Поддержка двух входов датчиков позволяют *ML2488A* одновременно тестировать *WLAN* и устройства с использованием беспроводной технологии *Bluetooth*. Прибор обладает большим, цветным дисплеем с графическим интерфейсом. Недостатком является высокая стоимость и достаточно большие габаритные размеры.

Измеритель мощности *V3500A Agilent*.

Внешний вид измерителя мощности *V3500A Agilent* приведен на рис. 3.



Рис. 3 – Внешний вид измерителя мощности *V3500A Agilent*

Основные технические характеристик *V3500A Agilent* приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технические характеристик *V3500A Agilent*

Наименование	Значение
Частотный диапазон	10 МГц...6 ГГц
диапазон измерения мощности	+20дБм...-60дБм
Максимальная мощность на входе	+23дБм
Погрешность измерения мощности	$\pm 0,21$ дБ
Уровень шумов	-63дБм
Питание	от двух 1,5 В батарей типа AA; <i>USB</i>
Интерфейс	<i>USB 2.0</i>
Масса	0,5 кг
Габаритные размеры	79 × 134 × 49 мм

Измеритель мощности *V3500A* работает в широком диапазоне частот от 10 МГц до 6 ГГц, с динамическим диапазоном от -63 дБм до +20 дБм и абсолютной точностью  $\pm 0,21$  дБ. *V3500A* обладает встроенной функцией измерения средней мощности, обеспечивающей повторяемость и высокую точность измерений. Измеритель значительно упрощает работу в полевых условиях, предоставляя все базовые возможности для измерения мощности при низкой стоимости.

Измеритель мощности *N1912A*.

Внешний вид измерителя мощности *N1912A* приведен на рисунке 4.

Основные технические характеристики *N1912A* приведены в таблице 4.

**Рис. 4 – Внешний вид измерителя мощности N1912A**

Таблица 4 – Основные технические характеристик V3500A Agilent

Наименование	Значение
Число каналов	2
Диапазон частот	от 50 МГц до 40 ГГц
Максимальная частота дискретизации	100 миллионов выборок в секунду
Полоса пропускания видеосигнала	не менее 30 МГц
Полоса пропускания одиночного перепада	не менее 30 МГц
Длительность фронта	не более 13 нс (для частот > 500 МГц)
Длительность спада	не более 13 нс (для частот > 500 МГц)
Минимальная длительность импульса	50 нс
Динамический диапазон	от -35 до +20 дБм (> 500 МГц); от -30 до +20 дБм (50 ?500 МГц)
Максимальная длительность захваченного сигнала	1 секунда
Максимальная частота повторения импульсов	10 МГц (при 10 выборках на периоде)
Погрешность	$10 \times 10^{-6}$
Габаритные размеры	88,5 мм В x 212,6 мм Ш x 348,3 мм Г
Масса нетто	не более 3,7 кг

Двухканальный измеритель мощности N1912A с преобразователями мощности N192xA обеспечивает широкополосные высококачественные измерения, которые необходимы при проверке соответствия продукции требованиям по мощности.

Прибор поддерживает:

- установку нуля и калибровку при подключенном к контролируемому устройству приборе;

- измерения максимальной, средней мощности и отношения максимальной мощности к средней мощности, временные измерения длительности фронта, длительности спада, длительности импульса, периода повторения импульсов, коэффициента заполнения, времени появления положительного и отрицательного значения и статистический анализ при помощи дополняющей интегральной функции распределения (CCDF);

- Простая организация измерений с 22 предварительными установками, включающими WiMAX и WLAN;

- возможность подключения к USB, локальной сети и GPIB;

- измерения максимальной, средней мощности и отношения максимальной мощности к средней мощности;



- режимы свободных и стробированных во времени измерений;
- автоматическое измерение длительности фронта, длительности спада, времени до появления положительного значения и времени до появления отрицательного значения.

Анализатор пиковой мощности импульсных сигналов *Agilent 8990B*.

Внешний вид анализатора пиковой мощности импульсных сигналов *Agilent 8990B* приведен на рисунке 5.



**Рис. 5 – Внешний вид анализатора пиковой мощности импульсных сигналов *Agilent 8990B***

Анализатор пиковой мощности импульсных сигналов обладает высокой скоростью и малой погрешностью измерений, может применяться в космической, оборонной отраслях и в беспроводной связи.

Прибор работает с новыми широкополосными датчиками мощности, которые охватывают диапазон частот от 50 МГц до 18 ГГц и от 50 МГц до 40 ГГц соответственно. При использовании любого из этих датчиков анализатор пиковой мощности способен обрабатывать импульсы со временем нарастания/спада всего 5 нс. Этот показатель позволяет ему стать отличным решением для проведения измерений и анализа ВЧ импульсов. Высококачественный, простой в использовании анализатор *Agilent 8990B* оснащен 15-дюймовым цветным сенсорным XGA экраном, способным одновременно отображать результаты измерений по четырем каналам для более детального изучения сигналов.

Частота дискретизации прибора составляет 100 Мвыб/с, таким образом инженеры-исследователи и разработчики получают прибор с высоким разрешением, достаточным для выявления отклонений в составе сигнала, что позволяет улучшить качество проектирования.

Прибор может выполнять 15 автоматизированных измерений параметров импульса, включая время нарастания и спада, длительность импульса и время задержки, которые могут быть запущены в два приема с помощью сенсорного экрана. Эти параметры используются при разработке, тестировании и аттестации усилителей мощности, приемно-передающих модулей, транспондеров, радиолокационных систем или спутникового оборудования, а также других устройств, тестирование которых требует сложных импульсных измерений.