

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ В ИСПЫТАНИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.С. Лавриненков, Е.В. Маньков

При проведении комплексных и автономных испытаний аппаратуры космических аппаратов (КА) необходимо оценивать стабильность уровня выходного сигнала в передающих системах для выявления возможных отклонений от допустимых значений. Рассматривается возможность построения автоматизированного измерителя мощности для непрерывного контроля уровня выходного высокочастотного сигнала оконечных усилителей передающих устройств КА. В качестве основы измерительной системы предложен к использованию отечественный ваттметр МЗ-51. Приводится схема узлов, подробное описание, погрешности и методы измерения при помощи автоматизированного измерителя мощности. Также приводятся сравнительные характеристики существующих на рынке устройств и сравнение их технических и экономических показателей с данной разработкой. Показано основное преимущество использования разработки – автоматизация измерений с сохранением информации в электронном виде.

**Ключевые слова:** измерения мощности, ваттметр, радиопередающие устройства, сопряжение измерительных систем, визуализация измерений.

При проведении комплексных и автономных испытаний аппаратуры космических аппаратов (КА) необходимо оценивать стабильность уровня выходного сигнала в передающих системах КА для выявления возможных отклонений от допустимых значений. Оценка уровня мощности выходного сигнала проводится оператором-испытателем визуально по показаниям измерительных устройств типа МЗ-51 с фиксацией значений в рукописном виде.

В данной статье приводятся результаты разработки автоматизированного измерителя мощности для непрерывного контроля выходного высокочастотного сигнала оконечных усилителей передающих устройств. Целью данной разработки является автоматизация измерений с сохранением информации в электронном виде.

**Структурная схема и описание разработки.** На рис. 1 показана структурная схема автоматизированного измерителя мощности (АИМ).

Автоматизированный измеритель мощности состоит из блока измерения мощности (БИМ), блока сопряжения с персональным компьютером (БСК), устройства отображения и сохранения информации (УОСИ).

В качестве БИМ используется ваттметр МЗ-51 с термоэлектрическим преобразователем 4.681.471, который позволяет проводить измерения в диапазоне от 300 мкВт до 10 мВт.

Полученные измерения передаются в аналоговом виде на БСК, который выполняет аналогово-цифровое преобразование сигнала, с дальнейшей передачей информации в УОСИ. В качестве БСК применён универсальный вольтметр Fluke 8808А. УОСИ включает в себя персональный компьютер с возможностью визуализации измерений в режиме

реального времени и сохранением результатов измерений в виде таблиц.

**Методика работы с измерителем.** Для начала работы с измерителем необходимо включить все входящие в систему измерений блоки и активировать программное обеспечение, предустановленное на УОСИ. После чего необходимо задать основные параметры для сканирования и отображения информации: интервал опроса датчика, пороговое значение фиксации изменения измеряемой величины и нажать кнопку «start». В конце измерений график можно сохранить в виде иллюстрации и в



Рис. 1. Структурная схема автоматизированного измерителя мощности

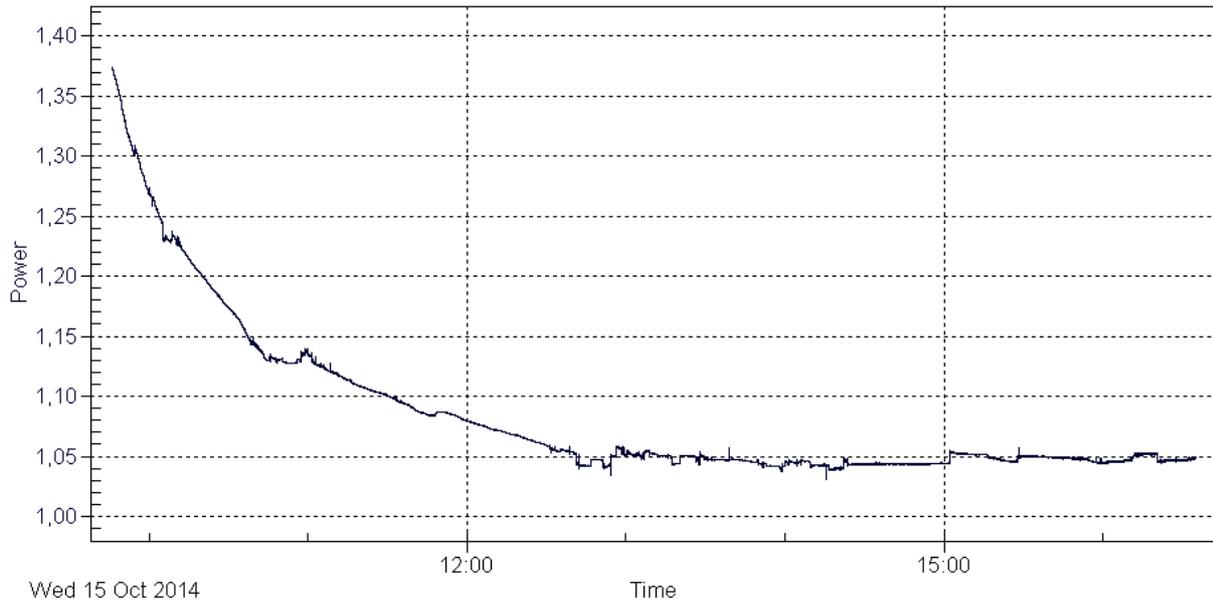


Рис. 2. Зависимость выходной мощности генератора-конвертера ШК252

виде набора дискретных значений для дальнейшего анализа и хранения.

На рис. 2 показан вид снятой зависимости выходной мощности высокочастотного генератора-конвертера ШК252. Зависимость получена на интервале наблюдения 5 ч. Измерения по оси абсцисс откладываются в реальном масштабе времени, а по оси ординат с учётом применённых в схеме измерения аттенуаторов в мВт.

**Погрешность измерений.** Данная измерительная система состоит из двух устройств преобразования сигнала, поэтому случайная погрешность  $\dot{\Delta}_{\Sigma}$  системы, состоящей из  $m$  блоков с независимыми случайными погрешностями  $\dot{\Delta}_i$  каждого блока, находится путём геометрического суммирования [1]:

$$\dot{\Delta}_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \dot{\Delta}_i^2}.$$

Погрешность измерений связана с диапазоном измерений и измеряемым значением. Для БИМ на базе ваттметра М3-51 относительная погрешность измерений равна

$$\Delta = \pm [4 + 0,1 (P_k/P_x - 1)] \%,$$

где  $P_k$  – конечное значение установленного предела измерений;  $P_x$  – показание ваттметра [2].

Рассчитаем погрешность для нашего случая: предел измерений  $P_k = 300$  мкВт. Измеренная величина  $P_x = 130,5$  мкВт, тогда погрешность измерений

$$\Delta = \pm [4 + 0,1 (300/130,5 - 1)] \% = \pm 4,1298 \, \%.$$

Для БСК на базе вольтметра FLUKE 8808A в диапазоне 2 В абсолютная погрешность измерений [3]:

$$\Delta_{abc} = \pm 0,018 \text{ В},$$

относительная погрешность зависит от измеряемой величины. Рассчитаем погрешность для нашего случая. Измеренное значение  $U_x = 1,3$  В, а относительная погрешность

$$\Delta = \pm \Delta_{abc}/U_x = \pm 1,384 \, \%.$$

Таким образом суммарная погрешность измерения системы автоматизированного измерителя мощности может быть записана в виде

$$\Delta_{\text{АИМ}} = \pm \sqrt{(\Delta_{\text{БИМ}}^2 + \Delta_{\text{БСК}}^2)}$$

и, в данном расчёте  $\Delta_{\text{АИМ}} = \pm 4,355 \, \%$ .

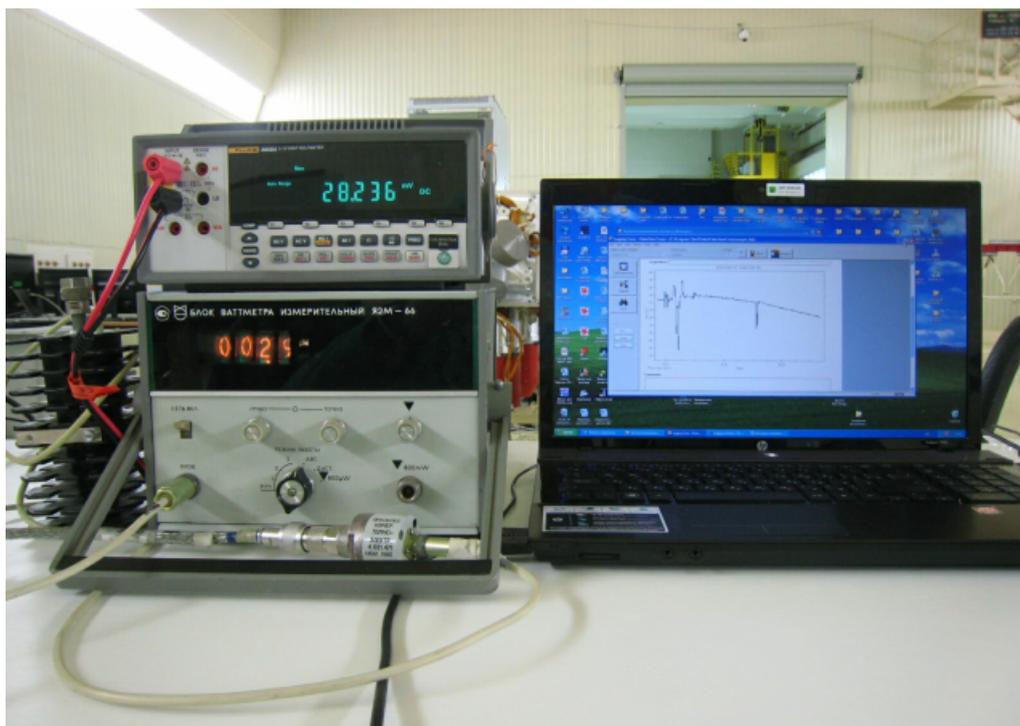


Рис. 3. Автоматизированный измеритель мощности

**Сравнительные характеристики существующих на рынке устройств с данной разработкой.** Для сравнения с разработанным измерителем (рис. 3) были выбраны устройства с близкими характеристиками и возможностями. Отечественный

ваттметр МЗ-108 [4] и зарубежный измеритель мощности Agilent 2000U [5, 6]. В таблице приведены сравнительные характеристики устройств, из которых следует, что представленные устройства позволяют проводить измерительные работы с до-

**Сравнительные характеристики существующих на рынке устройств и данной разработки**

Характеристика	Автоматизированный измеритель мощности на базе ваттметра МЗ-51	Ваттметр МЗ-108	Agilent 2000U
Диапазон рабочих частот	от 0 до 17,85 ГГц	от 0 до 17,85 ГГц	от 10 МГц до 18,00 ГГц
Пределы измерения мощности	от 0,1 мкВт до 20 Вт <sup>1</sup>	от 0,1 мкВт до 100 Вт	от -60 дБм до +20дБм (от 1 нВт до 100 мВт)
Основная погрешность	4 – 6 %	4 – 6 %	4%
КСВН ваттметра в диапазоне частот 0,02 – 12,0 ГГц	не более 1,4	не более 1,3	не более 1,2
Возможность работы с ПК	Да	Да	Да
Ориентировочная стоимость <sup>2</sup>	133888 руб.	520000,00 руб.	191000,00 руб.

<sup>1</sup> При использовании в качестве базовых устройств ваттметров МЗ-51, МЗ-54, МЗ-56.

<sup>2</sup> Ориентировочные стоимости приведены согласно источникам [4 – 8] в 2014 г.

статочной точностью (погрешность измерений не более 6 %). Во всех устройствах предусмотрена возможность работы с выводом данных в персональный компьютер. Ограничения по уровню входного сигнала компенсируются применением эталонных аттенуаторов, ослабление которых заранее известно. (Актуально для устройства Agilent 2000U с пределом измерений до 100 мВт.) Устройство МЗ-108 обладает максимальным диапазоном по мощности, однако, стоимость его самая большая среди представленных для сравнения ваттметров.

Предложенная разработка автоматизированного измерителя мощности имеет минимальную стоимость среди сравниваемых образцов, при аналогичных функциональных возможностях.

### Выводы

Разработанный измеритель может применяться имеет в автономных и комплексных испытаниях аппаратуры КА для проверки выходных усилителей мощности. Основные преимущества – доступность составных компонентов, графическое отображение измерений, работа в реальном времени, сохранение результатов в виде таблиц и графиков,

возможность непрерывного долгосрочного контроля выходной мощности (более 16 ч).

### Литература

1. Кушнир Ф. В. Электрорадиоизмерения / Ф. В. Кушнир. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1983.
2. Ваттметр поглощаемой мощности МЗ-51 техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1.401.034 ТО.
3. FLUKE 8808A Digital multimeter. Руководство пользователя.
4. Ваттметр поглощаемой мощности МЗ-108: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://epribors.ru/M3108\\_Vattmetr\\_pogloshhaemoj\\_moshhnosti.html](http://epribors.ru/M3108_Vattmetr_pogloshhaemoj_moshhnosti.html).
5. Tetron. Центральная база измерительного оборудования: U200H USB-измеритель мощности: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tetr.ru/c.php?id=106835>.
6. Agilent U2000 Series USB Power Sensors Operating and Service Guide: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/U2000-90405.pdf>.
7. Tetron Центральная база измерительного оборудования: Измеритель мощности МЗ-51: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tetr.ru/c.php?id=697>.
8. ЗАО «Вива-Телеком» Fluke 8808A Описание и цена: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://viva-telecom.org/8038/fluke/8808a/>.

Поступила в редакцию 4.12.2014

*Игорь Сергеевич Лавриненков, инженер,  
т. (915) 245-22-52, (495) 623-32-00, (495) 625-83-07,  
e-mail: Lis-soft@rambler.ru.*

*Евгений Валерьевич Маньков, инженер,  
т. (926) 517-93-39, (495) 623-32-00, 8-495-625-83-07,  
e-mail: e.mankov@bk.ru.  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

## AUTOMATICALLY CONTROLLED POWER METER for TESTING of SATELLITE AVIONICS

**I.S. Lavrinenkov, E.V. Mankov**

*During integrated and component testing of Satellite hardware, stability of output signal level in transmission systems shall be evaluated for detection of potential deviations from permitted values. Design of an automatically controlled power meter for permanent monitoring of output signal level of the end amplifiers of Satellite transmission devices is considered in the article. The home-produced wattmeter M3-51 is offered as a basis for design of sensing system. Block-diagram, detailed description, tolerances and measuring methods, using automatically controlled power meter, are presented. Also comparative characteristics for devices currently existing in the market are given, as well as their engineering and economic figures are compared with those of the given solution. The main advantage of this solution is highlighted, i.e. measurement automation enabling data storage in electronic form.*

**Key words:** power measurement, wattmeter, radio transmitting equipment, matching of measurement systems, visualization of measurements.

### List of References

1. Kushnir F. V. Electro-radio measurements. – Leningrad: Energoatomizdat Publ., Leningrad office, 1983.
2. Terminating power meter M3-51: Technical description and operating manual 1.401.034 TO.
3. FLUKE 8808A Digital multimeter: User manual.
4. Terminating power meter M3-108: Available at: [http://epribors.ru/M3108\\_Vattmetr\\_pogloshhaemoj\\_moshhnosti.html](http://epribors.ru/M3108_Vattmetr_pogloshhaemoj_moshhnosti.html).
5. Tetron. Main center for calibration of measuring instrumentation: U200H USB-power meter: Available at: <http://www.tetr.ru/c.php?id=106835>.
6. Agilent U2000 Series USB Power sensors operating and service Guide: Available at: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/U2000-90405.pdf>.
7. Tetron, Main center for Measuring Instrumentation: Power Meter M3-51: Available at: <http://www.tetr.ru/c.php?id=697>.
8. CJSC Viva-Telecom, Fluke 8808A, description and price: Available at: <http://viva-telecom.org/8038/fluke/8808a/>.

**Igor Sergeevich Lavrinenkov,**

*Engineer.*

*Tel.: (915)245 22 52, (495)623 32 00, (495)625 83 07,*

*e-mail: Lis-soft@rambler.ru.*

**Evgeny Valeryevich Mankov,**

*Engineer.*

*Tel.: (926)517 93 39, (495)623 32 00, (495)625 83 07,*

*e-mail: e.mankov@bk.ru*

*(‘VNIEM Corporation’ JC).*