



ИЗМЕРИТЕЛИ СРЕДНЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ ЭТАЛОНОВ И СИСТЕМ ПОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ ВОСП

В. Н. Гаврилов, Ю. М. Грязнов, к. ф. - м. н.,
А. В. Махалов, П. Д. Моисеев, к. т. н., А. А. Частов,
к. ф. - м. н., АО "ННПО им. М. В. Фрунзе", Нижний
Новгород, www.nzif.ru

Функциональность многих образцов вооружений и специальной техники связана с высокими объемами передаваемых данных на базе преобразователей оптических сигналов. Для обеспечения их точности используются автоматизированные измерительные системы со встроенными модулями калибровки измерителей оптической мощности. Предложен измеритель оптической мощности на базе преобразования энергии оптического излучения в электрический сигнал. Для снижения погрешности измерений средней оптической мощности в приборе реализован алгоритмический метод коррекции погрешности измерений. Описаны основы его метрологического обеспечения. Рабочий диапазон длин волн 0,8–1,7 мкм, диапазон измеряемых значений средней мощности 10^{-12} – 10^{-1} Вт, основная относительная погрешность измерений $\pm 2\%$.

Большинство измерений параметров волоконно-оптических узлов и модулей связано с измерением средней оптической мощности. Использование измерителей мощности в составе автоматизированных рабочих эталонов и средств контроля параметров компонентов волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) накладывает обязательность выполнения требований стабильности высоких метрологических характеристик и наличия внешних интерфейсов (стандартных информационных магистралей, позволяющих управлять приборами с помощью ПЭВМ). Выделим два основных принципа, лежащих в основе измерения оптической мощности:

- принцип преобразования энергии оптического излучения в тепловую энергию,

MEDIUM OPTICAL POWER METERS FOR AUTOMATED OPERATING STANDARDS AND OFTS PARAMETERS VERIFICATION SYSTEMS

V. N. Gavrilov, Yu. M. Gryaznov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, A. V. Makhalov, P. D. Moiseev, Candidate of Technical Sciences, A. A. Castov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, JSC "M. V. Frunze Scientific and Production Association", Nizhny Novgorod, www.nzif.ru

The functionality of many types of weapons and special equipment is associated with high volumes of transmitted data based on optical signal converters. To ensure their accuracy, automated measuring systems are used with the integrated calibration modules for optical power meters. An optical power meter based on the conversion of optical radiation energy into an electrical signal is proposed. To reduce the measurement error of the average optical power, the device implements an algorithmic method for correcting measurement error. The basics of its metrological support are described. The wavelength of optical radiation is 0.8–1.7 μm , the range of measured values of average power is 10^{-12} – 10^{-1} W, the main relative measurement error is $\pm 2\%$.

Most measurements of parameters of optic fiber nodes and modules are associated with the measurement of the average optical power. The use of power meters as part of automated operating standards and means of monitoring the parameters of optic fiber transmission system (OFTS) components imposes the obligation to meet the requirements of stability of high metrological characteristics and the availability of external interfaces (standard information highways that allow control of devices using a PC)

We distinguish two main principles underlying the measurement of optical power:

- the principle of converting the energy of optical radiation into thermal energy, and then thermal energy into electrical voltage or current;
- the principle of photoelectric energy conversion of optical radiation directly into an electrical signal.



а затем тепловую энергию в электрическое напряжение или ток;

- принцип фотоэлектрического преобразования энергии оптического излучения непосредственно в электрический сигнал.

Согласно этим принципам, измерители оптической мощности делят на калориметрические ваттметры, основанные на методах измерения повышения температуры (вызванного исследуемым оптическим излучением) и ваттметры, основанные на методах измерения фототока, обусловленного наличием фотонов оптического излучения. В приборах второго типа используют фотоэлементы (фотодиоды, фоторезисторы, фотоумножители).

Калориметрические ваттметры могут работать в широком диапазоне длин волн (от УФ до ИК- и СВЧ-диапазона). Они имеют большую инерционность (в зависимости от конструкции поглотителя) – десятки секунд и чувствительность порядка единиц мкВт при погрешности измерения не хуже $\pm(0,1-2)\%$.

Калориметрические преобразователи оптической мощности используют чаще при решении задач метрологического обеспечения ВОСП в составе Государственных и рабочих эталонов единиц средней мощности оптического излучения. Конструкция оборудования, включающего эти измерители, обладает высокой сложностью, а степень автоматизации такого поверочного процесса – низкая.

В настоящее время наиболее распространенными средствами измерения средней оптической мощности стали ваттметры с фотоэлектрическим преобразованием энергии оптического излучения на основе фотодиодов. Их основные достоинства – высокая чувствительность ($10^{-12}-10^{-14}$ Вт), небольшая инерционность, простота использования [1, 2].

Первые образцы оптических ваттметров, позволяющие автоматизировать процесс измерения оптической мощности, появились за рубежом в середине 70-х годов. В состав этих приборов входил интерфейс магистрального типа GP-IB, созданный на основе стандарта IEEE-488 (соответствующего международному стандарту МЭК 625.1 и отечественному аналогу – ГОСТ 26.003-80). Например, в Японии фирма Ando рекламировала ваттметр AQ-1111 с фотодиодными преобразователями (диапазон длин волн 0,6-1,1 мкм и 1,0-1,7 мкм; диапазон измеряемых значений средней мощности

According to these principles, optical power meters are divided into calorimetric wattmeters based on methods for measuring temperature rise (caused by the optical radiation under study) and wattmeters based on methods for measuring photocurrent caused by the presence of photons of optical radiation. The photo cells (photodiodes, photoresistors, photomultipliers) are used in the devices of the second type.

Calorimetric wattmeters can operate in a wide range of wavelengths (from UV to IR and microwave ranges). They have a large inertia (depending on the design of the absorber) – tens of seconds and a sensitivity of the order of a few μW with a measurement error no worse than $\pm(0.1-2)\%$.

Calorimetric optical power converters are used more often when solving problems of the metrological support of OFTS as part of the State and operating standards of units of average optical radiation power. The design of the equipment including these meters is highly complex, and the degree of automation of such a verification process is low.

Currently, the means of measuring the average optical power of steel wattmeters with photoelectric conversion of the energy of optical radiation based on photodiodes are the most common ones. Their main advantages are high sensitivity ($10^{-12}-10^{-14}$ W), small inertia, ease of use [1, 2].

The first samples of optical wattmeters to automate the process of measuring optical power, appeared abroad in the mid-70s. The structure of these devices included the GP-IB trunk interface, created based on IEEE-488 standard (corresponding to the international standard IEC625.1 and its domestic equivalent – GOST 26.003-80). For example, in Japan, Ando has advertised the AQ-1111 wattmeter with photodiode converters (the wavelength range is 0.6-1.1 μm and 1.0-1.7 μm ; the range of measured values of the average power is $10^{-9}-10^{-2}$ W with basic relative measurement error $\pm 5\%$), as well as the AQ-1112 wattmeter with a calorimetric converter, (wavelength range 0.6-1.7 μm ; dynamic range $10^{-5}-10^{-2}$ W with basic relative measurement error $\pm 3\%$). Photodiode wattmeters with similar characteristics were also manufactured by Anritsu (Japan) ML93A (wavelength range 0.38-1.15 μm and 0.75-1.8 μm) and by Hewlett Packard (USA) HP8140A (wavelength range 0.4-1.11 μm).

Currently, there are quite a lot of optical power meters from different companies on the market of instrumentation. Basically, these are photodiode



10^{-9} – 10^{-2} Вт с основной относительной погрешностью измерений $\pm 5\%$), а также ваттметр AQ-1112 с калориметрическим преобразователем, (диапазон длин волн 0,6–1,7 мкм; динамический диапазон 10^{-5} – 10^{-2} Вт с основной относительной погрешностью измерений $\pm 3\%$). Фотодиодные ваттметры с аналогичными характеристиками выпускались также фирмой Anritsu (Япония) ML93A (диапазон длин волн 0,38–1,15 мкм и 0,75–1,8 мкм) и фирмой Hewlett Packard (США) HP8140A (диапазон длин волн 0,4–1,11 мкм).

В настоящее время на рынке контрольно-измерительных средств представлено достаточно много измерителей оптической мощности разных фирм. В основном, это фотодиодные портативные ваттметры, имеющие стандартные внешние интерфейсы.

К таким приборам можно отнести измерители оптической мощности фирм: Agilent Technologies (США) N7745A; EXFO (Канада) EPM 50; Fiber Instrument Sales (США) OV-PM, OV2; Fluke Network (США) Multi Fiber Pro; Hioki E. E. (Япония) 3664 и др. [3–5] Технические характеристики ваттметров позволяют использовать их в широком спектральном диапазоне 0,4–1,7 мкм (перекрывается одним или несколькими фотодиодными преобразователями).

Динамический диапазон приборов 60–70 дБ, погрешность измерения $\pm 5\%$ на длине волны калибровки. Отличие приборов, в основном, состоит в их габаритах, функциях и наличии внешних интерфейсов (RS232, USB, GP-IB, Ethernet).

В СССР в конце 70-х годов в ГНИПИ (г. Горький) был разработан калориметрический ваттметр МЗ-49 (диапазон длин волн 0,4–11 мкм, динамический диапазон 10^{-4} – 10^{-2} Вт с основной относительной погрешностью измерений $\pm 3\%$). Прибор не имел полноценного внешнего интерфейса, но имел выход на алфавитно-цифровое печатающее устройство, позволяющий включать его в состав автоматизированных измерительных систем (АИС) и использовать для снятия результатов измерения, без реализации функций дистанционного управления.

В середине 80-х годов был разработан первый серийно выпускаемый измеритель оптической мощности ОМКЗ-79 с интерфейсом КОП (ГОСТ 26.003–80). Ваттметр позволял измерять среднюю оптическую мощность, а также определять длину волны излучения в спектральном диапазоне 0,6–1,6 мкм. Диапазон измерения средней мощности 10^{-8} – 10^{-2} Вт, погрешность измерения оптической мощности 7% на длинах волн 0,85 мкм, 1,3 мкм,

portable wattmeters with standard external interfaces.

Such devices include optical power meters manufactured by: Agilent Technologies (USA) N7745A; EXFO (Canada) EPM 50; Fiber Instrument Sales (USA) OV-PM, OV2; Fluke network (USA) Multi Fiber Pro; E. Hioki (Japan) 3664, etc. [3–5] The technical characteristics of wattmeters allow their use in wide spectral range of 0.4–1.7 μm (overlapped by one or more photodiode converters).

The dynamic range of instruments is 60–70 dB, the measurement error is $\pm 5\%$ at the calibration wavelength. The difference between devices mainly consists in their dimensions, functions and availability of external interfaces (RS232, USB, GP-IB, Ethernet).

In the USSR, in the late 70s, a calorimetric wattmeter M3-49 (with a wavelength range of 0.4–11 μm , dynamic range 10^{-4} – 10^{-2} W with a basic relative error of measurement $\pm 3\%$). The device did not have a full-fledged external interface, but had access to an alphanumeric printing device that allows it to be included in automated measuring systems (AMS) and used to take measurements, without implementing remote control functions.

In the mid-80s, the first commercially available optical power meter ОМКЗ-79 with a COP interface (ГОСТ 26.003–80) was developed. A wattmeter made it possible to measure the average optical power, as well as determine the radiation wavelength in the spectral range of 0.6–1.6 μm . The measurement range of the average power is 10^{-8} – 10^{-2} W, the measurement error of the optical power is 7% at wavelengths of 0.85 μm , 1.3 μm , 1.5 μm and 10% in the working spectral range. The error in measuring the wavelength of radiation is 2%. The integrated microprocessor fully provided the necessary interface functions, which made it easy to use the wattmeter as part of various AMSs.

A number of average optical power meters with high technical characteristics, designed to operate as part of automated operating standards [6, 7], has been created at Nizhny Novgorod Research Instrument Engineering Institute "Quartz". One of them is an ОМЗ-109 optic fiber wattmeter. Structurally, the wattmeter is made in the form of a base unit in which power sources are located, a display device with a control panel and two seats for replaceable transducer units operating in the spectral ranges of 0.8–1.1 μm and 1.0–1.65 μm , respectively. The structural scheme of the optic fiber wattmeter is shown in fig. 1.

At the inputs of the converters there are optic fiber connectors that allow you to connect both



1,5 мкм и 10% в рабочем спектральном диапазоне. Погрешность измерения длины волны излучения 2%. Встроенный микропроцессор полностью обеспечивал необходимые интерфейсные функции, что позволяло легко использовать ваттметр в составе различных АИС.

Во ННИПИ "Кварц" создан ряд измерителей средней оптической мощности с высокими техническими характеристиками, предназначенных для работы в составе автоматизированных рабочих эталонов [6, 7]. Одним из них является волоконно-оптический ваттметр ОМЗ-109. Конструктивно ваттметр выполнен в виде базового блока, в котором расположены источники питания, устройство индикации с панелью управления и два посадочных места для сменных блоков преобразователей, работающих в спектральных диапазонах 0,8-1,1 мкм и 1,0-1,65 мкм соответственно. Структурная схема ваттметра волоконно-оптического изображена на рис. 1.

На входах преобразователей стоят волоконно-оптические разъемы, позволяющие подключать как многомодовые, так и одномодовые оптические кабели. Микролинзы, расположены в разъемах, они формируют параллельный пучок излучения, необходимый для работы различных оптических узлов сменного блока: дисперсионных элементов и аттенюаторов.

Установка дисперсионного элемента в оптический тракт прибора служит для точного определения длины волны входного излучения и снижения погрешности измерений мощности. Функциональная зависимость спектральной характеристики поглощения падающего излучения дисперсионного элемента носит монотонный характер и имеет большую крутизну в пределах рабочего диапазона длин волн ваттметра.

Введение в оптический тракт аттенюатора расширяет диапазон линейности фотоприемника до 100 мВт. В состав аттенюатора входит заслонка, перекрывающая оптический канал (в режиме "Установка нуля"). Управление электромагнитными приводами дисперсионного элемента, дискретных ослабителей аттенюатора и заслонки осуществляет контроллер дискретных ослабителей.

В качестве фотоприемника в ваттметре используется фотодиод на основе InGaAs-структуры. Ток фотоприемника преобразуется в напряжение, которое подается на вход программируемого усилителя. Программируемый усилитель позволяет изменять коэффициент передачи в соответствии с уровнем подаваемой мощности оптического

multi-mode and single-mode optical cables. Microlenses, located in the connectors, form a parallel beam of radiation necessary for the operation of various optical nodes of the plug-in unit: dispersive elements and attenuators.

The installation of the dispersion element in the optical path of the device serves to accurately determine the wavelength of the input radiation and reduce measurement errors. The functional dependence of the spectral absorption characteristic of the incident radiation of the dispersive element is monotonic and has a large slope within the working range of the wavelength of the wattmeter.

The introduction to the optical path of the attenuator extends the range of linearity of the photodetector to 100 mW. The attenuator includes a flap that closes the optical channel (in the "Zero setting" mode). Control of the electromagnetic drives of the dispersion element, discrete attenuators, attenuator and damper is performed by the controller of discrete dampers.

A photodiode (a photodiode based on InGaAs structures) is used as a photodetector in the wattmeter. The photodetector current is converted to a voltage that is fed to the input of a programmable amplifier. A programmable amplifier allows you to change the transmission coefficient in accordance with the level of the optical signal power supplied. The amplifier also includes a unit of calibration resistors, which is used to achieve an exact voltage value proportional to the optical signal. In the ADC, the voltage is converted into a binary code and transmitted via the in-device serial synchronous SPI interface to the base unit. The plug-in unit includes an identification EEPROM, which stores correction factors and calibration characteristics of optical and electrical path nodes.

The control of replaceable units of converters is carried out by micro-controller software and hardware built into the base unit. Information exchange between the units is made via communication channels. Standard synchronous I²C and SPI interfaces with a serial data transmission format are used as such channels.

There are factors that limit the accuracy of measurements of photodiode wattmeters: the nonlinearity of the photodetector conversion function; non-uniformity of attenuation function of the attenuator in the spectral range; transmission coefficient error. The last factor is caused by the inaccuracy of the installation of the calibration resistors of the programmable amplifier. To reduce the measurement error of the average optical power,

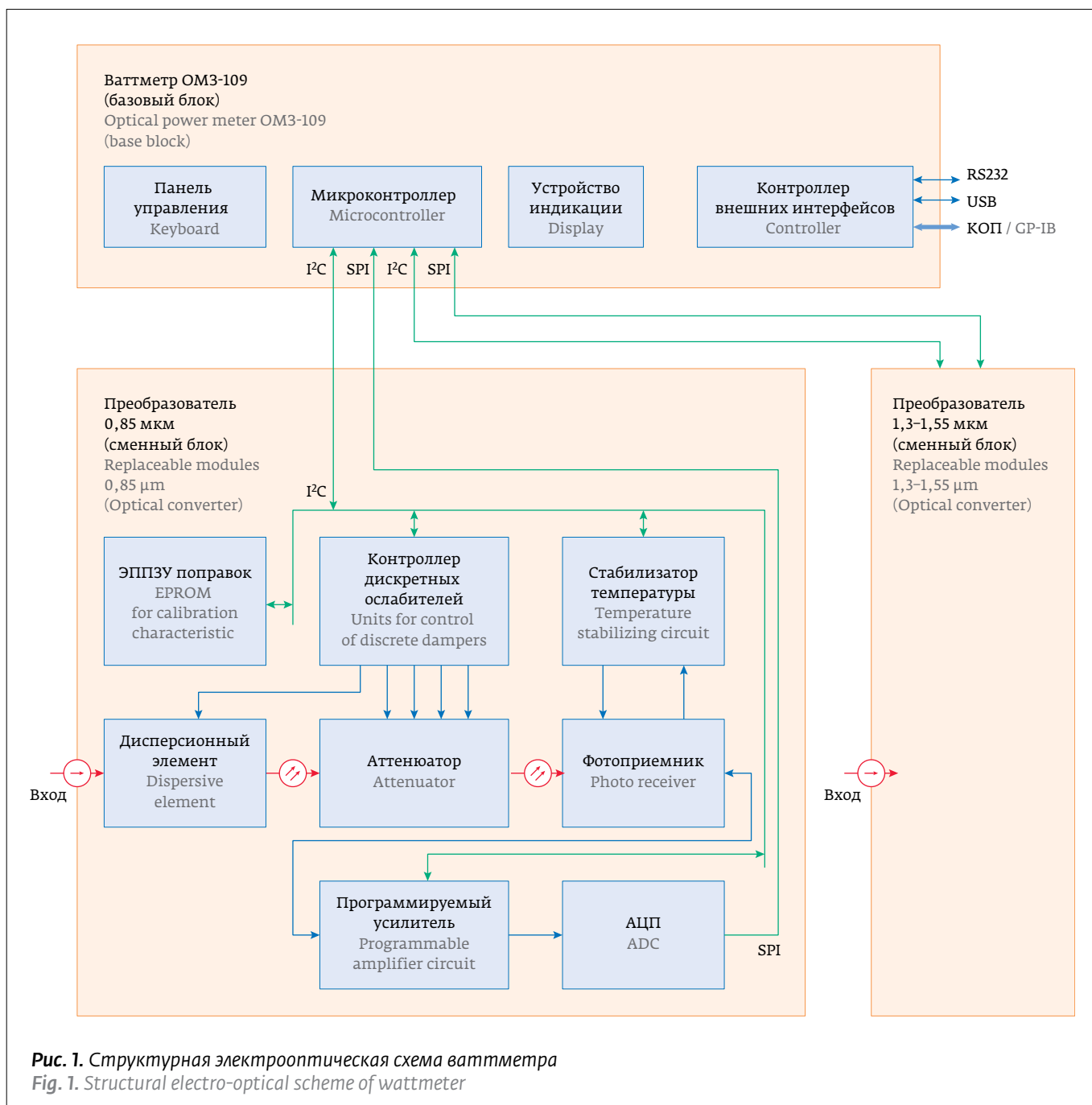


Рис. 1. Структурная электрооптическая схема ваттметра
Fig. 1. Structural electro-optical scheme of wattmeter

сигнала. В состав усилителя также входит блок калибровочных резисторов, с помощью которых достигается точное значение напряжения, пропорциональное оптическому сигналу. В АЦП напряжение преобразуется в двоичный код и по внутрприборному последовательному синхронному интерфейсу SPI передается в базовый блок. В состав сменного блока входит ЭППЗУ идентификации, в котором хранятся поправочные коэффициенты и градуировочные характеристики узлов оптического и электрического трактов.

the device implements an algorithmic method for correcting measurement error. It consists in the experimental determination of the calibration characteristics of the components of the optical and electrical paths of the instrument using exemplary measuring instruments.

Characteristic values at the calibration points (corresponding to a series of wavelengths in a given spectral range) in the form of arrays of nodes of approximation are recorded in the EEPROM of the replacement units. During measurements in the

Управление сменными блоками преобразователей осуществляется встроенными в базовый блок программно-аппаратными средствами на основе микроконтроллера. Информационный обмен между блоками производится по каналам связи. В качестве таких каналов используются стандартные синхронные интерфейсы I²C и SPI с последовательным форматом передачи данных.

Существуют факторы, ограничивающие точность измерений фотодиодных ваттметров: нелинейность функции преобразования фотоприемника; неравномерность функции ослабления аттенюатора в спектральном диапазоне; погрешность коэффициентов передачи. Последний фактор вызван неточностью установки калибровочных резисторов программируемого усилителя. Для снижения погрешности измерений средней оптической мощности в приборе реализован алгоритмический метод коррекции погрешности измерений. Он заключается в экспериментальном определении градуировочных характеристик компонентов оптического и электрического трактов прибора с помощью образцовых средств измерений.

Значения характеристик в точках калибровки (соответствующих ряду длин волн в заданном спектральном диапазоне) в виде массивов узлов аппроксимации записываются в ЭППЗУ сменных блоков. Во время измерений в автоматическом режиме микроконтроллером выполняется алгоритм панорамного обзора и поиска элементов массивов (узлов аппроксимации), необходимых для определения точного значения измеряемой мощности. Значения градуировочных характеристик между точками калибровки вычисляются методом кусочно-линейной аппроксимации. На основе полученных значений градуировочных функций рассчитываются поправочные коэффициенты для преобразования результатов измерения к окончательному виду.

Применение подобного решения в измерителе средней оптической мощности OM3-109 (рис. 2) позволило снизить уровень погрешности измерения до $\pm 2\%$ (на фиксированных длинах волн) и до $\pm 3,5\%$ в рабочем спектральном диапазоне 0,8–1,7 мкм. Диапазон измерения средней оптической мощности 10^{-12} – 10^{-1} Вт (обеспечивается двумя сменными блоками: 10^{-9} – 10^{-1} и 10^{-12} – 10^{-6} Вт).

Наличие трех внешних стандартных интерфейсов (RS232, USB, КОП) позволяет эффек-

automatic mode, the microcontroller performs an algorithm for panoramic viewing and searching for the elements of the arrays (approximation nodes) necessary to determine the exact value of the measured power. The values of the calibration characteristics between calibration points are calculated by the piecewise linear approximation method. Based on the obtained values of the calibration functions, correction factors are calculated to convert the measurement results to the final form.

The application of such a solution in the OM3-109 average optical power meter (Fig. 2) allowed us to reduce the measurement error to $\pm 2\%$ (at fixed wavelengths) and to $\pm 3.5\%$ in the operating spectral range of 0.8–1.7 microns. The measurement range of the average optical power is 10^{-12} – 10^{-1} W (provided by two replacement units: 10^{-9} – 10^{-1} and 10^{-12} – 10^{-6} W).

The availability of three external standard interfaces (RS232, USB, COP) allows for the efficient use of the measuring device in modern AMS as well as in previously developed measuring systems.

To expand the possibilities of using the wattmeter and reduce its cost, a version of the device was developed (Fig. 3) with integrated optical converters in the Propac PRO package by Schroff GmbH (Germany).

The device has the following technical characteristics: the range of measured values of the average power is 10^{-9} – 10^{-1} W, the working spectral range is 0.8–1.7 μm , the main relative error of measurement of the average power is $\pm 5\%$.

The devices considered above are aggregated in AMS by an instrument and module principle. According to this principle, the basis for combining software-controlled devices (modules), each of



Рис. 2. Измеритель средней оптической мощности OM3-109

Fig. 2. OM3-109 average optical power meter

тивно использовать измерительный прибор как в составе современных АИС, так и в ранее разработанных измерительных системах.

Для расширения возможностей применения ваттметра и снижения его стоимости был разработан вариант прибора (рис. 3) с встроенными оптическими преобразователями в корпусе Pporac PRO фирмы Schroff GmbH (ФРГ).

Прибор имеет следующие технические характеристики: диапазон измеряемых значений средней мощности 10^{-9} – 10^{-1} Вт, рабочий спектральный диапазон 0,8–1,7 мкм, основная относительная погрешность измерения средней мощности $\pm 5\%$.

Рассмотренные выше приборы агрегируются в АИС по приборно-модульному принципу. Согласно этому принципу основой объединения программно-управляемых приборов (модулей), каждый из которых может функционировать и автономно, и в составе АИС, является наличие стандартного интерфейса. Интерфейс представляет собой совокупность электрических, конструктивных и программных средств для соединения управляющего компьютера с измерительными приборами, необходимыми для контроля и исследования параметров объекта измерения. При этом каждый из приборов, входящий в состав АИС, содержит встроенный интерфейсный модуль, с помощью которого он может подсоединяться к стандартной магистрали.

Развитие современных компактных и мобильных АИС с высокими объемами передаваемых данных, используемых, в частности, при разработке и эксплуатации образцов вооружений и специальной техники как у нас в стране, так и за рубежом, привело к созданию нового класса измерительных средств – модульной контрольно-испытательной аппаратуры (МКИА). Подобные АИС основаны на блочно-модульном принципе построения. Входящие в их состав модули не могут работать независимо, вне системной магистрали, основанной, как правило, на базе системных компьютерных шин. Системная магистраль обслуживается встроенным в модульную платформу (крейт) компьютером с панелью управления и дисплеем или внешним компьютером через контроллер магистрали. К таким магистральным интерфейсам можно отнести VME/VXI, ISA/PC104, PCI/PXI и ряд других.

Измерительные модульные платформы для измерения параметров волоконно-опти-



Рис. 3. Измеритель мощности волоконно-оптический
Fig. 3. Optic fiber power meter

which can operate both autonomously and as part of the AMS, is the presence of a standard interface. An interface is a combination of electrical, structural, and software tools for connecting a control computer with measuring instruments necessary for monitoring and studying the parameters of a measurement object. Moreover, each of the devices included in the AMS contains an integrated interface module used for connection to a standard trunk.

The development of modern compact and mobile AMS with high volumes of transmitted data used, in particular, in the development and operation of weapons and special equipment both in our country and abroad led to the creation of a new class of measuring instruments: modular test and monitoring equipment (MTME). Similar AMS are based on the unit and modular principle of construction. The contained modules cannot operate independently, outside the system trunk, based, as a rule, on the system computer buses. The system trunk is maintained by a computer built into the modular platform (crate) with a control panel and display or by an external computer through the trunk controller. These trunk interfaces include VME/VXI, ISA/PC104, PCI/PXI, and some others.

Measuring modular platforms for measuring parameters of optic fiber nodes and, therefore, modules for measuring the average optical power are manufactured by: Ando (Japan) AQ8201-22; Agilent Technologies (USA) modular platform 8163/64/66, modules 8163x A/B and 8162x A/B;

ческих узлов и соответственно модули для измерения средней оптической мощности выпускают фирмы: Ando (Япония) AQ8201-22; Agilent Technologies (США) модульная платформа 8163/64/66, модули 8163х А/В и 8162х А/В; Yokogawa (Япония) модульная платформа AQ7280, модули измерителей мощности AQ2780/81; EXFO (Канада) модульная платформа IOS605P, модуль IOS1500, Wandel&Colterman (ФРГ) OMS-150/200, модули ваттметров OLP-110/130/150 и др [1, 3-5].

Технические характеристики измерительных модулей соответствуют характеристикам измерителей средней мощности, приведенных выше, но часто модули работают в более узких спектральных и динамических диапазонах.

В НИИПИ "Кварц" был разработан комплект модулей для решения измерительных задач волоконно-оптической техники на длине волны 1,3 мкм. В состав этих модулей входит ваттметр волоконно-оптический VM1002.

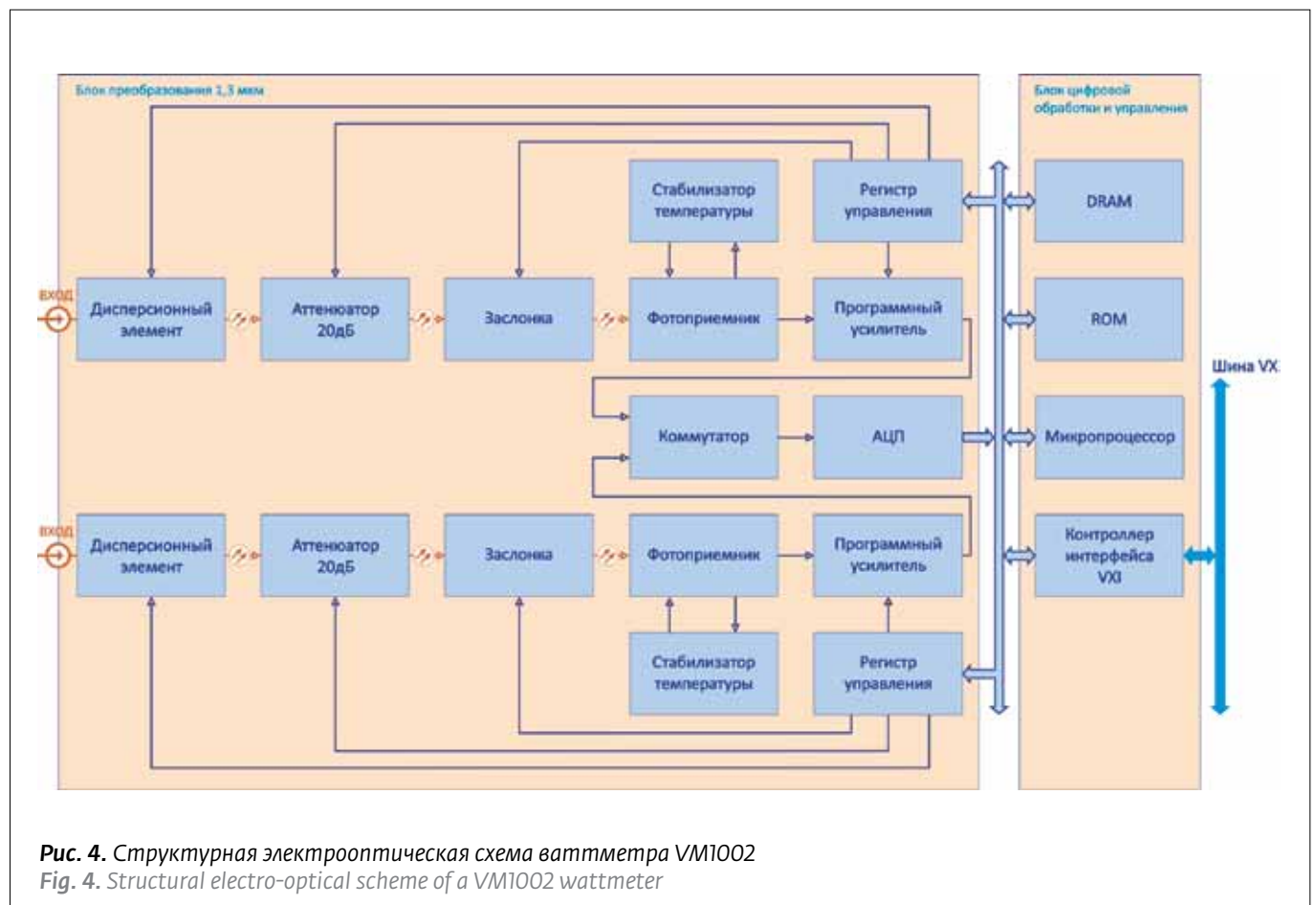
Прибор построен по двухканальной схеме, что позволяет помимо измерения мощности

Yokogawa (Japan) modular platform AQ7280, modules of power meters AQ2780/81; EXFO (Canada) IOS605P modular platform, IOS1500 module, Wandel & Colterman (FRG) OMS-150/200, wattmeter modules OLP-110/130/150, etc. [1, 3-5].

The technical characteristics of the measuring modules correspond to the characteristics of the average meters power above, but, often, the modules operate in narrower spectral and dynamic ranges.

A set of modules for solving measurement problems of optic fiber equipment at a wavelength of 1.3 microns was developed at Nizhny Novgorod Research Instrument Engineering Institute "Quartz". The structure of these modules includes a wattmeter optic fiber VM1002.

The device is built on a two-channel system, which allows, in addition to measuring power, continuously and without switching, measure the attenuation of optical radiation in optic fiber nodes and elements. The first channel measures the radiation power fed to the input of the object



непрерывно и без коммутации измерять ослабление оптического излучения в волоконно-оптических узлах и элементах. По первому каналу измеряется мощность излучения, поступающая на вход измеряемого объекта, по второму – мощность излучения с выхода этого объекта. Структурная схема ваттметра изображена на рис. 4.

В блок преобразования прибора входят оптические узлы аналогичные тем, что используются в ваттметре ОМЗ-109. Атенюатор состоит из одного дискретного ослабителя 20 дБ и изготовлен путем вакуумного напыления слоя металла на стеклянную подложку, дисперсионный фильтр – вакуумным напылением многослойного интерференционного покрытия. Свободные от поглощающих и диспергирующих покрытий поверхности аттенюатора и фильтра, а также поверхности микролинз просветляются в рабочем диапазоне длин волн для уменьшения френелевских потерь.

Блок цифровой обработки измерительной информации осуществляет управление оптоэлектронными узлами прибора и взаимодействие с шиной VXI. Примененные в модульном ваттметре технологии позволяют легко создавать АИС любой сложности, обеспечивая при этом простой и понятный интерфейс для пользователя, баланс по электромагнитной совместимости и по питанию.

К прибору VM1002 (рис. 5) разработана видеопанель (виртуальная панель) интерактивного управления прибором в среде Windows2000/XP/7 и драйвер, являющийся связующим звеном между прибором и пользовательским приложением. Виртуальная панель позволяет пользователю воспользоваться функциями драйвера без разработки собственного программного обеспечения для управления модулем. Она реализована в среде Visual C в виде автономного исполняемого приложения.

Прибор имеет следующие технические характеристики: длина волны измеряемой мощности оптического излучения $1,3 \pm 0,05$ мкм, диапазон измеряемых значений средней мощности 10^{-11} – 10^{-1} Вт, основная относительная погрешность измерения средней мощности $\pm 5\%$, тип оптического волокна – одномодовый. Разработанные измерители средней оптической мощности применяются в составе автоматизированных рабочих эталонов (ОК6-13 и РЭСМ-КВАРЦ) единиц средней мощности и ослабления оптического излучения в ВОСП.



Рис. 5. Ваттметр волоконно-оптический VM1002
Fig. 5. Optic fiber wattmeter VM1002

being measured, the second channel measures the radiation power from the output of this object. The structural scheme of the wattmeter is shown in fig. 4.

The device's conversion unit includes optical nodes similar to those used in the OM3-109 wattmeter. The attenuator consists of one discrete damper 20 dB and is manufactured by vacuum spraying a metal layer on a glass substrate; the dispersion filter is a vacuum-sprayed multilayer interference coating. The attenuator and filter surfaces free of absorbing and dispersing coatings, as well as the microlens surfaces, are cleared in the operating wavelength range to reduce Fresnel losses.

The digital processing unit for measuring information controls the optoelectronic components of the device and interacts with the VXI bus. The



ЛИТЕРАТУРА

1. Optical Power Meter Guide. URL: <http://www.newport.com/g/optical-power-meters>.
2. Key considerations in choosing an optical power meter. URL: <https://community.keysight.com/community/keysight-blogs/internet-infrastructure/blog/2017/02/24/how-to-choose-the-right-optical-power-meter-for-850-nm-signals>.
3. Electronic measuring instruments. Catalog Ando Electric Co. 1981 / 1982.
4. Wavetek Wandel & Goltermann. Complete Catalog; 1999.
5. Agilent Technologies Lightwave Catalog. 2013;1:2. URL: <http://pdf.directindustry.com/pdf/keysight-technologies/lightwave-catalog-volume-i-2013/8981-310889.html>
6. **Гаврилов В. Н., Грязнов Ю. М. и др.** Автоматизированная система для поверки средств измерения параметров ВОСП. Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2011; 1-2: 115-120.
Gavrilov V. N., Gryaznov Yu. M. et al. Automated system for calibration of measuring instruments of parameters of OFTS. Systems and means of communication, television and broadcasting, 2011; 1-2: 115-120.
7. **Гаврилов В. Н., Грязнов Ю. М. и др.** Комплект волоконно-оптических измерительных модулей для автоматизированной магистрально-модульной системы на базе шины VXI. Антенны. 2004; 7(86): 23-30.
Gavrilov V. N., Gryaznov Yu. M. et al. A set of optic fiber measurement modules for an automated trunk-modular system based on the VXI bus. Antennas. 2004; 7 (86): 23-30.

technologies used in the modular power meter make it easy to create AMS of any complexity, while providing a simple and user-friendly interface, a balance of electromagnetic compatibility and power supply.

The VM1002 device (Fig. 5) has a developed video panel (virtual panel) for interactive control of the device in the Windows2000/XP/7 environment and a driver, which is the link between the device and the user application. The virtual panel allows the users to use the driver functions without developing their own software to control the module. It is implemented in the Visual C environment as a standalone executable application.

The device has the following technical characteristics: the wavelength of the measured optical radiation power is $1.3 \pm 0.05 \mu\text{m}$, the range of measured values of the average power is 10^{-11} – 10^{-1} W, the main relative error of measurement of the average power is $\pm 5\%$, the type of optic fiber is single-mode fiber. The developed meters of average optical power are used as part of automated operating standards (OK6-13 and RESM-QUARTZ) of units of average power and attenuation of optical radiation in OFTS.