

ВОЛЬТАМПЕРФАЗОМЕТР ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ НАЛАДКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СХЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

И.В. Буравцов, Г.И. Волович***

**г. Челябинск, ООО «Челябэнергоприбор»,*

***г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет*

VOLTAMPEREMETER AND PHASE METER OF EXTENDED PRECISION FOR ELECTRIC EQUIPMENT AND SCHEME OF RELAYING ADJUSTMENT

I.V. Buravtsov, G.I. Volovich***

**Chelyabinsk, LLC "Chelyabenergopribor",*

***Chelyabinsk, South Ural State University*

Описаны принципы построения и дана характеристика прибора, предназначенного для измерений при проведении комплексных испытаний и наладке электрооборудования и схем релейной защиты, проверке правильности подключения трехфазных счетчиков активной энергии. По сравнению с известными, предлагаемый вольтамперфазометр обеспечивает значительно более высокую точность измерений при малых токах, что расширяет его область применения. Указанная особенность обусловлена применением новых алгоритмов обработки данных, получаемых от аналого-цифровых преобразователей прибора.

Ключевые слова: измерения в электрических цепях, цифровая обработка сигналов.

Design principles and characteristic of the instrument used for measuring at full-scale testing and electric equipment and scheme of relaying adjustment, three-phase active energy meters connection validation are described. As compared to the familiar instruments a given voltamperemeter and phase meter provides considerably higher accuracy of measurements at small currents, which expands its use. The indicated feature is stipulated by the application of new data processing algorithms, obtained from analogue-digital converters of the instrument.

Keywords: measurements in electric circuits, digital signal processing.

При проведении комплексных испытаний и наладке электрооборудования и схем релейной защиты, проверке правильности подключения счетчиков активной энергии, особенно при использовании трансформаторов тока и напряжения, необходимо измерять фазные и линейные напряжения цепей, токи, а также разность фаз напряжений и токов. Наиболее удобно использовать для этой цели приборы, называемые вольтамперфазометрами [1].

Широко применяемый в прошлом вольтамперфазометр ВАФ-85 со стрелочным индикатором и фазорегулятором на основе сельсина обладает довольно низкой точностью и неудобен в эксплуатации. В настоящее время отечественная промышленность предлагает несколько моделей электронных вольтамперфазометров с цифровой индикацией, в частности, Парма-ВАФ, Ретометр, М4185, ПЭМ-02.

Общим недостатком этих приборов является низкая точность измерения малых переменных токов (менее 100 мА) и разности фаз между напряжением и током при малых токах. Между тем при наладке устройств релейной защиты в энергосистемах требуется измерение токов порядка 10 мА и ниже и разности фаз при таких значениях токов.

В предприятии ООО «Челэнергоприбор» разработан вольтамперфазометр ВФМ-2, особенностью которого является высокая точность измерений без разрыва цепи при малых токах. Эти свойства достигнуты применением современных алгоритмов обработки цифровых сигналов.

Структурная схема прибора приведена на рис. 1. Электронная часть прибора состоит из двух входных резистивных делителей, многоканального 24-битного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для преобразования входных сигналов в

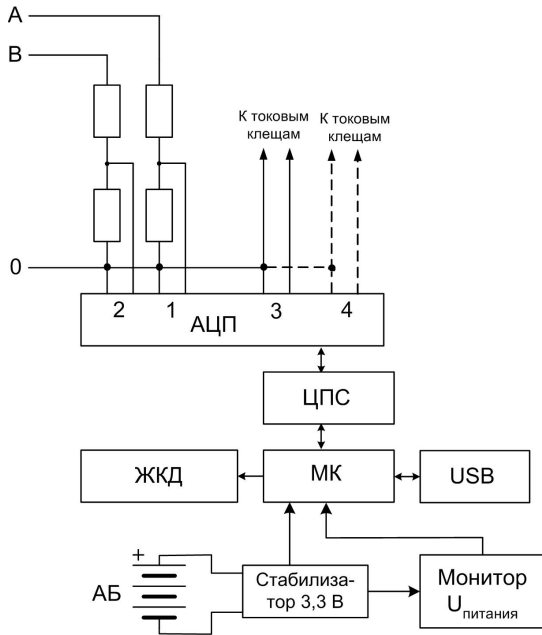


Рис. 1. Структурная схема вольтамперфазометра ВФМ-2

цифровую форму, цифрового процессора сигналов (ЦПС) для обработки сигналов, микроконтроллера (МК) для управления периферией, жидкокристаллического дисплея (ЖКД) для вывода результатов измерений, интерфейса USB для связи с компьютером, стабилизатора напряжения, монитора питания и аккумуляторной батареи (АБ).

АЦП в течение 2 секунд с частотой 8 кГц фиксирует мгновенные значения напряжений, приложенных к его входам. В результате измерения получаются массивы $\{u_{An}\}$, $\{u_{Bn}\}$ и $\{i_n\}$, состоящие каждый из 16000 точек.

Первым этапом цифровой обработки полученных массивов выборок сигналов является удаление постоянной составляющей путем пропуска выборок через цифровой фильтр верхних частот.

При определении частоты сигнала находим номера всех точек, для которых выполняется условие $x_n > 0$, а $x_{n+1} \leq 0$ (переход через ноль). В результате получается массив $\{n_m\}$, состоящий из M

точек. После создания этого массива можно определить частоту сигнала по формуле

$$f = f_{\text{выборки}} \frac{M-1}{n_M - n_1}, \text{ Гц.}$$

Для вычисления действующих значений сигналов возводим их выборки в квадрат и с помощью sinc^3 фильтра вычисляем постоянную составляющую полученного сигнала, а затем находим квадратный корень:

$$X = K_x \sqrt{\text{sinc}^3(x_n^2)}.$$

Здесь K_x – калибровочный коэффициент напряжения или тока.

Для вычисления активной мощности используем формулу

$$P = K_u K_i \text{sinc}^3(u_n i_n), \text{ Вт.}$$

С помощью преобразования Гильберта сдвигаем гармоники тока с 1-й по 40-ю на 90° и вычисляем реактивную мощность по формуле

$$Q = K_u K_i \text{sinc}^3(u_n \tilde{i}_n), \text{ вар.}$$

Линейное напряжение вычисляем по формуле

$$U_{ab} = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 - 2K_{u_a} K_{u_b} \text{sinc}^3(u_a u_b)}, \text{ В.}$$

Полную мощность вычисляем по формуле

$$S = UI, \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Коэффициент мощности вычисляем по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}.$$

Сдвиги фаз определяются аналогично определению частоты.

Измерение малых токов (менее 100 мА) осуществляется путем синхронного детектирования сигнала, пропорционального току, сигналом, формируемым из напряжения той же частоты, что и ток, приложенного между входами А и 0, величиной не менее 100 В. Аналогично при малых токах осуществляется измерение разностей фаз.

Ниже на рис. 2–4 приведены графики зависимости погрешностей измерения тока и разности фаз ВФМ-2 и его аналога – наиболее распространенного в России цифрового вольтамперфазометра.

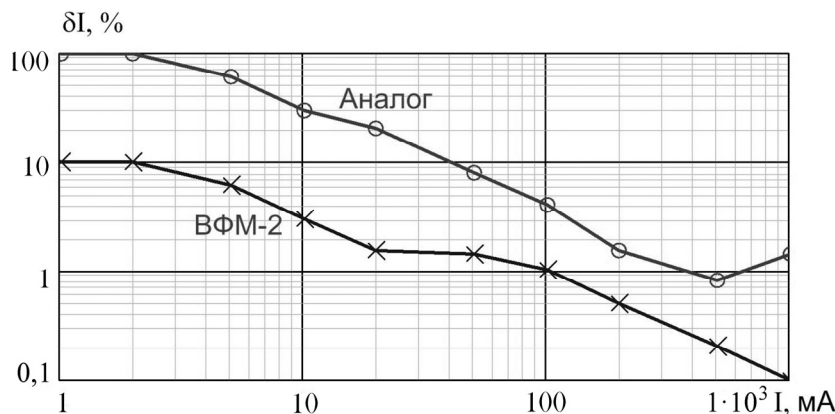


Рис. 2. Относительные погрешности измерения тока (по осям логарифмический масштаб)

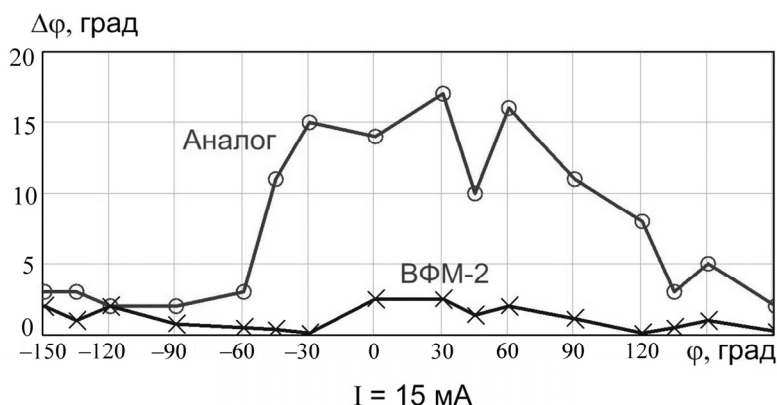


Рис. 3. Относительные погрешности измерения разности фаз при токе $I=15$ мА

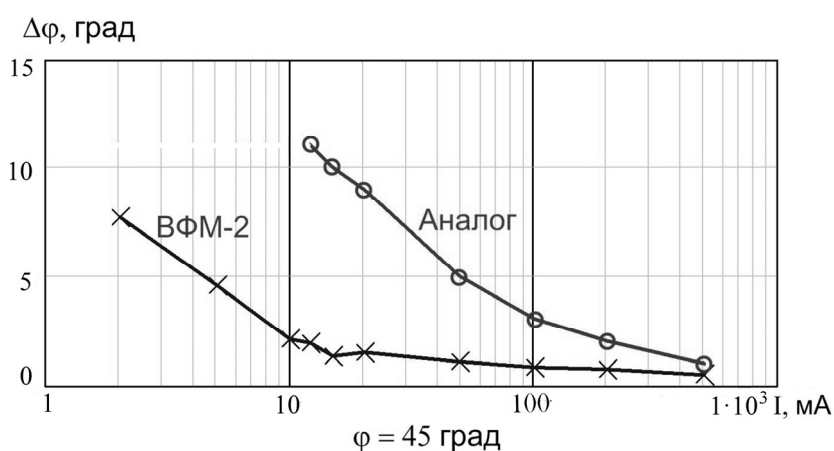


Рис. 4. Относительные погрешности измерения разности фаз в зависимости от силы тока при $\varphi=45^\circ$ (при токе от 10 мА и менее показания аналога – неопределенные)

Внешний вид прибора представлен на рис. 5. Вольтамперфазометр оснащен графическим дисплеем, на который выводятся одновременно все измеряемые величины: два фазных и линейное напряжения, фазный ток (или два тока, если прибор укомплектован двумя токовыми клещами), активная и реактивная мощности, порядок чередования фаз, разности фаз между напряжениями и токами, частота, коэффициент мощности. В перспективе на дисплей может быть выведена векторная диаграмма.



Рис. 5. Вольтамперфазометр ВФМ-2

Основные технические характеристики прибора.

- Диапазон измерения:
 - действующего значения напряжения переменного тока, В 0 – 460
 - напряжения постоянного тока, В 0 – 500
 - действующего значения силы переменного тока, А 0 – 10
 - угла сдвига фаз между напряжением и током, град -180 – +180
 - активной (реактивной) мощности, Вт (вар) 0 – 4000
 - коэффициента мощности 1 – 0 – 1
 - частоты напряжения и силы переменного тока, Гц 45 – 65
- Предел допускаемой относительной погрешности измерения:
 - действующего значения напряжения переменного тока, % $\pm [0,5+0,05(U_k/U_n - 1)]$
 - действующего значения силы переменного тока, % $\pm [1+0,05(I_k/I_n - 1)]$
 - частоты напряжения переменного тока, % $\pm 0,1$

3. Предел допускаемой приведенной погрешности измерения угла сдвига фаз между напряжением и током (при напряжении более 30 В и силе тока более 100 мА), % ± 1
4. Прибор определяет порядок чередования фаз в трехфазной системе
5. Входное сопротивление каналов напряжения, не менее, МОм 1

6. Масса, не более, кг 0,5
7. Габариты, не более, мм 208×108×40

Литература

1. Дорохин, Е.Г. *Основы эксплуатации релейной защиты и автоматики: практическое пособие* / Е.Г. Дорохин, Т.Н. Дорохина. – Краснодар: Советская Кубань, 2006. – 448 с.

Поступила в редакцию 14.03.2012 г.

Буравцов Игорь Владимирович – ведущий инженер ООО «Челэнергоприбор», г. Челябинск. Область научных интересов – конструирование цифровых измерительных приборов. Контактный телефон: 8 (353) 211-54-01, e-mail: info@limi.ru.

Buravtsov Igor Vladimirovich is a senior engineer of LLC «Chelyabenergopribor», Chelyabinsk. Research interests: digital measuring instruments design. Telephone: 8 (353) 211-54-01, e-mail: info@limi.ru.

Волович Георгий Иосифович – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы управления», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – цифровые измерительные приборы, силовая электроника. E-mail: g_volovich@mail.ru.

Volovich Georgiy Iosifovich is a Doctor of Science (Engineering), a Professor of Control System Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: digital measuring instruments, power electronics. E-mail: g_volovich@mail.ru.