

Вольтамперфазометр ВФМ-2

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.

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 и современной элементной базы.

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 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 течении 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 пропускания выборок через цифровой фильтр верхних частот.

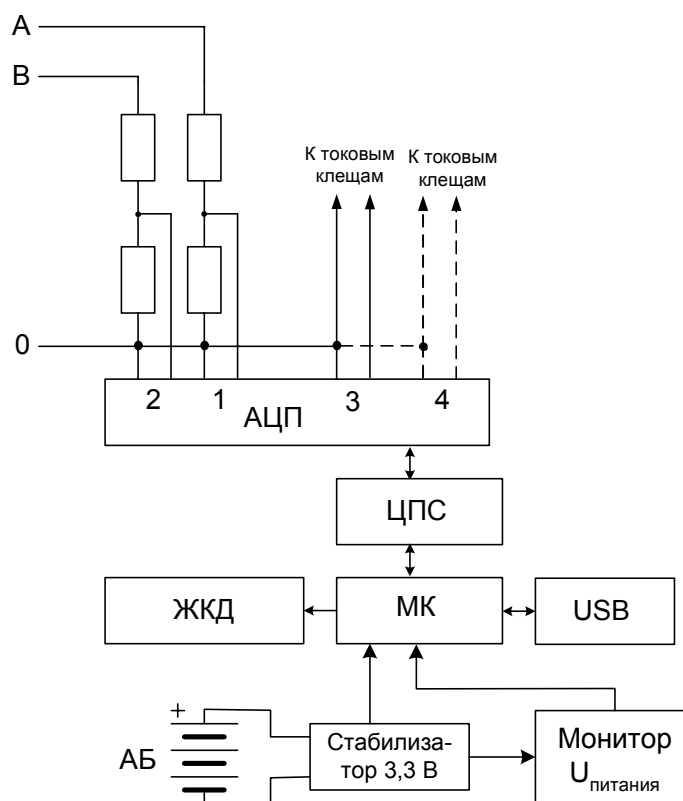


Рис.1. Структурная схема вольтамперфазометра ВФМ-2.

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 первой 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:

$$S = UI \text{ ВА.}$$

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 тока сигналом, формируемым из напряжения той же частоты, что и ток, приложенного между входами **A** 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.

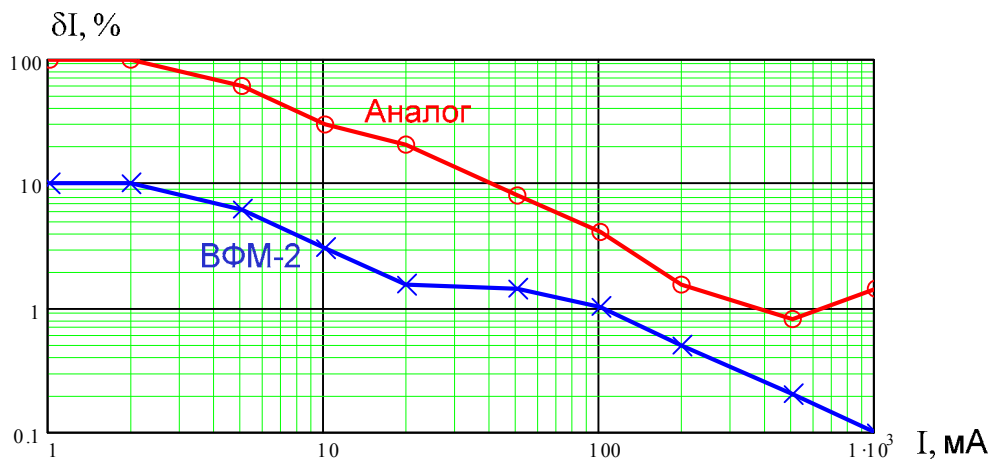


Рис.2. Относительные погрешности измерения тока (по осям логарифмический масштаб)

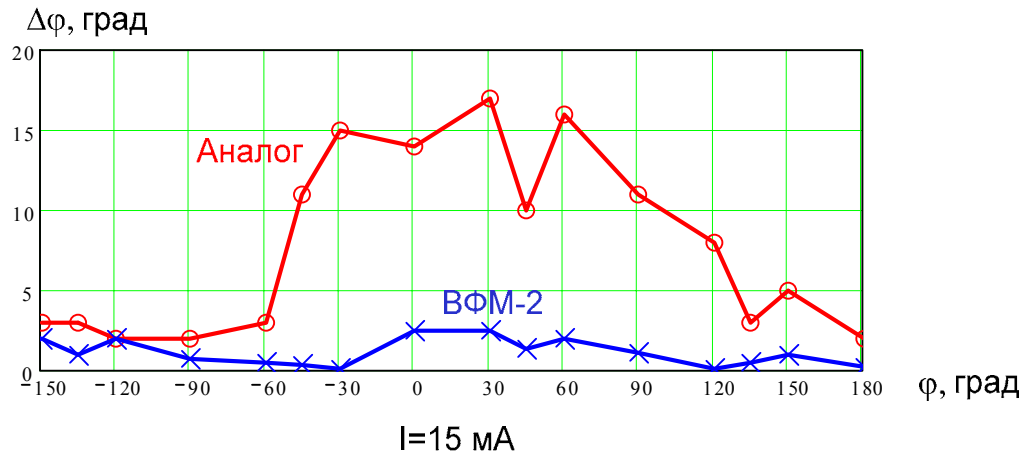


Рис. 3. Относительные погрешности измерения разности фаз при токе $I=15$ мА

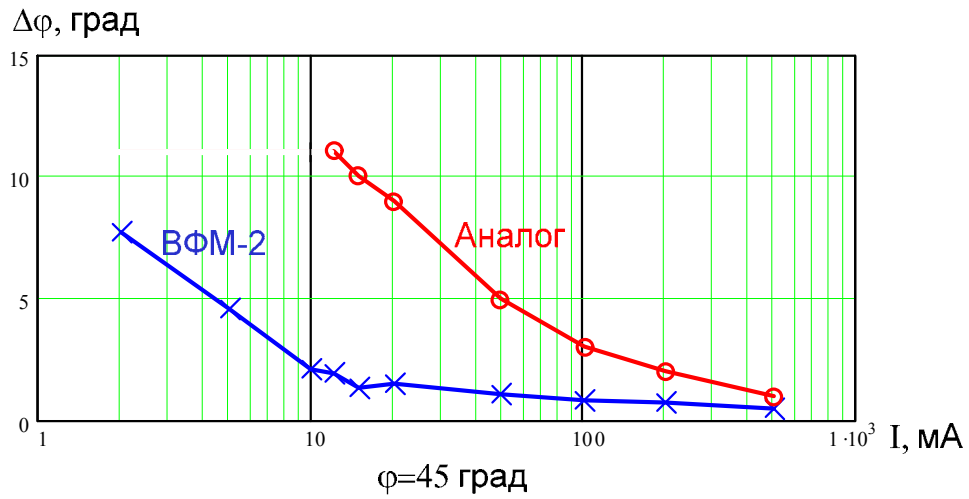


Рис. 4. Относительные погрешности измерения разности фаз в зависимости от силы тока при $\phi=45^\circ$ (при токе от 10 мА и менее показания аналога – неопределенные)