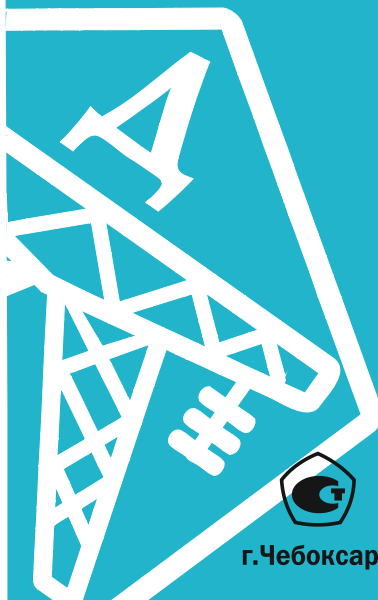




Динамика
научно-производственное предприятие

РЕТОМЕТР-МЗ

ВОЛЬТАМПЕРФАЗОМЕТР ЦИФРОВОЙ



г.Чебоксары



РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Содержание

Введение	5
Меры безопасности	6
1 Назначение вольтамперфазометра	8
2 Комплектность изделия	10
3 Технические параметры	12
4 Описание вольтамперфазометра	21
4.1 Внешний вид и органы управления	21
4.2 Описание режимов работы	25
4.3 Принципы измерения	27
4.4 Принцип построения векторных диаграмм	35
4.5 Расчетные параметры	38
5 Настройки	41
6 Работа с вольтамперфазометром	45
6.1 Измерение напряжения	45
6.2 Измерение силы тока	45
6.3 Однофазный режим	46
6.3.1 Сравнение двух сигналов напряжения переменного тока.....	46
6.3.2 Измерение параметров одной фазы	47
6.3.3 Сравнение двух сигналов силы переменного тока.....	48
6.3.4 Измерение напряжения и силы постоянного тока.....	49
6.4 Трехфазный режим	50
6.4.1 Окно отображения основных параметров	50

6.4.2	Векторная диаграмма	51
6.4.3	Окно отображения мощностей.....	51
6.4.4	Симметричные составляющие и проверка чередования фаз	52
6.5	Осциллограф.....	54
6.6	Гармоники	55
6.7	Экспресс проверка ВВ выключателей.....	56
6.8	Расширенный трехфазный режим	59
7	Транспортная сумка.....	61
8	Обслуживание аккумулятора.....	62
9	Возможные неисправности и способы их устранения	63
10	Проверка вольтамперфазометра в эксплуатации.....	64
11	Калибровка	64
12	Техническое обслуживание	65
13	Правила хранения и транспортирования.....	65
14	Сведения об утилизации	66
15	Гарантийные обязательства.....	66
Приложение А		67
Приложение Б		70

Введение

Вольтамперфазометры цифровые РЕТОМЕТР-М3 зарегистрированы в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений под № 76981-19.

Вольтамперфазометр цифровой РЕТОМЕТР-М3 (далее по тексту – вольтамперфазометр или РЕТОМЕТР-М3) – цифровой прибор для измерения параметров электрических цепей с рабочей частотой 50 Гц в полевых и лабораторных условиях.

РЕТОМЕТР-М3 является развитием семейства приборов, которые исторически именуются в российской электроэнергетике, как «ВАФ» (аббревиатура слов *Вольт, Ампер, Фаза*).

Вольтамперфазометр питается от одного литий-полимерного (Li-pol) аккумулятора.



Рисунок 1.1 – Общий вид РЕТОМЕТР-М3

Меры безопасности

При проведении измерений необходимо соблюдать требования безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок», ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ Р 12.1.019-2009, ГОСТ 22261-94, а также технической документацией на оборудование, в котором производятся измерения.

Персонал, использующий вольтамперфазометр, должен проходить инструктаж по технике безопасности на рабочем месте и иметь при самостоятельной работе квалификационную группу по электробезопасности не ниже III.

ВНИМАНИЕ!



Использовать соединительные провода, сетевой адаптер и токовые клещи только из комплекта поставки вольтамперфазометра!



Измерять напряжения и токи только в цепях, где потенциально возможные напряжения и токи не превосходят возможностей вольтамперфазометра.



Не начинать измерения в условиях повышенной влажности, в дождь, туман и т.д., т.е. при наличии влаги на корпусе и внутри вольтамперфазометра.

Если вольтамперфазометр был перенесен с мороза в теплое помещение, перед работой необходимо, чтобы вольтамперфазометр прогрелся до комнатной температуры. Для этого необходимо выдержать его в нормальных климатических условиях не менее 4 х часов. Либо носить вольтамперфазометр «на теле», т.е. во внутренних карманах одежды, чтобы он не охлаждался. Клещи и провода можно оставлять в сумке, т.к. на них конденсат не действует.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ!



Не работайте с разобранным вольтамперфазометром – возможно поражение электрическим током!

ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

-  Измерять ток на двух или более токопроводах одновременно.
-  Измерять ток на токоведущем проводе, внешний диаметр которого больше 7 мм.
-  Прилагать чрезмерное усилие при подключении, снятии к токоведущим проводам токовых клещей и при смыкании губок магнитопровода.
-  Применять ударное воздействие на токовые клещи.

1 Назначение вольтамперфазометра

РЕТОМЕТР-МЗ – трехфазный многофункциональный и полностью автоматизированный прибор нового поколения, предназначенный для измерения параметров в трехфазных и однофазных электрических цепях с рабочей частотой 50 Гц, и позволяющий осуществлять поиск источника искажений без применения дорогих устройств анализа сети.

Вольтамперфазометр предназначен для персонала служб релейной защиты и автоматики энергопредприятий, служб главного энергетика, промышленных предприятий и многих других специалистов, занятых эксплуатацией электроустановок.

Вольтамперфазометр обладает следующими достоинствами:

- ✓ высокая чувствительность – расчет всех параметров начинается с момента реального измерения тока и напряжения (примерно от 1 мА и 1 мВ);
- ✓ возможность работы в сетях до 660 В (измерение напряжение до 990 В);
- ✓ широкий диапазон измеряемого значения силы переменного тока, постоянного тока (до 300 А);
- ✓ расширение диапазона по току до 30 кА при использовании токовых клещей РЕТ-ДТ;
- ✓ функция HOLD – фиксация на экране измеряемых параметров;
- ✓ хорошо видимый цветной графический индикатор;
- ✓ аккумулятор, обеспечивающий быстрый заряд и отсутствие «эффекта памяти»;
- ✓ автоматическое выключение, продлевающее срок службы аккумулятора;
- ✓ возможность фиксации вольтамперфазометра на металлической поверхности при помощи встроенных в чехол магнитов;
- ✓ малогабаритные токовые клещи – возможность измерения тока в самых труднодоступных местах.

Отличительной особенностью вольтамперфазометра является программа цифровой обработки сигнала, которая обеспечивает правильное и высокоточное измерение всех параметров. Угол фазового сдвига измеряется на основной гармонике, и на его значение не влияет искажение сигнала. Напряжение и ток измеряются, как среднеквадратичным методом (TRUE RMS), так и с фильтром на 50 Гц.

Программа выполняет следующие функции:

- измерение тока и напряжения однофазной системы, с расчетом полной, активной и реактивной мощности, КПД – $\cos\phi$ и потери – $\tan\phi$, а также полного, активного и реактивного сопротивления контролируемой цепи;
- измерение параметров трехфазной векторной диаграммы напряжения и тока, полной, активной и реактивной мощности, $\cos\phi$, в каждой фазе, а также трехфазной активной мощности и общего коэффициента мощности;
- измерение прямой, обратной и нулевой составляющих трехфазного тока и напряжения, их полной, активной и реактивной мощности, а также коэффициенты несимметрии;
- сравнение двух сигналов напряжения или тока с вычислением угла между ними или их отношения;
- контроль чередования фаз;
- одновременное измерение в двух гальванически развязанных цепях напряжения постоянного тока;
- измерение показателей качества электроэнергии по классу А ГОСТ 30804.4.30-2013;
- восьмиканального осциллографа.

2 Комплектность изделия

В комплект поставки входят:

- Вольтамперфазометр цифровой РЕТОМЕТР-МЗ	1 шт.;
- Клещи токовые тип 1	3 шт. (4 шт.*);
- Клещи токовые тип 2	1 шт.*;
- Адаптер сетевой	1 шт.;
- Щупы измерительные (1м)	5 шт.;
- Зажимы типа «крокодил»	5 шт.;
- Переходник «ласточкин хвост» 4 мм	5 шт.;
- Игольчатые наконечники	5 шт.;
- MicroSD-карта	1 шт.;
- Сумка	1 шт.;
- Ведомость ЗИП	1 экз.;
- Ведомость эксплуатационных документов	1 экз.;
- Паспорт	1 экз.;
- Руководство по эксплуатации	1 экз.;
- Методика поверки	1 экз.

** количество определяется модификацией вольтамперфазометра.*

На рисунке 2.1 представлен РЕТОМЕТР-М3 с комплектом аксессуаров.



Рисунок 2.1 – РЕТОМЕТР-М3 с комплектом аксессуаров,
количество токовых клещей определяется модификацией вольтамперфазометра

3 Технические параметры

Основные технические характеристики вольтамперфазометра приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Наименование характеристики	Значение
В РЕЖИМЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЕ	
Количество измерительных каналов напряжения (U_a , U_b , U_c , U_o)	4
Количество измерительных каналов тока (I_a , I_b , I_c , I_o)	4
Клещи токовые	Тип 1
Основная частота переменного тока, Гц	50 ± 2
Входное сопротивление каналов напряжения, МОм, не менее	2
Диапазон измерений фазного СКЗ ¹⁾ напряжения переменного тока основной частоты $U_{(1)}$, В	от 0 до 600
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений фазного СКЗ напряжения переменного тока основной частоты, %: - для поддиапазона св. 3 до 600 В - для поддиапазона от 0 до 3 В включ.	$\pm 0,1$ $\pm \left[0,1 + 0,05 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1 \right)^2 \right]$
Диапазон измерений фазного СКЗ силы переменного тока основной частоты $I_{(1)}$, А	от 0 до 40
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений фазного СКЗ силы переменного тока основной частоты, %: - для поддиапазона св. 0,4 до 40 А - для поддиапазона от 0 до 0,4 А включ.	$\pm 0,5$ $\pm \left[0,5 + 0,2 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1 \right) \right]$

Продолжение таблицы 3.1

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений угла фазового сдвига между напряжениями, токами, напряжением и током, градус	от -180 до +180
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений угла фазового сдвига между напряжениями, градус	$\pm 0,1$
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений угла фазового сдвига между напряжением и током (для $U_{(1)}$ св. 3 до 600 В и $I_{(1)}$ св. 0,4 до 40 А), градус	$\pm 0,5$
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений угла фазового сдвига между токами (для $I_{(1)}$ св. 0,4 до 40 А), градус	$\pm 1,0$
Диапазон измерений частоты переменного тока, Гц	от 48 до 52
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты (для $U_{(1)}$ св. 3 до 600 В), Гц	$\pm 0,002$
В РЕЖИМЕ ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ	
Количество измерительных каналов напряжения (U_a, U_b, U_c, U_o)	4
Количество измерительных каналов тока (I_a, I_b, I_c, I_o)	4
Клещи токовые	Тип 1
Диапазон частот, Гц	от 20 до 2500
Входное сопротивление каналов напряжения, МОм, не менее	2
Диапазон измерений СКЗ напряжения переменного тока U , В	от 0,1 до 600
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений СКЗ напряжения переменного тока в диапазоне частот св. 40 до 70 Гц включ., %: - для поддиапазона св. 3 до 600 В - для поддиапазона от 0,1 до 3 В	$\pm 0,1$ $\pm \left[0,1 + 0,1 \cdot \left(\frac{X_k}{x} - 1 \right) \right]$

Продолжение таблицы 3.1

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений СКЗ напряжения переменного тока в диапазонах частот от 20 до 40 включ. и св. 70 до 2500 Гц, %: - для поддиапазона св. 10 до 600 В	$\pm (0,1 + 0,5 \cdot F)^{3)}$
Диапазон измерений СКЗ силы переменного тока, А	от 0,04 до 40
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений СКЗ силы переменного тока в диапазоне частот св. 40 до 70 Гц включ., %: - для поддиапазона св. 0,4 до 40 А - для поддиапазона от 0,04 до 0,4 А включ.	$\pm 0,5$ $\pm \left[0,5 + 0,2 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1 \right) \right]$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений СКЗ силы переменного тока в диапазонах частот от 20 до 40 включ. и св. 70 до 2500 Гц, %: - для поддиапазона св. 0,4 до 40 А	$\pm (0,5 + 1,0 \cdot F)^{3)}$
Диапазон измерений частоты переменного тока, Гц	от 40 до 70
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты переменного тока (для U св. 3 до 600 В), Гц	$\pm 0,002$
В РЕЖИМЕ ИЗМЕРЕНИЙ СИГНАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	
Количество измерительных каналов напряжения (Ua)	1
Количество измерительных каналов тока (Io)	1
Клещи токовые	Тип 2
Диапазон измерений напряжения постоянного тока, В	от 0 до 600
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений напряжения постоянного тока, %: - для поддиапазона св. 10 до 600 В - для поддиапазона от 0 до 10 В включ.	$\pm 0,1$ $\pm \left[0,2 + 0,05 \cdot \left(\frac{X_K}{X} - 1 \right) \right]$

Продолжение таблицы 3.1

<i>Наименование характеристики</i>	<i>Значение</i>
Диапазоны измерений силы постоянного тока, А	от 1 до 40 включ., св. 40 до 300
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения силы постоянного тока, %	±2,5
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (в режиме измерений по основной частоте) ⁴⁾	
Диапазон измерений линейного СКЗ напряжения переменного тока, В	от 10 до 990
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений линейного СКЗ напряжения переменного тока, %	±0,5
Диапазон измерений напряжения переменного тока прямой (U _p), обратной (U _o) и нулевой (U _n) последовательности, В	от 10 до 600
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений напряжения переменного тока прямой, обратной, нулевой последовательности, %	±0,5
Диапазон измерений СКЗ напряжения переменного тока с учетом гармонических составляющих от 1 до n (до 50 порядка), В	от 10 до 600
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений СКЗ напряжения переменного тока с учетом гармонических составляющих от 1 до n (до 50 порядка), %	±5,0
Диапазон измерений коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности (K _o), %	от 0,5 до 15
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, %	±0,15
Диапазон измерений коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности (K _n), %	от 0,5 до 15
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, %	±0,15

Продолжение таблицы 3.1

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений линейного значения силы переменного тока ⁵⁾ , А	от 0,4 до 40
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений линейного значения силы переменного тока, %	±1,5
Диапазон измерений силы переменного тока прямой (I _p), обратной (I _o) и нулевой (I _n) последовательности, А	от 0,4 до 40
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений силы переменного тока прямой, обратной и нулевой последовательности, %	±1,5
Диапазон измерений силы переменного тока с учетом гармонических составляющих от 1 до n (до 50 порядка), А	от 0,4 до 40
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений силы переменного тока с учетом гармонических составляющих от 1 до n (до 50 порядка), %	±5,0
Диапазон измерений угла фазового сдвига между напряжением и током прямой (обратной, нулевой) последовательности, градус	от -180 до +180
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений угла фазового сдвига между напряжением и током прямой (обратной, нулевой) последовательности, градус	±0,5
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ (в режиме измерений по основной частоте) ⁴⁾	
Диапазон измерений активной электрической мощности (P), Вт	от 4 до 24000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений активной электрической мощности, % при: 0,9 ≤ cosφ _{UI} ≤ 1,0 0,8 ≤ cosφ _{UI} < 0,9 0,5 ≤ cosφ _{UI} < 0,8	± 0,5 ± 0,7 ± 1,0

Продолжение таблицы 3.1

<i>Наименование характеристики</i>	<i>Значение</i>
Диапазон измерений реактивной электрической мощности (Q), вар	от 4 до 24000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений реактивной электрической мощности, % при:	
$0,9 \leq \sin\varphi_{UI} \leq 1,0$	$\pm 0,5$
$0,8 \leq \sin\varphi_{UI} < 0,9$	$\pm 0,8$
$0,5 \leq \sin\varphi_{UI} < 0,8$	$\pm 1,2$
Диапазон измерений полной электрической мощности (S), В·А	от 4 до 24000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений полной электрической мощности, %	$\pm 0,5$
Диапазон измерений коэффициента мощности (Км), отн. ед.	от -1 до +1
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений коэффициента мощности, отн. ед.	$\pm 0,01$
Диапазон измерений активной электрической мощности прямой (Рп), обратной (Ро) и нулевой (Рн) последовательности, Вт	от 4 до 24000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений активной электрической мощности прямой, обратной, нулевой последовательности, %	$\pm 3,0$
Диапазон измерений реактивной электрической мощности прямой (Qп), обратной (Qо), нулевой (Qн) последовательности, вар	от 4 до 24000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений реактивной электрической мощности прямой, обратной, нулевой последовательности, %	$\pm 3,0$
Диапазон измерений полной электрической мощности прямой (Sn), обратной (So), нулевой (Sh) последовательности, В·А	от 4 до 24000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений полной электрической мощности прямой, обратной, нулевой последовательности, %	$\pm 3,0$

Продолжение таблицы 3.1

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений полного (Z), активного (R), реактивного (X) электрического сопротивления (по модулю), Ом	от 0 до 1500
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений полного электрического сопротивления, %	$\pm 0,5$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений активного электрического сопротивления, %	$\pm 1,0$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений реактивного электрического сопротивления, %	$\pm 1,2$
1) СКЗ – среднеквадратичное значение; 2) Здесь и далее, x – измеряемое значение, X_k – конечное значение поддиапазона; 3) $F=f/1000$ Гц, где f – частота переменного сигнала в Гц; 4) Данные характеристики являются расчетными, формулы для расчета характеристик приведены в таблице А.1 приложения А. Расчетные параметры в режиме измерений по основной частоте нормируются для фазных значений $U_{(1)}$ св. 10 до 600 В и $I_{(1)}$ св. 0,4 до 40 А; 5) Для схемы соединения «звезда-треугольник», при подключении токовых клещей к соответствующим фазам генератора, подключенного к нагрузке, соединенной в «треугольник».	
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерений напряжения, силы тока, фазы, частоты при изменении температуры окружающего воздуха от нормального значения до предельных значений в диапазоне рабочих температур, не более, на каждые 10 °С	$\pm (0,5 \text{ предела основной погрешности})$
Масса вольтамперфазометра, кг, не более	0,7
Масса комплекта (с тремя клещами токовыми из комплекта поставки, сумкой, блоком питания, измерительными щупами и ЗИП), кг, не более	3
Габаритные размеры (ширина × высота × глубина), мм, не более	185 × 125 × 50
Габаритные размеры (в сумке), мм, не более	310 × 180 × 180

Продолжение таблицы 3.1

<i>Наименование характеристики</i>	<i>Значение</i>
Испытательное напряжение (СКЗ) электрической прочности изоляции, В: - каналов напряжения относительно корпуса вольтамперфазометра	3600
Сопротивление изоляции между корпусом и гальванически изолированными токоведущими частями вольтамперфазометра, МОм, не менее	20
Требования безопасности по ГОСТ IEC 61010-1-2014: - изоляция - категория монтажа (категория перенапряжения) - степень загрязнения микросреды	усиленная CAT II 2
Защита от поражения электрическим током	ГОСТ 12.2.007.0-75 класс II
Требования по ЭМС	ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014 для промышленной электромагнитной среды
УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ	
Диапазон рабочих температур, °C	от - 20 до + 40
Нормальная температура, °C	20 ± 5
Температура транспортирования, °C	от - 50 до + 50
Температура хранения, °C	от 5 до 40
Относительная влажность воздуха при 25 °C, %, не более	80
Высота над уровнем моря, м, не более	2000
Группа условий эксплуатации по ГОСТ 30631-99	M23
Степень защиты по ГОСТ 14254-2015	IP20

Продолжение таблицы 3.1

<i>Наименование характеристики</i>	<i>Значение</i>
Электрическое питание вольтамперфазометра: - тип аккумулятора - количество элементов, шт. - напряжение постоянного тока, В - электрическая емкость, мА·ч	Li-pol 1 3,7 4500
Потребляемый ток от аккумулятора (на уровне яркости 25 %, без подключенного Ethernet кабеля): - в режиме работы, мА, не более - в выключенном режиме, мА, не более	650 2
Время непрерывной работы от полностью заряженного аккумулятора (на уровне яркости 25 %, без подключенного Ethernet кабеля), ч, не менее	6
Потребляемый ток от адаптера в режиме заряда, мА	2000
ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ	
Средний срок службы (за исключением аккумулятора, индикатора и сетевого адаптера), лет	30
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	25000
Среднее время восстановления работоспособного состояния с учетом времени поиска неисправности, ч, не более	3

4 Описание вольтамперфазометра

4.1 Внешний вид и органы управления

Внешний вид вольтамперфазометра, назначение органов управления и входов приведено на рисунке 4.1.

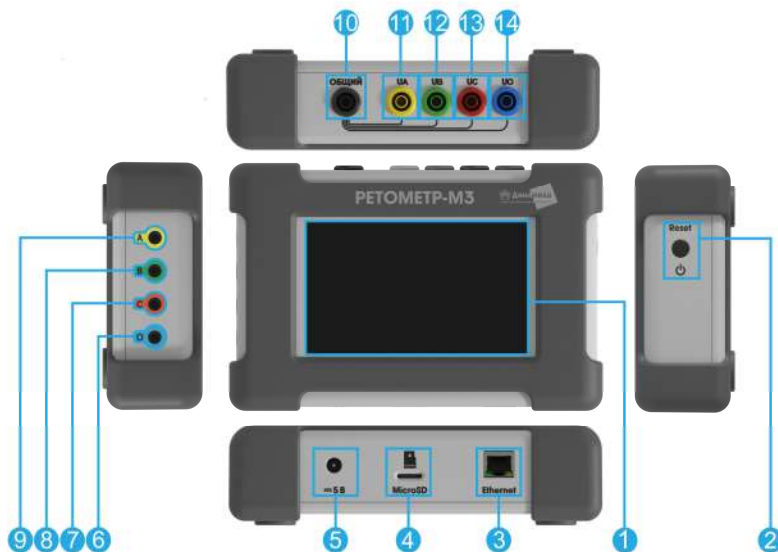


Рисунок 4.1 – Внешний вид и органы управления

Назначение органов управления и входов

- 1 Индикатор сенсорный
- 2 Кнопка включения/выключения вольтамперфазометра
- 3 Гнездо для подключения сетевого адаптера
- 4 Разъём для подключения MicroSD-карты
- 5 Разъём для подключения Ethernet кабеля
- 6 Вход для подключения токовых клещей, измерение тока фазы «С»
- 7 Вход для подключения токовых клещей, измерение тока фазы «О» и постоянного тока
- 8 Вход для подключения токовых клещей, измерение тока фазы «В»
- 9 Вход для подключения токовых клещей, измерение тока фазы «А»
- 10 Вход U_o - измерение напряжения фазы «О»
- 11 Вход U_c - измерение напряжения фазы «С»
- 12 Вход U_b - измерение напряжения фазы «В»
- 13 Вход U_a - опорный, измерение напряжения фазы «А»
- 14 Общий вход для измерения напряжения

Включение и выключение вольтамперфазометра осуществляется кнопкой (позиция 2 рисунок 4.1). Для включения/выключения вольтамперфазометра необходимо нажать на кнопку и удерживать ее в течение 0,5-2 с. Для принудительной перезагрузки вольтамперфазометра удерживать кнопку в течение 10 с.

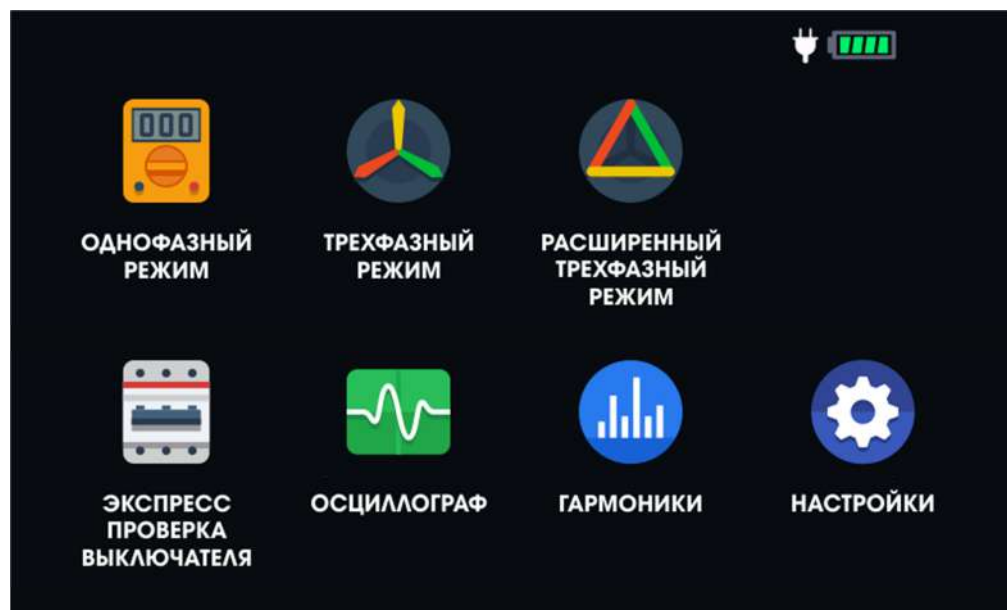


Рисунок 4.2 - Главный экран

Назначение иконок главного экрана



Однофазный режим



Трёхфазный режим



Осциллограф



Измерение гармоник



Экспресс проверка ВВ выключателей



Расширенный трёхфазный режим



Настройка

4.2 Описание режимов работы

Вольтамперфазометр имеет следующие режимы работы:

Однофазный режим предназначен для выполнения всех видов классических работ с ВАФ. Это измерение напряжения, тока, частоты, угла между двумя напряжениями или двумя токами, между напряжением и током, сравнение двух напряжений или токов, расчет мощности и сопротивления и т.д.

Частота сигнала измеряется только на входе напряжения U_a , он же является основной опорой при измерении углов. Угол сдвига фазы измеряется, только если сигналы одинаковой частоты.

В однофазном режиме вольтамперфазометр может работать в трех вариантах:

- Если токовые клещи не подключены, то производится измерение двух напряжений U_a и U_b , угол между ними или коэффициент соотношения (коэффициент трансформации).
- Подключение токовых клещей к входу I_a (на другие входы вольтамперфазометр не реагирует) переключает режим работы на одновременную обработку напряжения U_a и тока I_a . Вольтамперфазометр вычисляет угол между напряжением и током, U_a является опорой, также выводятся расчетные значения мощности и сопротивления, синус и тангенс угла.
- Подключение к входу I_b вторых токовых клещей приводит к тому, что на экран выводится значение двух токов I_a и I_b . Канал I_a становится опорным. Измеряется угол между ними и вычисляется соотношение (коэффициент трансформации).

В режиме измерения постоянного тока измерение напряжения проводится только на канале U_a , тока на канале I_o с индикацией знака, и используется среднее значение измеренного сигнала.

Трехфазный режим предназначен для снятия векторных диаграмм и измерения симметричных составляющих тока и напряжения в трехфазных системах. Для работы в трехфазном режиме необходимо подключить трое токовых клещей и подать напряжение на три фазы. Вольтамперфазометр одновременно измеряет напряжения, токи и углы относительно U_a во всех фазах и отображает измеренные значения в основном окне. Во втором окне – показаны мощности каждой фазы, суммарная активная мощность трех фаз и трехфазный коэффициент мощности. В третьем окне представлена информация о последовательностях, значение и угол прямой, обратной и нулевой. В четвертом – мощности последовательностей.

Входы канала напряжения U_0 и канала тока I_0 применяются для измерения дополнительных параметров, выбранных пользователем.

4.3 Принципы измерения

Приборы типа ВАФ предназначены для получения достоверной информации об электроэнергии, т.е. основной задачей является правильное измерение напряжения, тока, фазового угла и частоты.

Для измерения величины напряжения и силы переменного тока используется среднеквадратичный метод (так называемый RMS). Для измерения величины напряжения и силы постоянного тока применен среднвыпрямленный метод. Угол фазового сдвига измеряется между основными гармоническими составляющими тока и напряжения, т.е. вольтамперфазометр работает подобно старым фазометрам Д578 или ВАФ-85М и всегда показывает истинную картину векторной диаграммы, так как при любом уровне искажения сигнала цифровой фильтр исключает влияние высших гармоник на процесс измерения.

Для измерения сигналов высших гармоник имеются соответствующие фильтры.

Часто для анализа работы различного электротехнического оборудования необходимо знать значение его активного, реактивного и полного сопротивления, а также активной, реактивной и полной мощности, косинуса и тангенса угла. Для трехфазного оборудования дополнительно указывается информация о суммарной активной мощности и коэффициента трехфазной мощности.

Для анализа состояния трехфазной системы требуется знать прямую обратную и нулевую последовательности. Вольтамперфазометр показывает еще и значение их активной, реактивной и полной мощности, косинус угла.

Последовательности удобно использовать так же и при определении чередования фаз.

Напомним, для чего это сделано.

Вольтметр и амперметр

В современных условиях проведение точных измерений – это очень трудная задача, стоящая перед технологами современных производств и различных организаций. В производстве широко внедряются приводы с регулируемой скоростью, компьютеры и другое оборудование, которое потребляет ток в виде кратковременных импульсов, а не на постоянном уровне. Такое оборудование может вызвать, по меньшей мере, некорректные показания обычных измерителей с усреднением показаний.

Говоря о значениях переменного тока, мы обычно имеем в виду среднюю эффективную выделяемую теплоту или среднеквадратичное (RMS) значение тока. Данное значение эквивалентно значению постоянного тока, действие которого вызвало бы такой же тепловой эффект, что и действие измеряемого переменного тока.

Самый распространенный способ измерения такого среднеквадратичного значения тока при помощи измерительного прибора заключается в выпрямлении переменного тока, определении среднего значения выпрямленного сигнала и умножении результата на коэффициент 1,1. Данный коэффициент учитывает постоянную величину, равную соотношению между средним и среднеквадратичным значениями идеальной синусоиды. Однако при отклонении синусоидальной кривой от идеальной формы данный коэффициент перестает действовать. По этой причине измерители с усреднением показаний зачастую дают неверные результаты при измерении тока в современных силовых сетях.

Например, линейные нагрузки, в состав которых входят только резисторы, катушки и конденсаторы, характеризуются синусоидальной кривой тока, поэтому при измерении их параметров проблем не возникает. Однако в случае нелинейных нагрузок, таких как приводы с регулируемой частотой и импульсные источники питания для офисного и другого оборудования, имеют место искаженные токовые кривые (рисунки 4.3 и 4.4).

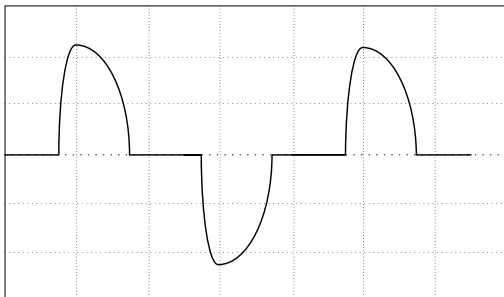


Рисунок 4.3 – Кривая потребления тока нелинейной нагрузки

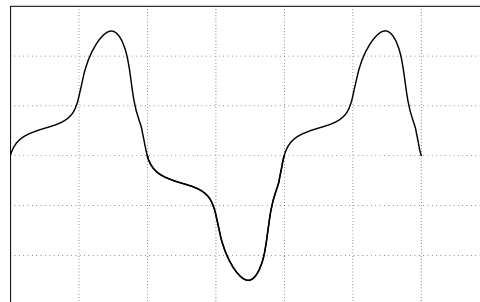


Рисунок 4.4 – Кривая потребления тока персонального компьютера

Измерение среднеквадратичного значения токов по таким искаженным кривым с использованием измерителей с усреднением показаний может дать занижение истинных результатов до 50 %.

Для измерения тока с такими искаженными кривыми необходимо при помощи анализатора кривой сигнала проверить форму синусоиды, после чего использовать измеритель с усреднением показаний только в том случае, если кривая окажется идеальной синусоидой. Или же можно постоянно использовать измеритель с истинно среднеквадратичными показаниями (True RMS) и не проверять параметры кривой. Современные измерители подобного типа используют усовершенствованные технологии измерения, позволяющие определить реальные эффективные значения переменного тока вне зависимости от того, является ли токовая кривая идеальной синусоидой или искажена. Единственное ограничение – чтобы кривая находилась в пределах коэффициента амплитуды и допустимого диапазона измерения используемого измерительного прибора.

Все то, что касается измерения токов в современных силовых цепях, также верно и для измерения напряжений в большинстве случаев промышленного оборудования и электронных приборов. Часто кривые напряжения также не являются идеальными синусоидами, в результате чего измерители с усреднением

показаний дают неверные результаты. Поэтому для измерения напряжения также рекомендуется использовать измерители типа True RMS.

Измерения на основной частоте

В энергетике часто необходимо измерить параметры сигнала только на основной частоте, избавившись от всех искажающих факторов. Это часто необходимо как для контроля работы первичного оборудования, так и для анализа релейной защиты и систем учета, которые работают именно на этой частоте. Для этого, в аналоговых системах перед измерением используют специальный фильтр, который выделяет сигнал частотой 50 Гц. В вольтамперфазометре используется цифровая обработка сигнала и для этой цели применен фильтр Фурье, настроенный на измерение синусоидального сигнала на первой гармонике – 1Г (частоте 50 Гц). Включенный фильтр (1Г) работает в одно- и трехфазном режимах, и на базе измеренных значений вычисляются все параметры.

Несинусоидальность формы кривой напряжения и тока

На современных промышленных предприятиях значительное распространение получили нагрузки, вольт-амперные характеристики которых нелинейные. К их числу относятся тиристорные преобразователи, установки дуговой и контактной сварки, электродуговые сталеплавильные и рудотермические печи, газоразрядные лампы и др. Эти нагрузки потребляют из сети ток, кривая которого оказывается несинусоидальной. В результате токи высших гармоник, проходя по элементам сети, вызывают падения напряжения в сопротивлениях этих элементов, которые, накладываясь на основную синусоиду напряжения, приводят к искажению формы кривой напряжения. Таким образом, возникают нелинейные искажения или, несинусоидальные режимы, которые ухудшают энергетические показатели, снижают надежность функционирования электросетей и сокращают срок службы электрооборудования. Несинусоидальные режимы неблагоприятно сказываются на работе систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и связи. Они влияют на погрешность электроизмерительных приборов. Так индукционные счетчики активной и реактивной энергии при

несинусоидальных напряжениях и токах имеют довольно большую погрешность, которая может достигать 10 %.

Затрудняется и в ряде случаев делает невозможным использование силовых цепей в качестве каналов для передачи информации. Ухудшается работа телемеханических устройств и даже происходит сбой в их работе, если силовые цепи используются в качестве каналов связи между полуккомплектами диспетчерского контролируемого пункта и т. д.

Известно, что любую несинусоидальную периодическую функцию, удовлетворяющую условию Дирихле, можно представить в виде суммы постоянной величины и бесконечного ряда синусоидальных величин с кратными частотами. Такие синусоидальные составляющие называются гармониками. Синусоидальная составляющая, период которой равен периоду несинусоидальной периодической величины, называется основной гармоникой. Остальные составляющие синусоиды с частотами со второй по n -ю называются высшими гармониками.

Для принятия решений необходима количественная оценка высших гармоник тока, генерируемых различными нелинейными нагрузками. При этом не всегда оправданно применение дорогих анализаторов качества электроэнергии, часто для анализа достаточно проверить работу конкретной нелинейной нагрузки прибором с включенным фильтром на определенную частоту. Наибольшее значение имеют нечетные гармоники, так уровни 3, 5, 7, 9, 11 и 13-й в сумме могут превышать 10 % от первой гармоники. Другие гармоники имеют гораздо меньшее влияние.

Фазометр

В энергетике принято считать, что форма сигналов тока и напряжения синусоидальная, поэтому при использовании любого метода измерения угла, результат должен быть один и тот же, но это не совсем так. Наличие высших гармоник может достаточно сильно исказить форму сигнала, а это влияет на фазовый угол. Разница между исходным сигналом и сигналом основной частоты может быть достаточно существенна. Например, наличие всего 10 % третьей гармоники, но сдвинутой относительно основного сигнала на 120 градусов, дает смещение точки перехода через ноль более чем на 5 градусов (рисунок 4.5). При этом смещаются вектора всех трех фаз и при том на разные углы. Таким

образом, векторная диаграмма, снятая по исходному сигналу, оказывается неверной. Аналогично на тяговой подстанции железной дороги. Попытка снять векторную диаграмму при движении электропоезда, а это основной, и часто единственный потребитель электроэнергии, обычно обречена на провал из-за огромной несимметрии нагрузки и наличия высших гармоник в тяговом токе и в устройствах компенсации реактивной мощности. Количество переходов через ноль резко возрастает, а длительности полупериодов не равны.

На предприятиях, использующих однофазные автотрансформаторы, так же имеются определенные проблемы при снятии векторных диаграмм, так как из-за сильного влияния третьей гармоники от тока в уравнивающей обмотке происходит искажение формы сигнала. Что в свою очередь влияет на смещение между переходом сигнала через ноль и самим сигналом основной гармоники ($\Delta\phi$ на рисунке 4.5).

Поэтому в энергетике до сих пор широко используются старые фазометры, использующие электродинамический логометр и предназначенные для определения в однофазных цепях переменного тока частоты 50 Гц угла сдвига фаз между основными гармоническими составляющими тока и напряжения.

РЕТОМЕТР-МЗ в режиме RMS и 1Г перед измерением фазового угла использует фильтр на 50 Гц по току и напряжению и измеряет угол только сигнала основной частоты, т.е. работает аналогично старому логометру.

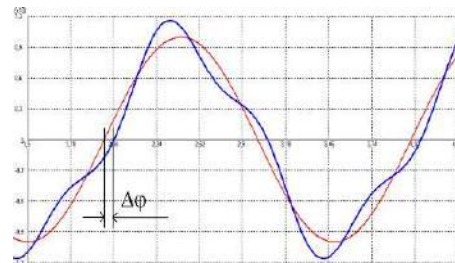


Рисунок 4.5 – Фазовый сдвиг между самим сигналом и его основной гармоникой

Симметричные составляющие трехфазной системы

Метод симметричных составляющих используется для анализа несимметричности электрических систем, и основан на разложении несимметричной системы на три симметричные — прямую, обратную и нулевую. При этом составляющие обратной последовательности возникают при появлении в сети любой несимметрии: однофазного или двухфазного короткого замыкания, обрыва фазы или несимметрии нагрузки. Составляющие нулевой последовательности имеют место при замыканиях на землю (одно- и двухфазных) или при обрыве одной или двух фаз. В случае междуфазного замыкания нулевая последовательность равна нулю.

Этот метод удобен и для проверки работы некоторых устройств РЗиА. В частности, принцип работы трансформатора тока нулевой последовательности основан на сложении значений тока во всех трех фазах защищаемого участка. В нормальном (симметричном) режиме сумма значений фазных токов равна нулю. В случае возникновения однофазного замыкания, в сети появятся токи нулевой последовательности, и сумма значений токов в трех фазах будет отлична от нуля, что зафиксирует измерительный прибор (например, амперметр), подключенный ко вторичной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности. Для проверки необходимо измерить нулевую последовательность трех фаз и сравнить ее с током на выходе трансформатора.

Значение напряжения прямой и обратной последовательности удобно использовать для проверки чередования фаз, а если присутствует нулевая, то имеется обрыв одной фазы.

Одной из характеристик качества электроэнергии является коэффициент несимметрии напряжения

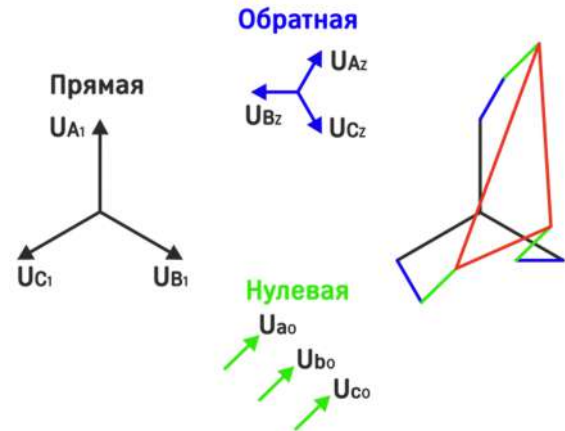


Рисунок 4.6 - Симметричные составляющие трехфазной системы

основной частоты. При этом под несимметрией напряжений понимают неравенство фазных или линейных напряжений по амплитуде и углам сдвига между ними. Нормируемыми показателями несимметрии являются коэффициент обратной последовательности напряжения, равный отношению напряжения обратной последовательности U_2 к номинальному линейному напряжению $U_{ном}$, и коэффициент нулевой последовательности напряжения, равный отношению напряжения нулевой последовательности U_0 к номинальному напряжению $U_{ном}$.

Несимметрия напряжений происходит только в трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам. Источниками несимметрии являются: дуговые сталеплавильные печи, тяговые подстанции переменного тока, электросварочные машины, однофазные электротермические установки и другие однофазные, двухфазные и несимметричные трёхфазные потребители электроэнергии, в том числе бытовые. Так суммарная нагрузка отдельных предприятий содержит до 85...90 % несимметричной нагрузки. А коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности одного девятиэтажного жилого дома может составлять 20 %, что приводит к превышению допустимой нормы несимметрии на 2 % на шинах трансформаторной подстанции. При этом возрастают потери электроэнергии от дополнительных потерь в нулевом проводе. В электродвигателях, кроме отрицательного влияния от несимметричных напряжений, возникают магнитные поля, вращающиеся встречно вращению ротора. Общее влияние несимметрии напряжений на электрические машины, включая трансформаторы, выливается в значительное снижение срока их службы. Например, при длительной работе с коэффициентом несимметрии по обратной последовательности в 2...4 %, срок службы электрической машины снижается на 10...15 %, а если она работает при номинальной нагрузке, срок службы снижается вдвое. В РЕТОМЕТР-МЗ вычисление коэффициентов несимметрии выполнено в соответствии с ГОСТ 30804.4.30-2013 п.5.7.

С помощью РЕТОМЕТР-МЗ легко провести анализ работы потребителя с разложением его мощности потребления на полную, активную и реактивную часть по каждой фазе и по каждой последовательности.

4.4 Принцип построения векторных диаграмм

В общей электротехнике, при построении векторных диаграмм, принято за базис использовать ток, который располагают на оси действительных чисел. Положение вектора напряжения определяет угол между напряжением и током, при этом положительный отсчет угла идет против часовой стрелки.

В релейной защите, для описания трехфазной системы, принято за базис использовать напряжение, фазное U_a или линейное U_{ab} . Его вектор располагается вертикально, а все остальные вектора вычисляются относительно его, при этом положительный отсчет угла ведется по часовой стрелке, согласно направлению вращения вала генератора.

Основное предназначение вольтамперфазометра – снимать векторную диаграмму, как в трехфазном, так и однофазном режимах. Поэтому для обоих режимов работы используется одна система измерения углов, принятая в релейной защите. **За базис используется напряжение фазы U_a , и все остальные углы отсчитываются от него с положительным отсчетом по часовой стрелке. Исключением является однофазный режим при измерении угла между двумя токами. В этом случае за базис принимается ток на входе I_a , но принцип измерения и отображения угла остается тот же.**

Для удобства работы с вольтамперфазометром в нем применена система отображения угла в диапазоне 0-180 градусов с установкой символов «L» и «C» в конце. Положительное направление, используемое для индуктивного запаздывания по фазе (L), идет по часовой стрелке. Символ «C» ставится при емкостном опережении, т.е. если угол отрицательный.

Три возможных варианта измерений фазового угла вольтамперфазометром представлены на рисунке 4.7.

Это измерение угла между двумя напряжениями $U_a(1)$ и $U_b(3)$, между напряжением и током $U_a(1)$ и $I_a(1)$ и между двумя токами $I_a(1)$ и $I_b(3)$.

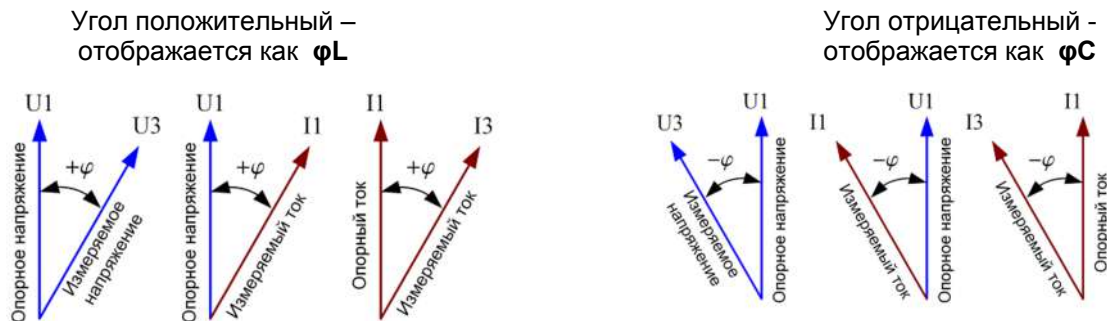


Рисунок 4.7 – Варианты векторов

В первых двух вариантах опорой является вход $U_a(1)$, в третьем – опорой является $I_a(1)$. Если измеряемый сигнал отстает от опорного, то значение фазового угла отображается со знаком «L», что означает индуктивное запаздывание, а если он опережает опорный, то со знаком «C» – емкостное опережение.

Очень часто, для снятия векторной диаграммы используют линейное напряжение U_{AB} , подключенное на вход $U_a(1)$ (рисунки Б.3 и Б.5 Приложения Б). Это нормальный режим работы вольтамперфазометра, и в этом случае отсчет всех углов будет вестись от линейного напряжения. Следовательно, необходимо учесть фазовый сдвиг между фазным током и линейными напряжениями при построении векторной диаграммы.

В некоторых схемах РЗА используются два трансформатора тока, включенные на фазы «А» и «С». В этом случае для трехфазного режима фазу «В» рекомендуется подключать в общий провод измерительных трансформаторов с поворотом на 180 градусов относительно направления тока (рисунок Б.4 Приложения Б).

На рисунке 4.8 показана общая система отсчета углов векторов тока и напряжения, расчет мощности и вычисление сопротивления, принятая в вольтамперфазометре.

В первом и втором квадрантах (I и II) индуктивный режим. Угол отображается с символом «L».

В третьем и четвертом квадрантах (III и IV) емкостной режим. Угол отображается с символом «C».

Мощность активная (P) и реактивная (Q) отображается без знака. Знак активной мощности определяется величиной угла. Если меньше 90 градусов, то положительное значение, идет потребление мощности, а если больше, то отрицательное, т.е. генерирование.

Знак реактивной мощности определяется типом угла, индуктивный угол означает положительное значение мощности (+Q), а емкостной – отрицательное значение (-Q).

ВНИМАНИЕ! Без наличия опорного напряжения U_a , углы не будут измерены. При подключении без нулевого провода, погрешность измерения зависит от симметрии измеряемой цепи и точные измерения невозможны. Можно использовать для проверки чередования фаз и наличия напряжения.

Примечания:

- 1 Диаграмма соответствует ГОСТ 31819.23-2012 (приложение С) и IEC 60375 (пункты 12 и 14).
- 2 Началом отсчета (координат) диаграммы является вектор напряжения U_a (задан на вертикальной оси координат).
- 3 Другие векторы тока и напряжения меняют свое направление в зависимости от соответствующего фазового угла φ .
- 4 Положительное значение фазового угла φ идет по часовой стрелке.
- 5 Мощность и сопротивление измеряются только в однофазном режиме.

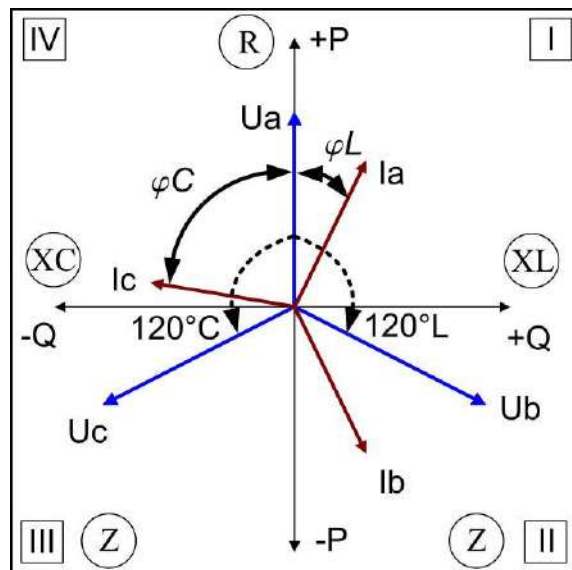


Рисунок 4.8 – Векторная диаграмма расчета параметров, принятая в РЕТОМЕТР-М3

4.5 Расчетные параметры

Среднеквадратичные (RMS или действующее) значения являются самыми распространёнными для измерения напряжения и силы переменного тока, т. к. они наиболее удобны для практических расчётов, и когда говорят просто о напряжении или силе тока, то по умолчанию имеются в виду именно их среднеквадратичные значения. Среднеквадратичное значение вычисляется как корень квадратный из среднего значения квадрата сигнала выборки за время измерения:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

Средневыпрямленное значение силы тока и напряжения вычисляется как среднее значение модуля сигнала выборки и используется для измерения напряжения и силы постоянного тока:

$$U = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt$$

Измерение угла сдвига фаз между сигналами производится на компонентах основной частоты тока и напряжения. В начале, сигналы разлагаются на реальную и мнимую части с помощью дискретного преобразования Фурье массива выборок. Далее вычисляется угол каждого сигнала и в конце берется их разность, в зависимости от того какой сигнал является опорным:

$$\text{Re}X[k] = \sum_{i=0}^{N-1} x[i] \cos(2\pi ki/N)$$

$$\text{Im}X[k] = - \sum_{i=0}^{N-1} x[i] \sin(2\pi ki/N)$$

$$\varphi_X = \arctg\left(\frac{\text{Re}X}{\text{Im}X}\right)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

Величина сигнала основной гармоники рассчитывается, как корень квадратный из суммы квадратов реальной и мнимой частей сигнала:

$$\text{Mag}X[k] = \sqrt{(\text{Re}X[k]^2 + \text{Im}X[k]^2)}$$

Перед измерением частоты массив выборок исходного сигнала очищается полосовым фильтром, который удаляет лишнюю информацию о сигналах, частота которых лежит вне рабочего диапазона, а затем измеряется период сигнала с усреднением за время измерения.

Вычисление полной (S), активной (P) и реактивной (Q) мощности, КПД ($\cos(\varphi)$), потери ($\operatorname{tg}(\varphi)$), полного (Z), активного (R) и реактивного (X) сопротивления выполняется по общеизвестным формулам, используя уже полученные значения тока, напряжения и угла между ними с учетом типа измерения:

$$\begin{array}{lll} S = U_a \cdot I_a & P = S \cdot \cos(\varphi) & Q = S \cdot \sin(\varphi) \\ Z = \frac{U_a}{I_a} & R = Z \cdot \cos(\varphi) & X = Z \cdot \sin(\varphi) \\ \operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} & \sum P = P_a + P_b + P_c & K_m = \frac{\sum P}{S_a + S_b + S_c} \end{array}$$

где, S , P и Q – полная $[B \cdot A]$, активная $[Bm]$ и реактивная мощность $[var]$ соответственно;

Z , R и X – полное, активное и реактивное сопротивление $[Om]$ соответственно;

φ – угол между напряжением U_a (опора) и током I_a ;

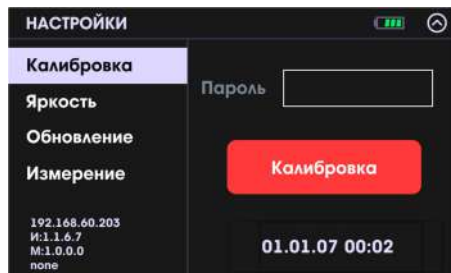
$\sum P$ – сумма активной мощности трех фаз;

K_m – трехфазный коэффициент мощности.

5 Настройки

Для выбора и настройки основных параметров служит окно «НАСТРОЙКИ».

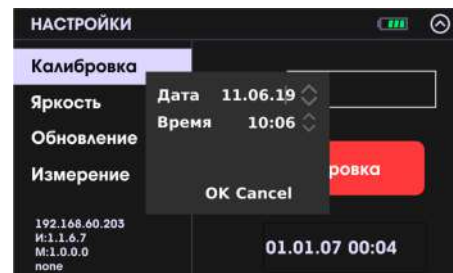
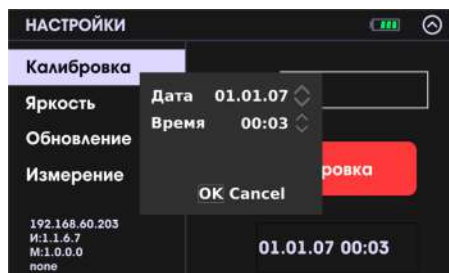
«Калибровка»:



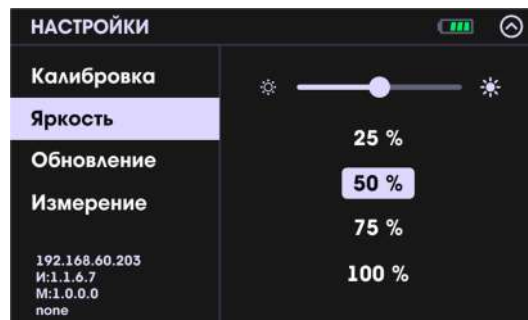
Данный раздел служит для настройки вольтамперфазометра изготовителем и недоступен потребителю.

«Дата и Время»:

Для редактирования времени и даты выбрать «**01.01.07 00:01**». Стрелочками настроить нужную дату, время и нажать «ОК».

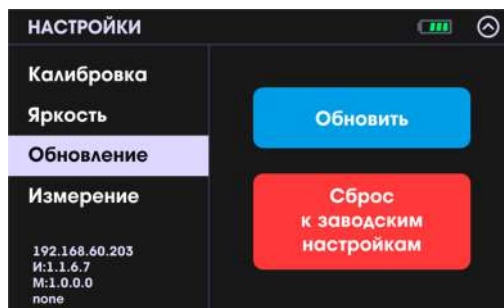


«Яркость»:



Для выбора яркости нажать на цифровое обозначение уровня.

«Обновление»:



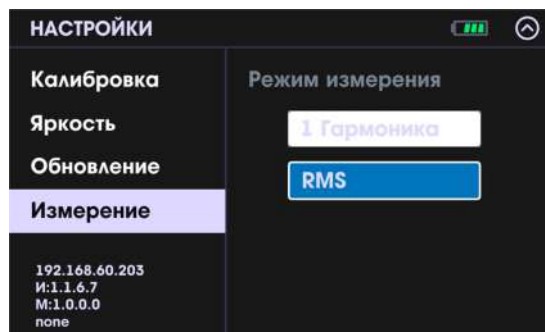
В данном меню при нажатии на иконку «Обновить» происходит обновление встроенного программного обеспечения (ПО). Порядок действий для обновления ПО:

- 1) Скачать актуальную версию ПО с официального сайта ООО «НПП «Динамика»;
- 2) Создать папку «update» на MicroSD-карте из комплекта поставки РЕТОМЕТР-М3 и загрузить в нее файл с ПО;
- 3) Вставить MicroSD-карту в РЕТОМЕТР-М3 и нажать «Обновить»;
- 4) Не выключать РЕТОМЕТР-М3 и не отключать зарядное устройство до его автоматической перезагрузки.

ВНИМАНИЕ!

Обновление производить только при подключенном зарядном устройстве!

«Измерение»:



В окне «Измерение» выбираются режимы:

1 Гармоника – измерение по основной частоте (первой гармонике);

RMS – измерение среднеквадратичных значений.

Выбранный тип измерения выделяется синим цветом.

Примечание – В режиме «RMS» нормируются погрешности только основных параметров: напряжение, сила переменного тока, частота переменного тока (согласно таблице 3.1).

6 Работа с вольтамперфазометром

6.1 Измерение напряжения

Вход **Ua** используется как основной канал измерения напряжения. Он имеет несколько поддиапазонов измерения, повышенную точность и высокую чувствительность. Только по этому входу выполняется измерение частоты сигнала.

Вход **Ua** является опорой при вычислении фазовых углов в трехфазном режиме, а в однофазном – при измерении угла у **Ub** или **Ia**.

Входы **Ub** и **Uc** являются вспомогательными каналами с комбинированным входом. Они участвуют в измерении трехфазного напряжения.

Вход **Uo** является дополнительным каналом измерения напряжения.

Схемы подключения представлены в Приложении Б.

6.2 Измерение силы тока

Для измерения силы тока используются токовые клещи из комплекта поставки.

Токовые клещи привязаны к определенному входу вольтамперфазометра. Для этого на разъеме токовых клещей имеется соответствующая маркировка, выполненная цветом: желтый цвет означает вход **Ia**, зеленый – **Ib**, красный – **Ic**, синий – **Io**. Красная метка на корпусе токовых клещей указывает направление к источнику тока.

В однофазном режиме используются входы **Ia** и **Ib**, в трехфазном - **Ia**, **Ib** и **Ic**. Схемы подключения представлены в Приложении Б.

Вход Ia используется как основной токовый и является опорой только при вычислении угла между двумя сигналами тока.

Вход Io используется как дополнительный канал измерения силы тока.

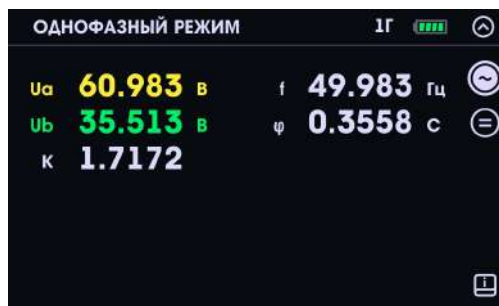
ВНИМАНИЕ!

Если штекер токовых клещей не до конца воткнут в свое гнездо, то вольтамперфазометр или выдаст сообщение об этом или будет некорректно проводить измерение (выводимое значение не меняется). Будьте внимательны.

6.3 Однофазный режим

6.3.1 Сравнение двух сигналов напряжения переменного тока

В однофазном режиме вольтамперфазометр выполняет одновременное измерение напряжения в двух каналах U_a и U_b . Это удобно использовать при сравнении двух независимых сигналов. Например, при снятии векторных диаграмм; проверке фазировки обмоток; определении коэффициента трансформации и т.д.



В однофазном режиме вход Ua используется как опорный, вход Ub используется для измерения второго напряжения с вычислением угла между ними и коэффициента трансформации относительно Ua.

Коэффициент трансформации вычисляется по формуле:

$$K = \frac{U_a}{U_b}.$$

6.3.2 Измерение параметров одной фазы

При подключении токовых клещей ко входу Ia, программа автоматически распознает их и вместо Ub выводит значение Ia, и их данные используются при вычислении мощности и сопротивления.

Вход Ua используется как опорный.

Фазовый угол корректно измеряется только при одинаковой частоте обоих сигналов.

Примеры применения показаны на рисунках Б.6 и Б.7 Приложения Б.



Наличие информации по току и напряжению позволяет вольтамперфазометру вычислить другие параметры однофазной цепи:

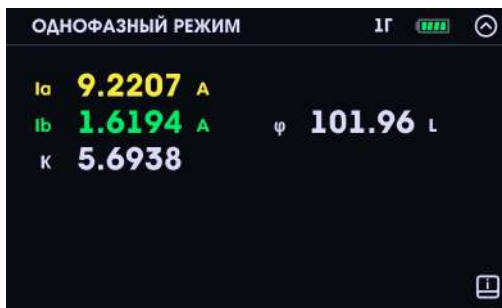
- напряжение U_a и его частоту,
- ток I_a и фазовый угол относительно напряжения U_a ,
- S-полную, P-активную и Q-реактивную мощность,
- косинус и тангенс угла,
- Z-полное, R-активное, X-реактивное сопротивление.

6.3.3 Сравнение двух сигналов силы переменного тока

Для сравнения двух сигналов силы переменного тока используются входы I_a и I_b .

При подключении вторых токовых клещей, программа автоматически распознает это и в первом поле выводит значение силы переменного тока основного входа I_a , а во втором поле – дополнительного I_b .

Этот режим может использоваться, например, при проверке трансформаторов тока для определения коэффициента трансформации и фазового сдвига между первичным и вторичным токами.



Коэффициент трансформации вычисляется по формуле: $K = \frac{I_a}{I_b}$.

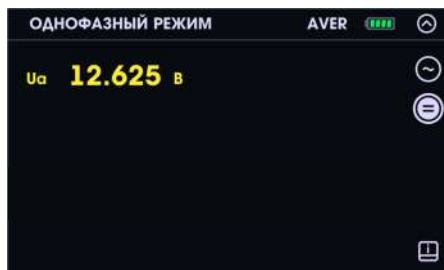
Схема подключения представлена на рисунке Б.8 Приложения Б.

ВНИМАНИЕ!

- С экрана индикатора исчезает параметр «частота», так как она измеряется по каналу U_a , который в этом режиме отключен.
- При малых уровнях сигнала погрешность измерения угла по току увеличивается из-за особенностей работы токовых клещей.

6.3.4 Измерение напряжения и силы постоянного тока

Для измерения напряжения и силы постоянного тока необходимо в окне однофазного режима (без подключения к вольтамперфазометру токовых клещей) выбрать режим «» – появится окно измерения напряжения и силы постоянного тока, при этом значок режима измерения изменится на «AVER».



Если не подключены токовые клещи ко входу I_o на экране отображается только напряжение с учетом знака. При подключении токовых клещей (тип 2) ко входу I_o на экране отобразятся напряжение, сила тока, мощность и сопротивление. После выбора предела на токовых клещах необходимо выбрать соответствующий предел на экране (40 А или 300 А).

Для возврата в режим измерения сигналов напряжения и силы переменного тока выбрать режим «».

6.4 Трехфазный режим

Этот режим позволяет одним подключением снять полную векторную диаграмму трех фаз напряжения и трех фаз тока. При этом в измерении участвуют все входы: U_a , U_b , U_c и токовые клещи, подключенные к входам I_a , I_b , I_c .

6.4.1 Окно отображения основных параметров

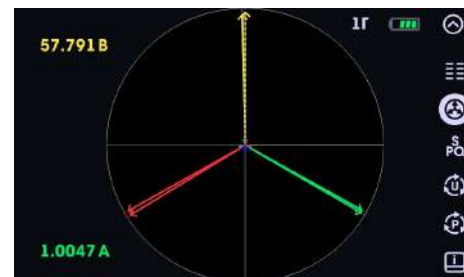
В окне «» отображаются измерения уровней трех фаз напряжения и тока, фаз между ними (U_a служит опорным сигналом) и частоты входа U_a .



Входы U_0 и I_0 применяются для измерения дополнительных параметров, выбранных пользователем.

6.4.2 Векторная диаграмма

В окне «» графически отображается векторная диаграмма трех фаз напряжения и тока. При нажатии на векторную диаграмму она увеличивается на весь экран. При повторном нажатии на экран происходит возврат к предыдущему окну.



6.4.3 Окно отображения мощностей

В окне «» на экране отображаются расчетные значения:

$P_a, Q_a, S_a, \cos \varphi$ – активная, реактивная и полная мощность фазы А, косинус угла между U_a и I_a ;

$P_b, Q_b, S_b, \cos \varphi$ – активная, реактивная и полная мощность фазы В, косинус угла между U_b и I_b ;

$P_c, Q_c, S_c, \cos \varphi$ – активная, реактивная и полная мощность фазы С, косинус угла между U_c и I_c ;

ΣP – суммарная активная мощность всех фаз ($P_a + P_b + P_c$);

K_m – трехфазный коэффициент мощности, рассчитывается по формуле:

$$K_m = \frac{(P_a + P_b + P_c)}{(S_a + S_b + S_c)}.$$



ВНИМАНИЕ!

- РЕТОМЕТР-МЗ отображает все значения тока, напряжения и углов, даже если входные параметры ниже гарантированного порога измерения.
- При малых уровнях сигнала погрешность измерения угла увеличивается.

6.4.4 Симметричные составляющие и проверка чередования фаз

Окна «» и «» показывают симметричные составляющие и чередование фаз, когда вольтамперфазометр вычисляет по измеренным значениям векторной диаграммы тока и напряжения и отображает все значения симметричных составляющих сигнала:

$U_{\text{п}}$, $I_{\text{п}}$, $P_{\text{п}}$, $Q_{\text{п}}$, $S_{\text{п}}$ и $\cos \varphi$ – прямые последовательности тока и напряжения, их активной, реактивной и полной мощности, а также КПД;

U_0 , I_0 , P_0 , Q_0 , S_0 и K_0 – обратные последовательности тока и напряжения, их активной, реактивной и полной мощности, а также коэффициент несимметрии по напряжению (обычно обозначаемый как K_{U2}), в процентах;

U_n , I_n , P_n , Q_n , S_n и K_n - нулевые последовательности тока и напряжения, их активной, реактивной и полной мощности, а также коэффициент несимметрии по напряжению (обычно обозначаемый как K_{U0}), в процентах.



Фазовые углы вычисляются относительно вектора U_p .

По значению симметричных составляющих легко определить **чередование фаз**, как по напряжению, так и по току: U_p и I_p – показывают прямое чередование, U_o и I_o , – обратное.

Присутствие значений U_n и I_n показывает, что показания некорректны, так как отсутствует напряжение на одном из входов.

Дополнительная функция – вычисление мощности по симметричным составляющим – позволяет оценить состояние трехфазной нагрузки и является элементом контроля качества электроэнергии.

ВНИМАНИЕ! Обозначение составляющих отличается от общепринятых. Так вместо прямой последовательности $U_1 (I_1)$ на экран выведено $U_{\Pi} (I_{\Pi}, P_{\Pi}, Q_{\Pi}, S_{\Pi})$, что означает «прямое», вместо обратной последовательности $U_2 (I_2) - U_o (I_o, P_o, Q_o, S_o)$, т.е. «обратное», а вместо нулевой $U_0 (I_0) - U_{\text{H}} (I_{\text{H}}, P_{\text{H}}, Q_{\text{H}}, S_{\text{H}})$, т.е. «нулевое». Коэффициенты обозначены соответственно: вместо $K_{U2} - K_o$, а вместо $K_{U0} - K_{\text{H}}$.

6.5 Осциллограф

Данный режим служит для отображения формы восьми входных сигналов.

В двухэкранном режиме в верхней части отображается графическое представление сигналов напряжения. В нижней части экрана графическое представление сигналов тока. Нажатие на верхнюю или нижнюю область экрана переводит отображение в полноэкранный формат. При нажатии на иконку канала тока или напряжения соответствующий сигнал отображается/скрывается.



При нажатии на иконку  осуществляется вход в меню выбора параметров, где под источником подразумевается канал по которому осуществляется запуск осциллографа.



6.6 Гармоники

В данном режиме осуществляется графическое/табличное отображение гармонических составляющих до пятидесятой гармоники входных сигналов. При нажатии на таблицу происходит переход в графическое отображение. При повторном нажатии на экран происходит возврат к предыдущему окну. Для выбора исследуемого входа выбрать иконку необходимого сигнала.

Гармоники (1/2)

N	Ua, B	N	Ua, B	N	Ua, B	N	Ua, B
1	12.892	14	0.003	27	0.016	40	0.001
2	0.017	15	0.028	28	0.005	41	0.005
3	0.581	16	0.002	29	0.008	42	0.001
4	0.007	17	0.042	30	0.002	43	0.004
5	0.288	18	0.002	31	0.006	44	0.001
6	0.005	19	0.055	32	0.001	45	0.004
7	0.252	20	0.003	33	0.009	46	0.001
8	0.004	21	0.044	34	0.001	47	0.004
9	0.069	22	0.004	35	0.008	48	0.001
10	0.002	23	0.009	36	0.001	49	0.007
11	0.043	24	0.007	37	0.003	50	0.000
12	0.002	25	0.022	38	0.001		
13	0.065	26	0.003	39	0.005		



6.7 Экспресс проверка ВВ выключателей

Высоковольтные выключатели (далее по тексту – ВВ или выключатели) предназначены для оперативных включений и отключений электрооборудования в энергосистеме или же ее отдельных цепей в нормальных или аварийных режимах при автоматическом или ручном управлении. В отключенном состоянии выключатели должны обеспечивать изоляцию между фазами, а также между фазами и землей. Во включенном же состоянии выключатели должны обеспечивать передачу энергии с минимальными потерями.

На базе вольтамперфазометра можно осуществить экспресс проверку двух видов:

- Проверка первого отключения («онлайн» проверка). Данный вид проверки основывается на фиксировании времени срабатывания выключающего элемента в период механического отключения. Способ «первого отключения» позволяет сделать вывод о работе привода в рабочем режиме. Измерение «первого отключения» можно провести всего лишь раз.

- Проверка выведенного ВВ («оффлайн» проверка). Все измерения проводятся на выведенном выключателе. Преимущество такого метода состоит в возможности многократной проверки.

При входе в режим появляется окно с возможностью проведения нового испытания либо просмотра ранее выполненных тестов.



При нажатии на иконку  появляется возможность посмотреть архив испытаний.



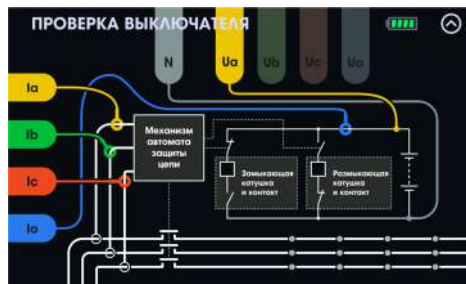
В данном окне иконки  и  служат для перемещения по архиву. Иконка  загружает информацию об испытаниях с microSD-карты. Иконка  редактирует имя испытания.

При нажатии на иконку  появляется следующий экран:

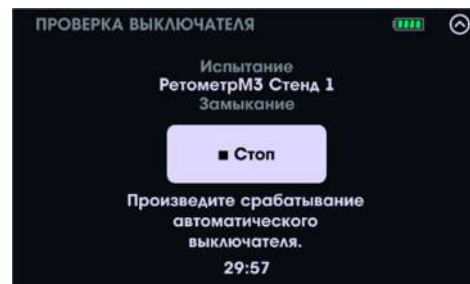


После того как выбрали параметры испытания следует схема подключения вольтамперфазометра.

ВНИМАНИЕ! Канал I_0 используется с токовыми клещами типа 2 (постоянного тока).



После нажатия на экран со схемой подключения появляется следующее окно, где можно проверить правильность подключения. Если схема собрана правильно нажмите «Старт» и вольтамперфазометр будет ожидать подачи тока на управляющий привод. При поступлении тока запускается запоминающий осциллограф, фиксирующий параметры четырёх токов и напряжения на фазе U_a .



В левом окне показан стартовый экран. Под надписью «**Внимание! проверьте подключение!**» показаны неподключенные каналы, при правильном подключении ничего не должно отображаться. После коммутации проверяемого выключателя на экране появится результат испытания.



6.8 Расширенный трехфазный режим

Данный режим служит для отображения линейных напряжений и токов. Надпись **U ABC** и **I ABC** показывает правильность чередования фаз токов и напряжений.



Расчет значений отображаемых параметров ведется согласно формулам:

$$U_{ab} = \sqrt{(U_b * \cos\varphi_b - U_a * \cos\varphi_a)^2 + (U_b * \sin\varphi_b - U_a * \sin\varphi_a)^2}$$

$$U_{bc} = \sqrt{(U_c * \cos\varphi_c - U_b * \cos\varphi_b)^2 + (U_c * \sin\varphi_c - U_b * \sin\varphi_b)^2}$$

$$U_{ca} = \sqrt{(U_a * \cos\varphi_a - U_c * \cos\varphi_c)^2 + (U_a * \sin\varphi_a - U_c * \sin\varphi_c)^2}$$

$$I_{ab} = \sqrt{(I_b * \cos\varphi_b - I_a * \cos\varphi_a)^2 + (I_b * \sin\varphi_b - I_a * \sin\varphi_a)^2}$$

$$I_{bc} = \sqrt{(I_c * \cos\varphi_c - I_b * \cos\varphi_b)^2 + (I_c * \sin\varphi_c - I_b * \sin\varphi_b)^2}$$

$$I_{ca} = \sqrt{(I_a * \cos\varphi_a - I_c * \cos\varphi_c)^2 + (I_a * \sin\varphi_a - I_c * \sin\varphi_c)^2}$$

$$\varphi_{ab} = \varphi_a + \frac{\arccos(U_a^2 + U_{ab}^2 - U_b^2)}{2U_a * U_{ab}} * 180/\pi$$

$$\varphi_{ca} = \varphi_c + \frac{\arccos(U_c^2 + U_{ca}^2 - U_a^2)}{2U_c * U_{ca}} * 180/\pi$$

$$\varphi_{bc} = \varphi_b + \frac{\arccos(U_b^2 + U_{bc}^2 - U_c^2)}{2U_b * U_{bc}} * 180/\pi$$

7 Транспортная сумка

В комплект поставки вольтамперфазометра входит транспортная сумка (рисунок 2.1). В ней имеется основной отсек, разделенный на четыре части, наружный карман и ремень. Сумка и наружный карман закрываются на молнию. Ремень регулируется по длине.

В основном отсеке размещаются: вольтамперфазометр, клещи токовые, измерительные кабели, зажимы и сетевой адаптер. Наружный карман предназначен для хранения разной мелочи.

Вольтамперфазометр имеет 4 магнита для крепления к металлической поверхности – шкаф, панель и т.д. (рисунок 7.1) и к верхней части сумки, в которую вшита металлическая вставка.



Рисунок 7.1 – Крепление вольтамперфазометра к металлической поверхности

8 Обслуживание аккумулятора

В вольтамперфазометре применен литий-полимерный (Li-pol) аккумулятор. Для его длительной и нормальной работы необходимо знать и соблюдать следующие правила:

1) Обычно при поставке потребителю аккумулятор не полностью заряжен, сказывается саморазряд во время хранения и транспортировки. Перед началом эксплуатации вольтамперфазометра аккумулятор необходимо полностью зарядить – разрядить два-три раза.

2) Подзарядка происходит через сетевой адаптер, при этом индикатор заряда светит красным цветом. Процесс зарядки контролирует сам вольтамперфазометр, и при достижении номинальной емкости, он ее приостанавливает. Для полной зарядки требуется около 4 часов. Вольтамперфазометр может быть включен в сеть на неограниченно долгое время без какой-либо опасности повреждения аккумулятора.

3) Аккумулятор не имеет эффекта «памяти», поэтому заряжать его можно при любом оставшемся заряде. Обычно гарантируется время жизни более 500 циклов «заряд-разряд». Более реалистично рассчитывать на 400 циклов, в зависимости от условий эксплуатации.

4) Аккумулятор имеет саморазряд, составляющий 2-5 % в месяц, поэтому не допускайте длительное хранение аккумулятора в разряженном состоянии, это может привести к его разрушению.

5) Для сохранения заряда аккумулятора, вольтамперфазометр между измерениями желательно выключать.

6) Индикатором состояния аккумулятора служит символ , расположенный в верхнем правом углу экрана. Если вертикальные полосы отсутствуют, то аккумулятор разряжен.

7) При подключении вольтамперфазометра к сети на экране появляется символ , указывающий о процессе заряда аккумулятора.

8) Если при полной зарядке вольтамперфазометр работает менее 2 часов, то аккумулятор необходимо заменить.

9 Возможные неисправности и способы их устранения

Таблица 9.1

Возможные неисправности	Вероятная причина	Способ устранения
При включенном вольтамперфазометре ничего не отображается на дисплее	- аккумулятор разрядился сверх допустимого (ниже 2,8 В)	- зарядить аккумулятор
Показания тока отличаются от ожидаемых	- штекер токовых клещей до конца не вставлен, губки клещей полностью не замкнуты	- проверить подключение клещей к вольтамперфазометру; - проверить состояние губок клещей
Показания вольтамперфазометра «скачут»	- отсутствует напряжение на входе U_a	- убедиться, что сигнал имеет частоту 50 Гц; - проверить схему подключения вольтамперфазометра; - включить режим «1Г»

10 Поверка вольтамперфазометра в эксплуатации

Вольтамперфазометр, находящийся в эксплуатации, должен проходить периодическую поверку. Очередной срок поверки устанавливается потребителем, исходя из интенсивности использования вольтамперфазометра, но не реже 1 раза в 2 года.

Поверка вольтамперфазометра производится в соответствии с документом БРГА.411259.008 МП. «Вольтамперфазометры цифровые РЕТОМЕТР-М3. Методика поверки».

11 Калибровка

Режим служит для калибровки метрологических параметров вольтамперфазометра и применяется в процессе производства. Изменение этих параметров может привести к ухудшению метрологических характеристик и неправильной работе вольтамперфазометра. Вход в данный режим защищен паролем и для рядового пользователя недоступен.

12 Техническое обслуживание

Техническое обслуживание (на месте эксплуатации) вольтамперфазометра должно проводиться не менее одного раза в 6 месяцев лицом ответственным за эксплуатацию оборудования.

Техническое обслуживание включает в себя проверку отсутствия повреждений, влияющих на работу, удаления загрязнений и пыли.

Для очистки внешних поверхностей вольтамперфазометра использовать мягкую ткань. С особой осторожностью необходимо чистить экран, чтобы избежать царапин.

Не использовать растворители и абразивные средства для чистки вольтамперфазометра.

Избегать воздействия на вольтамперфазометр неблагоприятных внешних воздействий. Корпус вольтамперфазометра не является водонепроницаемым.

Не подвергать длительному воздействию прямого солнечного света.

13 Правила хранения и транспортирования

Вольтамперфазометры следует хранить в помещении при температуре окружающего воздуха от 5 до 40 °С и относительной влажности до 80 % при температуре 25 °С.

В помещениях для хранения содержание пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других примесей, вызывающих коррозию, не должно превышать содержания коррозионно-активных агентов атмосферы типа I по ГОСТ 15150-69.

Вольтамперфазометры транспортировать закрытым автомобильным, железнодорожным и воздушным транспортом. При перевозках по железной дороге вид отправки – грузобагаж. При перевозках самолетом вольтамперфазометры должны быть размещены в отапливаемых герметизированных отсеках.

Значения климатических и механических воздействий при транспортировании должны соответствовать группе 2 по ГОСТ 22261-94.

14 Сведения об утилизации

Материалы и комплектующие, используемые при изготовлении вольтамперфазометра, не оказывают вредного влияния на окружающую среду, за исключением аккумулятора. Требования обеспечиваются схемотехническими решениями и конструкцией вольтамперфазометра.

Изношенные литиевые элементы подлежат сбору и транспортировке на специализированные предприятия, имеющие лицензию на утилизацию Li-pol аккумуляторов.

15 Гарантийные обязательства

Изготовитель гарантирует соответствие параметров вольтамперфазометра характеристикам, изложенным в таблице 3.1, при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, обслуживания, хранения и транспортирования, изложенных в настоящем руководстве.

В случае наличия механических повреждений токовых клещей, производитель не несет гарантийных обязательств.

Гарантийный срок эксплуатации – 5 лет со дня передачи изделия покупателю и не более 6 лет со дня изготовления.

Гарантийный срок на аккумулятор – 3 месяца.

Рекламации предъявляются в установленном порядке по адресу:

428015, Россия, г. Чебоксары, ул. Анисимова, 6,

ООО «Научно-производственное предприятие «Динамика» (ООО «НПП «Динамика»).

Электронный адрес: info@retom.ru.

Тел./факс (8352) 58-07-13.

Приложение А

Расчетные параметры вольтамперфазометра

Таблица А.1

Наименование параметра	Ссылка на ГОСТ или расчетная формула
Среднеквадратичное значение напряжения переменного тока с учетом гармонических составляющих от 1 до n (до 50 порядка), В	$U_{(1-50)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} U_{sg,n}^2}^{1)}$
Значение силы переменного тока с учетом гармонических составляющих от 1 до n (до 50 порядка), А	$I_{(1-50)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{50} I_{sg,n}^2}^{2)}$
Значение линейного напряжения переменного тока, В	$\dot{U}_{\text{лин}} = \dot{U}_{\text{фаза1}} - \dot{U}_{\text{фаза2}}$
Значение линейной силы переменного тока, В	$\dot{i}_{\text{лин}} = \dot{i}_{\text{фаза1}} - \dot{i}_{\text{фаза2}}$
Активная фазная электрическая мощность (P), Вт	ГОСТ 8.655-2009
Реактивная фазная электрическая мощность (Q), вар	ГОСТ 8.655-2009
Полная фазная электрическая мощность (S), В·А	ГОСТ 8.655-2009
Суммарная активная трехфазная электрическая мощность (ΣP), Вт	$\Sigma P = P_A + P_B + P_C$
Коэффициент мощности трехфазного сигнала (Км) отн. ед, (ΣS – трехфазная полная электрическая мощность)	$k_M = \Sigma P / \Sigma S,$ $\Sigma S = S_A + S_B + S_C$

Продолжение таблицы А.1

Наименование параметра	Ссылка на ГОСТ или расчетная формула
Значение напряжения переменного тока прямой последовательности (U_p), В	$U_p = \frac{1}{3} \cdot \left \dot{U}_A + e^{j\frac{2\pi}{3}} \dot{U}_B + e^{j\frac{4\pi}{3}} \dot{U}_C \right $
Значение напряжения переменного тока обратной последовательности (U_o), В	$U_o = \frac{1}{3} \cdot \left \dot{U}_A + e^{j\frac{4\pi}{3}} \dot{U}_B + e^{j\frac{2\pi}{3}} \dot{U}_C \right $
Значение напряжения переменного тока нулевой последовательности (U_n), В	$U_n = \frac{1}{3} \cdot \left \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C \right $
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности (K_o), %	$K_o = 100 \cdot U_o / U_p$ ГОСТ 30804.4.30-2013
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности (K_n), %	$K_n = 100 \cdot U_n / U_p$ ГОСТ 30804.4.30-2013
Значение силы переменного тока прямой последовательности (I_p), А	$I_p = \frac{1}{3} \cdot \left i_A + e^{j\frac{2\pi}{3}} i_B + e^{j\frac{4\pi}{3}} i_C \right $
Значение силы переменного тока обратной последовательности (I_o), А	$I_o = \frac{1}{3} \cdot \left i_A + e^{j\frac{4\pi}{3}} i_B + e^{j\frac{2\pi}{3}} i_C \right $
Значение силы переменного тока нулевой последовательности (I_n), А	$I_n = \frac{1}{3} \cdot \left i_A + i_B + i_C \right $
Угол фазового сдвига между напряжением и током прямой последовательности	ГОСТ 8.655-2009
Угол фазового сдвига между напряжением и током обратной последовательности	ГОСТ 8.655-2009
Угол фазового сдвига между напряжением и током нулевой последовательности	ГОСТ 8.655-2009

Продолжение таблицы А.1

Наименование параметра	Ссылка на ГОСТ или расчетная формула
Активная электрическая мощность прямой последовательности (P_n), Вт	$P_n = U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_{U_n I_n}$
Активная электрическая мощность обратной последовательности (P_o), Вт	$P_o = U_o \cdot I_o \cdot \cos \varphi_{U_o I_o}$
Активная электрическая мощность нулевой последовательности (P_H), Вт	$P_H = U_H \cdot I_H \cdot \cos \varphi_{U_H I_H}$
Реактивная электрическая мощность прямой последовательности (Q_n), вар	$Q_n = U_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_{U_n I_n}$
Реактивная электрическая мощность обратной последовательности (Q_o), вар	$Q_o = U_o \cdot I_o \cdot \sin \varphi_{U_o I_o}$
Реактивная электрическая мощность нулевой последовательности (Q_H), вар	$Q_H = U_H \cdot I_H \cdot \sin \varphi_{U_H I_H}$
Полная электрическая мощность прямой последовательности (S_n), В·А	$S_n = U_n \cdot I_n$
Полная электрическая мощность обратной последовательности (S_o), В·А	$S_o = U_o \cdot I_o$
Полная электрическая мощность нулевой последовательности (S_H), В·А	$S_H = U_H \cdot I_H$
Значение полного электрического сопротивления (Z), Ом	$Z = \frac{U}{I}$
Значение активного электрического сопротивления (R), Ом	$R = Z \cdot \cos \varphi_{UI}$
Значение реактивного электрического сопротивления (X), Ом	$X = Z \cdot \sin \varphi_{UI}$
Измерение временных интервалов сигнала	$T = \frac{1}{F}$
¹⁾ $U_{sg,n}$ – СКЗ гармонической подгруппы напряжения, ГОСТ 30804.4.7-2013, ГОСТ 30804.4.30-2013; ²⁾ $I_{sg,n}$ – СКЗ гармонической подгруппы тока, ГОСТ 30804.4.7-2013	

Приложение Б

Схемы подключения вольтамперфазометра

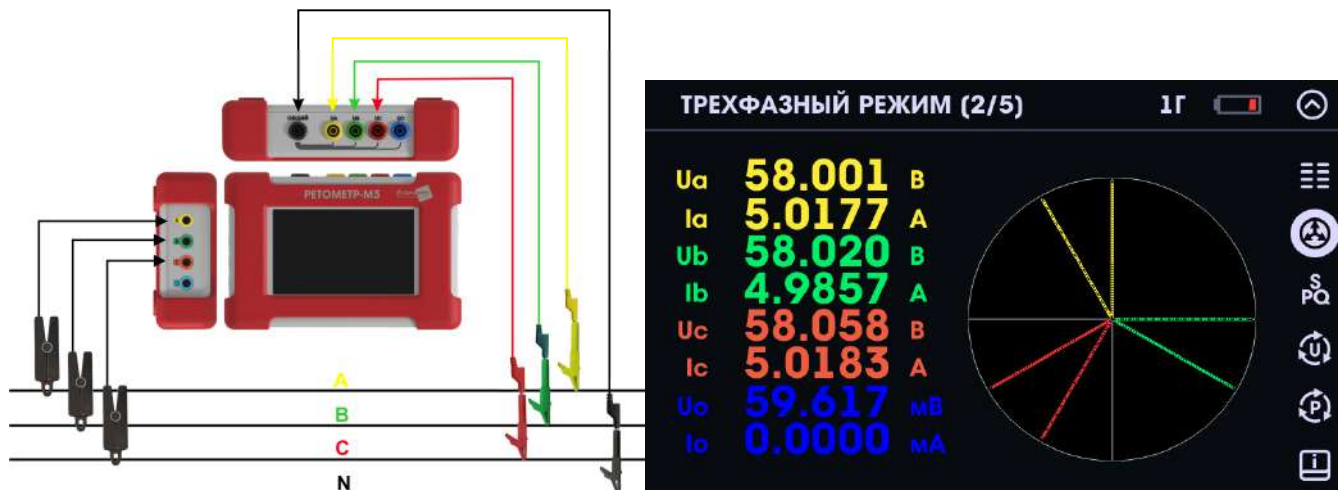


Рисунок Б.1 – Стандартная схема подключения к трехфазной сети «звездой» и ее векторная диаграмма

ВНИМАНИЕ! В схеме подключения к трехфазной системе черный провод необходимо подключить к нейтрале.

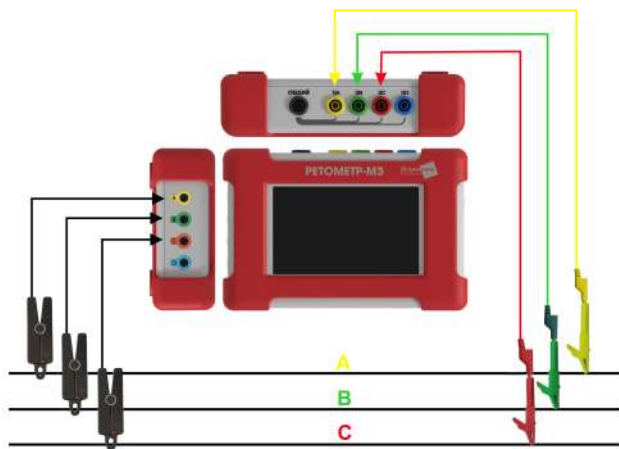


Рисунок Б.2 – Схема подключения к трехфазной сети «треугольником» и ее векторная диаграмма

ВНИМАНИЕ!

- Фаза «В» может быть заземлена.
- При подключении этой схемы не обеспечивается высокая точность измерений, т.к. погрешность зависит от симметрии фаз. Эту схема рекомендуется использовать для контроля наличия напряжения и определения чередования фаз.

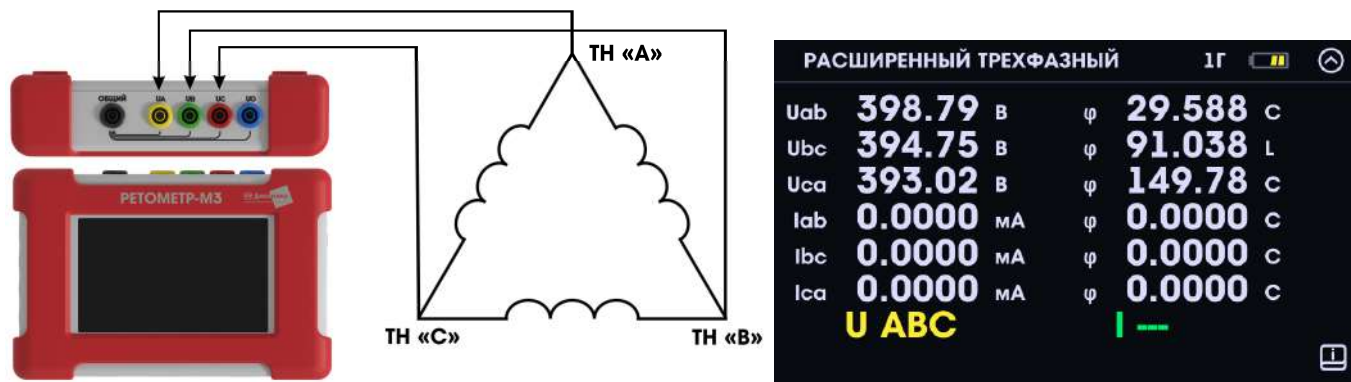


Рисунок Б.3 – Стандартная схема подключения к трехфазной сети «треугольником»

ВНИМАНИЕ! При отсутствии нулевого провода можно использовать схему подключения «треугольником» на линейное напряжение.

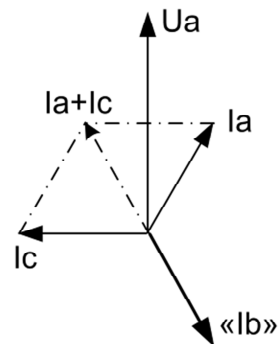
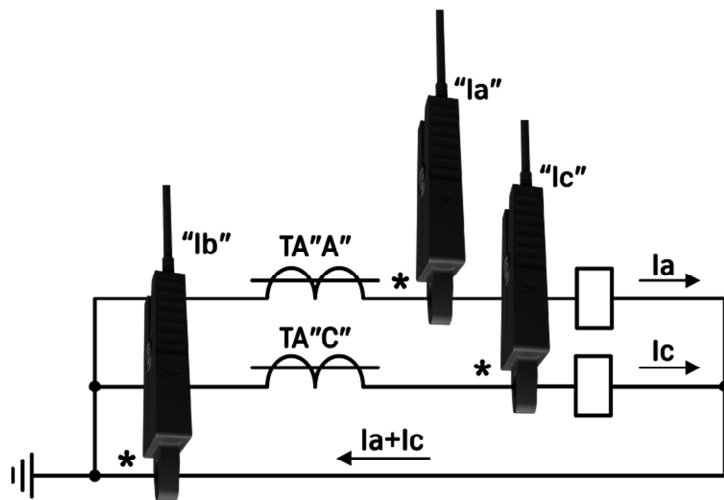


Рисунок Б.4 – Схема подключения к трехфазной сети при наличии двух ТТ и ее векторная диаграмма

ВНИМАНИЕ!

- При отсутствии третьего трансформатора тока клещи фазы «В» подключают в общий провод с поворотом на 180° .
- Цепи напряжения не показаны.

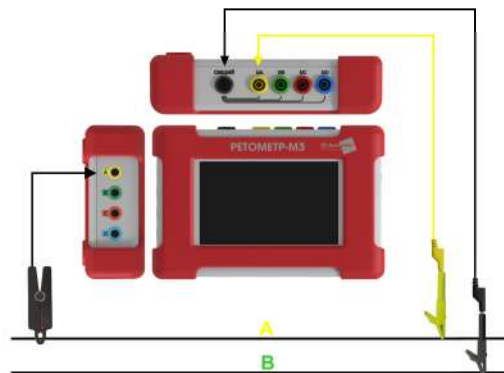
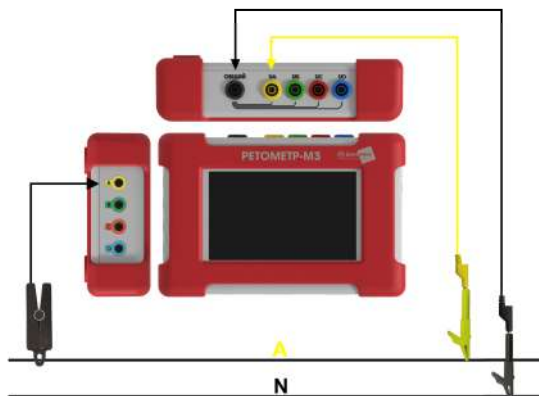
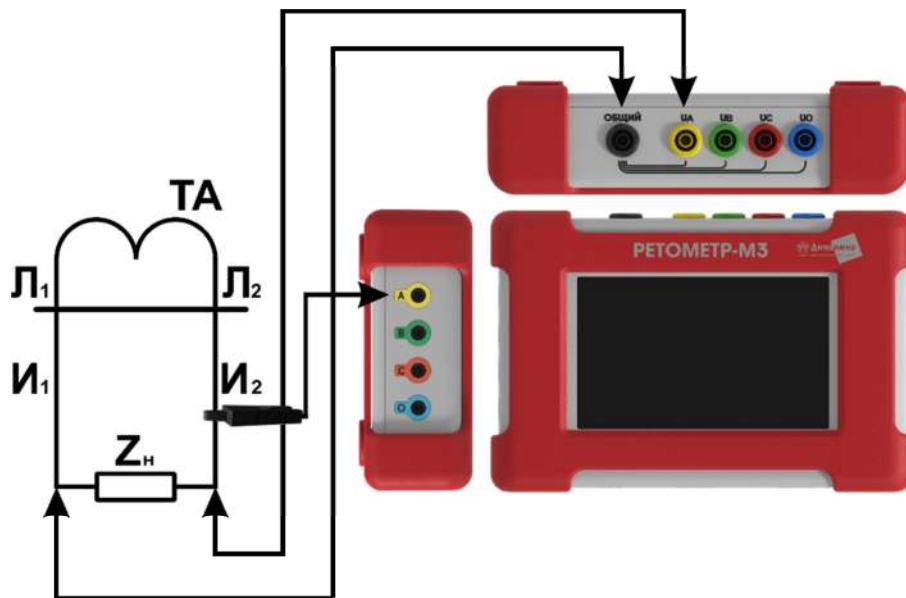


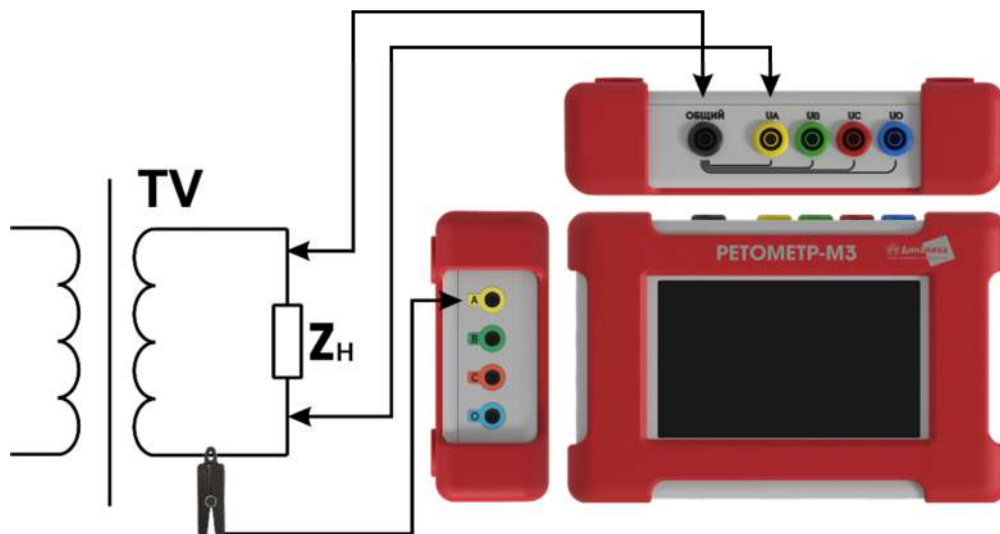
Рисунок Б.5 – Однофазная схема подключения

ВНИМАНИЕ! В схеме подключения к однофазной сети, общий вход (черное гнездо) каналов напряжения может быть подключен к нулевому проводу или к другой фазе на линейное напряжение.



TA – трансформатор тока;
 Z_H – сопротивление нагрузки

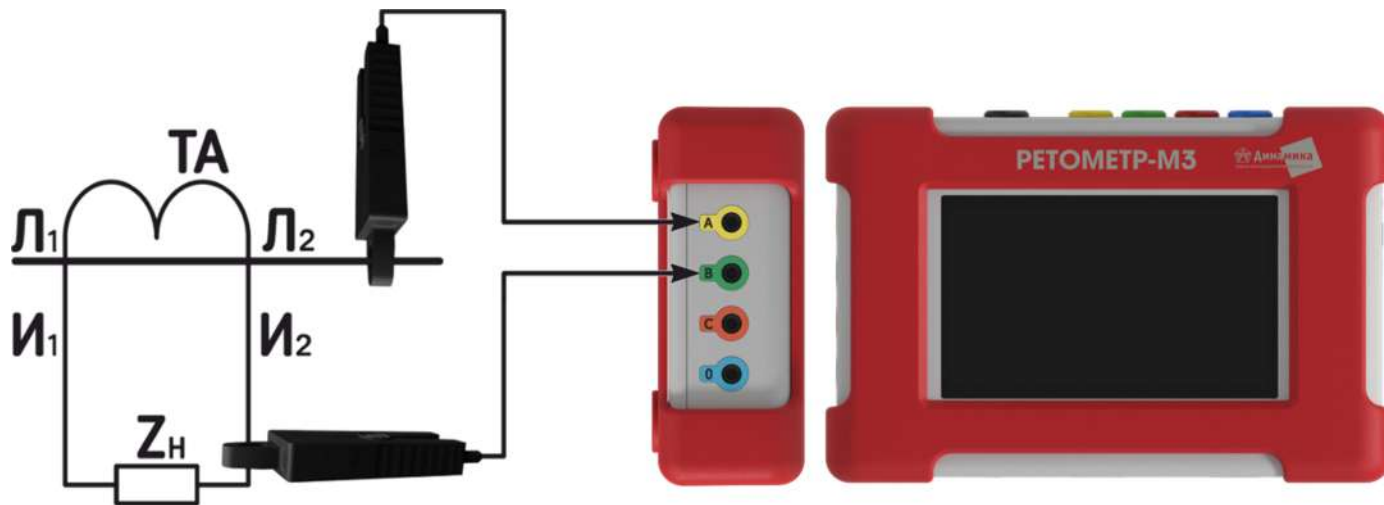
Рисунок Б.6 – Схема проверки вторичных цепей трансформатора тока
 (измерение мощности потребления и общее сопротивление)



*TV – трансформатор напряжения;
 $Z_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки*

Рисунок Б.7 – Схема проверки вторичных цепей трансформатора напряжения
 (измерение мощности потребления и сопротивления)

ВНИМАНИЕ! Первичное напряжение организуется посторонним источником.



*ТА – трансформатор тока;
 Z_H – сопротивление нагрузки*

Рисунок Б.8 – Схема определения полярности обмоток, коэффициента трансформации и фазового сдвига между обмотками трансформатора тока

ВНИМАНИЕ! Ток в линии (Л1-Л2) организуется посторонним источником.



Рисунок Б.9 – Схема подключения при контроле параметров цепи постоянного тока