



# **АНАЛИЗАТОРЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**PQM-702T**

**PQM-703**

**PQM-710**

**PQM-711**

**РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Версия 1.2

<b>1</b>	<b>ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b>	<b>6</b>
1.1	Безопасность	6
1.2	Общая характеристика	7
1.3	Питание анализатора	10
1.4	Герметичность и работа вне помещений	11
1.5	Монтаж на DIN-рейку	11
1.6	Параметры измерений	12
1.7	Соответствие стандартам	15
<b>2</b>	<b>ЭКСПЛУАТАЦИЯ АНАЛИЗАТОРА</b>	<b>17</b>
2.1	Клавиатура	17
2.2	Включение и выключение	17
2.3	Функция автоматического выключения	18
2.4	Изображения на дисплее (экраны)	18
2.5	Программа „Sonel Analiza”	22
2.6	Соединение с ПК и передача данных	23
2.6.1	Связь по USB	24
2.6.2	Радиосвязь с помощью OR-1 <b>PQM-702 PQM-703</b>	24
2.6.3	Связь по сети GSM	24
2.6.4	Беспроводная связь по Wi-Fi <b>PQM-710 PQM-711</b>	25
2.7	Проведение измерений	26
2.7.1	Точки измерений	26
2.7.2	Запуск и остановка регистрации	26
2.7.3	Приблизительное время регистрации	27
2.8	Измерительные системы	28
2.9	Пример использования	33
2.10	Синхронизация времени	37
2.10.1	Требования стандарта PN-EN 61000-4-30	37
2.10.2	Приемник GPS	38
2.10.3	Маркировка данных измерения	38
2.10.4	Ресинхронизация времени	39
2.11	Работа в режиме связи по GSM	40
2.11.1	Общая информация о подключении GSM	40
2.11.2	Настройка модема	40
2.11.3	Проверка соединения GSM	42
2.11.4	Возможные проблемы с конфигурацией GSM и рекомендуемые действия	43
2.12	Работа по беспроводному соединению Wi-Fi <b>PQM-710 PQM-711</b>	44
2.12.1	Общая информация	44
2.12.2	Заводская конфигурация	46
2.12.3	Включение/ отключение/ настройка точки доступа Wi-Fi в планшете	46
2.12.4	Настройка подключения Wi-Fi с помощью соединения по USB	48
2.12.5	Изменение настроек Wi-Fi в базе анализаторов при отсутствии соединения USB	50
2.12.6	Проверка соединения Wi-Fi	50
2.12.7	Возможные проблемы с настройкой Wi-Fi и рекомендуемые действия	51
2.12.8	Перенос данных с планшета на стационарный компьютер	52

2.13	Уведомление о перемещении анализатора .....	53
2.14	Блокировка клавиатуры .....	54
2.15	Спящий режим.....	54
<b>3</b>	<b>КОНСТРУКЦИЯ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ .....</b>	<b>55</b>
3.1	Входы по напряжению .....	55
3.2	Входы по току .....	55
3.3	Цифровой интегратор .....	55
3.4	Дискретизация сигнала .....	56
3.5	Синхронизация ФАПЧ.....	57
3.6	Измерение частоты.....	58
3.7	Метод измерения гармонических составляющих .....	58
3.8	Метод измерения интергармоник.....	59
3.9	Измерение сигналов управления .....	60
3.10	Измерение транзиевтов .....	60
3.10.1	Метод пороговых значений .....	61
3.10.2	Метод $dV/dt$ .....	61
3.11	Функция ограничения тока.....	62
3.12	Обнаружение событий .....	63
3.13	Методы усреднения параметров .....	65
<b>4</b>	<b>РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ .....</b>	<b>66</b>
4.1	Однофазная сеть.....	66
4.2	Двухфазная сеть.....	70
4.3	Трехфазная сеть «звезда» с N.....	71
4.4	Трехфазная сеть «треугольник» и «звезда» без N .....	73
<b>5</b>	<b>РУКОВОДСТВО ПО ПАРАМЕТРАМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ .....</b>	<b>74</b>
5.1	Основные сведения.....	74
5.1.1	Жесткие клещи (СТ) для измерения переменного тока (AC).....	75
5.1.2	Токовые клещи для измерения переменного и постоянного тока (AC/DC).....	76
5.1.3	Гибкие клещи Роговского .....	76
5.2	Мерцание света (фликер) .....	78
5.3	Измерение мощности .....	78
5.3.1	Активная мощность.....	79
5.3.2	Реактивная мощность .....	79
5.3.3	Реактивная мощность в 3-проводных схемах.....	83
5.3.4	Реактивная мощность и счетчики реактивной энергии.....	84
5.3.5	Полная мощность .....	85
5.3.6	Мощность искажения $D_V$ и эффективная полная мощность искажения $S_{eN}$ .....	86
5.3.7	Коэффициент мощности.....	87
5.4	Гармоники .....	87
5.4.1	Активная мощность гармоник.....	89
5.4.2	Реактивная мощность гармоник.....	90
5.4.3	Характеристика гармоник в трехфазных сетях.....	91
5.4.4	Коэффициент гармонических искажений (THD) .....	92
5.4.5	Коэффициент K.....	93

5.5	Интергармоники .....	93
5.5.1	Коэффициент интергармонических искажений (TID).....	94
5.6	Сигналы управления .....	95
5.7	Асимметрия.....	97
5.8	Провалы, перенапряжения и прерывания напряжения.....	98
5.9	Транзиенты и скачки напряжения .....	100
5.10	Линии СВEMA и ANSI.....	102
5.11	Усреднение результатов измерений .....	103
<b>6</b>	<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ .....</b>	<b>106</b>
6.1	Входы.....	107
6.2	Дискретизация и часы реального времени RTC .....	107
6.3	Модуль транзиентов <b>PQM-711</b> <b>PQM-703</b> .....	108
6.4	Измеряемые параметры - точности, разрешения и диапазоны.....	108
6.4.1	Условия для поверки .....	108
6.4.2	Погрешности измерения в зависимости от температуры окружающей среды..	109
6.4.3	Напряжение .....	109
6.4.4	Ток .....	109
6.4.5	Частота.....	110
6.4.6	Гармоники .....	110
6.4.7	Интергармоники.....	110
6.4.8	Мощность гармоник.....	111
6.4.9	Мощность и энергия.....	111
6.4.10	Оценка погрешности измерения мощности и энергии .....	112
6.4.11	Мерцание света (фликер).....	114
6.4.12	Асимметрия .....	114
6.4.13	Сигналы управления .....	114
6.4.14	Транзиенты <b>PQM-703</b> <b>PQM-711</b> .....	114
6.5	Регистрация событий - действующие значения напряжения и тока.....	114
6.6	Регистрация событий - дополнительные параметры .....	115
6.6.1	Гистерезис обнаружения событий.....	116
6.7	Регистрация.....	116
6.8	Питание и нагреватель .....	118
6.9	Поддерживаемые сети .....	118
6.10	Поддерживаемые токовые клещи .....	119
6.11	Интерфейс.....	119
6.12	Условия окружающей среды и другие технические данные .....	119
6.13	Безопасность и электромагнитная совместимость.....	120
6.14	Стандарты.....	120
<b>7</b>	<b>КОМПЛЕКТАЦИЯ.....</b>	<b>121</b>
7.1	Стандартная комплектация .....	121
7.2	Дополнительная комплектация.....	121
7.3	Внешняя активная антенна GPS .....	122
<b>8</b>	<b>ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРИБОРА.....</b>	<b>122</b>
<b>9</b>	<b>ХРАНЕНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ.....</b>	<b>122</b>

<b>11</b>	<b>СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗГОТОВИТЕЛЕ.....</b>	<b>123</b>
<b>12</b>	<b>СВЕДЕНИЯ О ПОСТАВЩИКЕ .....</b>	<b>123</b>
<b>13</b>	<b>СВЕДЕНИЯ О СЕРВИСНОМ ЦЕНТРЕ.....</b>	<b>123</b>

# 1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

## 1.1. Безопасность



Приборы PQM-702T, PQM-703, PQM-710 и PQM-711 предназначены для измерения, регистрации и анализа параметров электропитания. Для обеспечения безопасной эксплуатации и достоверности полученных результатов, необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- Перед началом работы с анализатором необходимо внимательно изучить данное Руководство и строго соблюдать правила техники безопасности и инструкции Производителя;
- Использование анализатора любым другим способом, кроме указанного в данном Руководстве, может привести к повреждению прибора и стать источником серьезной опасности для Пользователя;
- Анализаторы могут использоваться только квалифицированным персоналом, имеющим соответствующий допуск к работам с электрическим оборудованием. Применение прибора посторонними лицами может привести к его повреждению и стать источником серьезной опасности для Пользователя;
- Запрещается подключать прибор к сети и оборудованию в помещениях с особыми условиями, например, в пожаро- и взрывоопасной атмосфере;
- Недопустимо применение:
  - ⇒ прибора, который поврежден и полностью или частично неисправен;
  - ⇒ проводов с поврежденной изоляцией;
- Нельзя запитывать анализатор от других источников электропитания, не указанных в данном Руководстве;
- Если возможно, подключайте анализатор к обесточенной цепи;
- Открытые заглушки на разъемах прибора приводят к потере герметичности, что при неблагоприятных атмосферных явлениях может вызвать повреждение анализатора, а также опасность поражения Пользователя электрическим током;
- Ремонт прибора может выполняться только авторизованным сервисным центром.

**Измерительная категория всей системы зависит от используемых принадлежностей. Подключение к анализатору принадлежностей (например, токоизмерительных клещей) более низкой измерительной категории снижает категорию измерений всей системы.**

### Внимание:

- Нельзя откручивать гайки на сальниках проводов, т.к. они приклеены.  
Откручивание гаек приводит к потере гарантии.
- Нельзя переносить анализатора, удерживая за провода.



Символом с названием анализатора обозначены части текста, касающиеся специфических особенностей данного анализатора, в частности, доступности или недоступности данной функции программы. Любые другие фрагменты текста относятся к о всем типам анализаторов.

## 1.2. Общая характеристика

Анализатор параметров качества электрической энергии PQM-702T, PQM-703, PQM-710 и PQM-711 (Рис.1) – это передовые высокотехнологичные продукты, позволяющие проводить всесторонние измерения, анализ и регистрацию параметров сети 50/60 Гц и качества электрической энергии в соответствии с европейским стандартом EN 50160 и действующими ГОСТ 30804.4.30-2013 (ГОСТ Р 51317.4.30–2008 (МЭК 61000-4-30:2008)), и ГОСТ 30804.4.7-2013 (ГОСТ Р 51317.4.7–2008 (МЭК 61000-4-7:2002)). Анализаторы полностью соответствует стандарту ГОСТ 30804.4.30-2013 класса А.

Анализаторы оснащены пятью измерительными входами по напряжению, с проводами, заканчивающимися разъемами типа «банан» и обозначенными L1, L2, L3, N и PE. Диапазон напряжений, измеренных по четырем каналам – это максимально  $\pm 1500$  В (анализаторы имеют два поддиапазона напряжений). Этот диапазон можно увеличить, применяя дополнительные внешние трансформаторы напряжения.

Для измерения тока используются четыре токовых входа с короткими измерительными проводами, заканчивающихся разъемами для подключения токоизмерительных клещей. К ним можно подключить: гибкие клещи F-1, F-2, F-3, с номинальным диапазоном до 3000 А (отличаются только диаметром обхвата), жесткие клещи С-4 (диапазон до 1000 А переменного тока), С-5 (диапазон до 1000 А переменного и постоянного тока), С-6 (диапазон до 10 А переменного тока) и С-7 (диапазон до 100 А переменного тока). Также как и при измерении напряжения, номинальный диапазон может быть изменен с помощью дополнительных трансформаторов тока, например, применяя трансформатора 100:1 с клещами С-6 можно измерять токи до 1000 А.

Прибор оснащен встроенной картой памяти емкостью 8 Гб. Для обеспечения возможности быстрого считывания записанных данных, анализатор оснащен встроенным считывающим устройством, что позволяет чтение данных со скоростью порядка нескольких Мб/с. Данные могут быть считаны с использованием имеющихся каналов связи: USB, радиосвязи с использованием приемника OR-1 (только PQM-702T и PQM-703), по радиосвязи Wi-Fi (только PQM-710 и PQM-711) и GSM.

Модем GSM (с поддержкой стандарта UMTS) встроен в устройство вместе с антенной. Это дает практически неограниченный доступ к анализатору из любой точки мира, где есть покрытие GSM. На левой стороне корпуса находится слот для SIM-карты, необходимой для передачи данных по GSM.

Анализаторы имеют встроенный GPS-приемник вместе с антенной, благодаря этому без каких-либо дополнительных аксессуаров они полностью соответствует требованиям ГОСТ 30804.4.30-2013 класса А. Приемник GPS обеспечивает синхронизацию с всемирным координированным временем UTC и позволяет достичь точности измерения времени до нескольких десятков наносекунд. Для приемников GPS получение спутникового сигнала возможно на открытой местности, поэтому синхронизация с помощью встроенной антенны происходит только снаружи зданий. В случае использования анализатора внутри здания, для того, чтобы обеспечить наличие сигнала GPS, необходимо подключить к анализатору внешнюю GPS антенну (с длиной кабеля 10 м) и вывести ее на внешнюю сторону здания. Внешняя антенна является дополнительным аксессуаром.

Регистрируемые параметры разделены на группы, которые можно независимо от других включать или выключать из регистрации, что позволяет рационально использовать место на карте памяти. Не регистрируемые параметры не занимают места, тем самым можно значительно продлить время записи других параметров.

Таблица. 1. Основные различия между анализаторами

	PQM-702T	PQM-703	PQM-710	PQM-711
Модуль транзиентов		•		•
Радиомодуль 433 МГц (вместе с приемником OR-1)	•	•		
Модуль Wi-Fi			•	•
Специальный планшет в комплекте			•	•

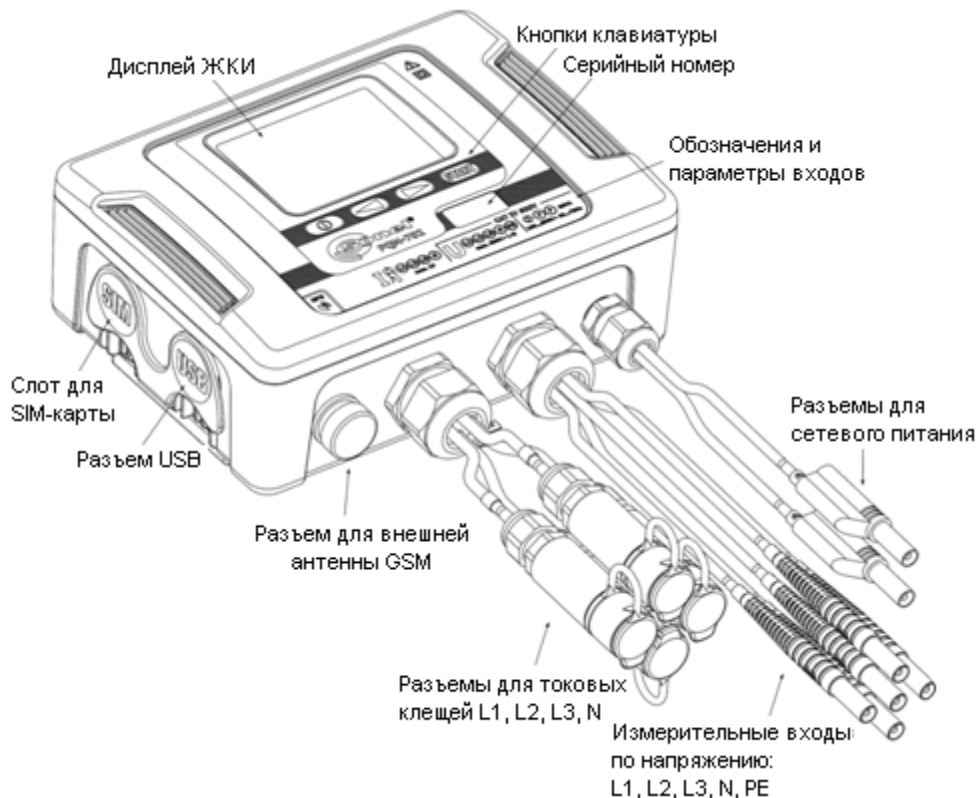


Рис. 1. Анализатор качества электрической энергии. Общий вид.



Анализатор содержит внутренний блок питания с широким диапазоном входного переменного 90...760В (127...760В постоянного) напряжения, который имеет отдельные провода с разъемами типа «банан» на концах.

Важной особенностью является приспособленность к работе в сложных погодных условиях – анализатор может быть установлен непосредственно на столбах линии электропередачи. Он обеспечивает герметичность класса IP65, а диапазон рабочих температур составляет -20°C...+55°C.

Бесперебойную работу в условиях пропадания напряжения питания обеспечивает встроенный литий-ионный аккумулятор.

Пользовательский интерфейс включает в себя цветной жидкокристаллический дисплей с разрешением 320x240 пикселей и размером 3,5 дюйма, а также 4-кнопочную клавиатуру.

Элементом, позволяющим проявить весь потенциал устройства, является специализированное программное обеспечение для персонального компьютера «Sonel Analyza 2» .

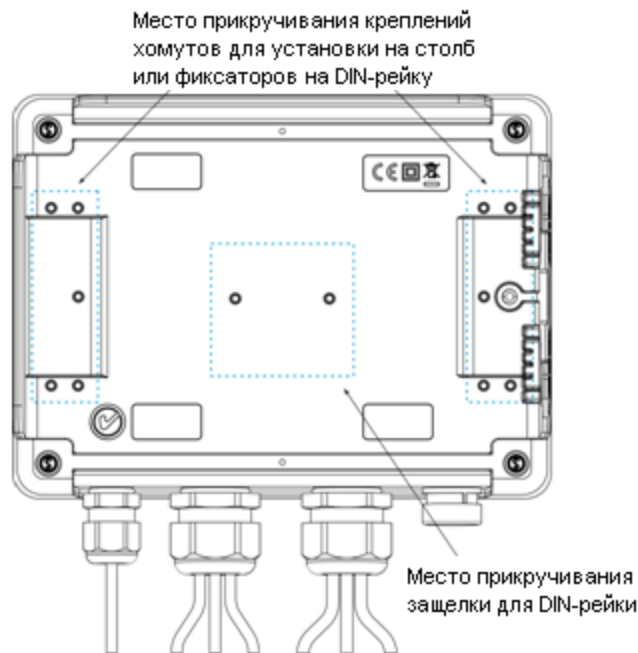
Связь с компьютером возможна путем:

- подключение по USB, обеспечивающее скорость передачи данных до 921,6 кбит/с; в режиме считывания данных с карты памяти - скорость порядка Мбит/с,
- **PQM-702 PQM-703** по радиосвязи 433 МГц при использовании приемника OR-1, со скоростью передачи данных до 57,6 кбит/с (дальность ограничена примерно 5 м).
- **PQM-710 PQM-711** соединение по радио Wi-Fi с эффективной скоростью передачи данных до 300 кб/с (максимальная скорость поддерживается на дистанции до 10 м)
- подключение GSM через Интернет.

**PQM-702 PQM-703** Чтобы иметь возможность использовать режим беспроводной связи с компьютером, необходимо подключить приемник радиосигнала OR-1 к порту USB компьютера. Скорость передачи данных в этом режиме медленнее, поэтому он рекомендуется для просмотра текущих данных сети, измеренных анализатором и для настройки и управления анализатором. В связи с медленной передачей данных, не рекомендуется считывание по радиосвязи больших объемов данных, записанных на карте памяти.

**PQM-710 PQM-711** Анализатор поставляется со специальным планшетом, который предварительно настроен для работы с прибором. При включении планшета запускается приложение "Sonel Analiza", которое автоматически выполняет поиск назначенного анализатора. Планшет выступает в качестве точки доступа (англ. *Access Point*), к которой по беспроводному соединению Wi-Fi подключается анализатор. Дополнительная информация о настройке Wi-Fi и возможных режимах передачи данных находится в приложении к руководству пользователя программы „Sonel Analiza” и в главе. 2.6.4.

Передача данных по сети GSM потребует установки в гнездо анализатора действующей SIM- карты пользователя, с подключенной услугой передачи данных и статического IP адреса. Компьютер, который будет подключаться к анализатору, должен иметь доступ к Интернету.



**Рис.2. Задняя панель анализатора.**

**PQM-703** **PQM-711** По сравнению с моделями PQM-702T и PQM-710, анализаторы PQM-703 и PQM-711 дополнительно позволяют измерение транзиентов (коротких всплесков при переходных процессах от англ. *transient voltage*) в диапазоне напряжений до  $\pm 6$  кВ с частотой дискретизации от 100 кГц до 10 МГц. Цепи измерения переходных процессов независимы от других цепей напряжения и подключены к входам по напряжению L1, L2, L3, N, PE. Анализатор имеет четыре измерительных канала: L1-PE, L2-PE, L3-PE и N-PE. Регистрация сигналов выполняется с определяемым пользователем временем упреждения (англ. *pretrigger*) и порогом обнаружения, а количество записанных отсчетов составляет до 20000 на канал (2 мс для частоты дискретизации 10 МГц).

### 1.3. Питание анализатора

Анализатор имеет встроенный сетевой источник питания с диапазоном номинальных напряжений 90...760 В переменного или 127...760 В постоянного тока. Блок питания имеет отдельные провода (красного цвета), обозначенные буквами P (от англ. *power* - питание). Для защиты источника питания от повреждений при попытке его подключения к напряжению ниже указанного диапазона, он выключается при входном напряжении менее 80 В переменного тока (110 В постоянного тока).

Для поддержания питания во время перерывов в подаче энергии служит внутренний аккумулятор. Он заряжается, когда на разъемах сетевого блока питания присутствует сетевое напряжение. Он поддерживает автономное питание до 2 часов при температуре  $-20^{\circ}\text{C}...+55^{\circ}\text{C}$ . После полного разряда аккумулятора анализатор прерывает текущую работу (например, регистрацию) и аварийно выключается. После появления напряжения питания, если ранее продолжалась регистрация, анализатор ее возобновит.

#### **Внимание**

**Аккумулятор может быть заменен только в авторизованном сервисном центре**

## 1.4. Герметичность и работа вне помещений

Анализатор предназначен для работы в сложных погодных условиях - он может быть установлен непосредственно на столбах линии электропередачи. Для монтажа используются два ремня с застежками и два пластиковых крепления. Крепления привинчиваются к задней стенке корпуса, а через образовавшиеся щели нужно продеть ремни.

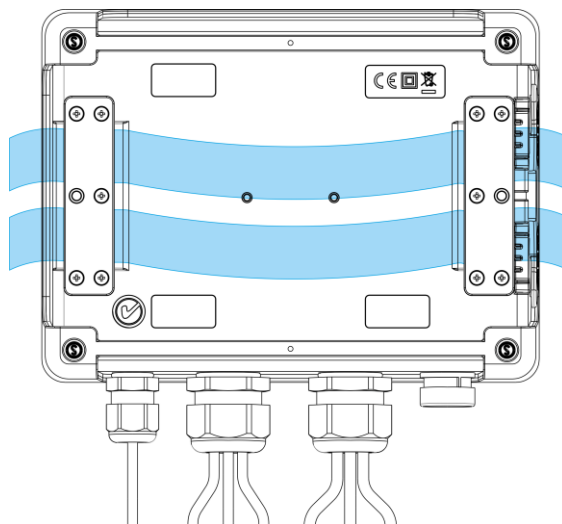


Рис. 3. Крепления и ремни для установки анализатора на столб.

Анализатор обеспечивает герметичность класса IP65, а диапазон рабочих температур -20...+55°C.

### Внимание

Для того, чтобы обеспечить декларированную герметичность класса IP65, необходимо строго соблюдать следующие правила:

- Должны быть плотно закрыты крышки разъемов USB и SIM-карты,
- Неиспользуемые разъемы токовых клещей должны быть закрыты силиконовыми пробками.
- Должна быть закручена заглушка для разъема внешней антенны GPS (или плотно закручен разъем при установке внешней антенны GPS)

При температуре окружающей среды ниже 0°C и если внутренняя температура падает ниже этого порога, включается обогрев устройства внутренним нагревателем, задачей которого является поддержание положительной температуры в диапазоне температуры окружающей среды -20... 0°C. Нагреватель питается от встроенного источника сетевого напряжения, а его мощность ограничена примерно 10 Вт.

Из-за особенностей встроенного литий-ионного аккумулятора его зарядка заблокируется, когда температура аккумулятора находится за пределами диапазона 0°C...60°C (статус зарядки в программе Sonel Analiza вернется тогда в состояние «зарядка приостановлена»).

## 1.5. Монтаж на DIN-рейку

В комплекте поставляется крепление для установки анализатора на стандартную DIN-рейку. Защелку нужно прикрепить к задней стенке анализатора с помощью прилагаемых винтов. В комплект

также входят крепления для позиционирования (кроме креплений для установки анализатора на столб), которые необходимо установить, чтобы повысить надежность монтажа. Эти крепления имеют специальные крючки, которые фиксируют DIN-рейку.

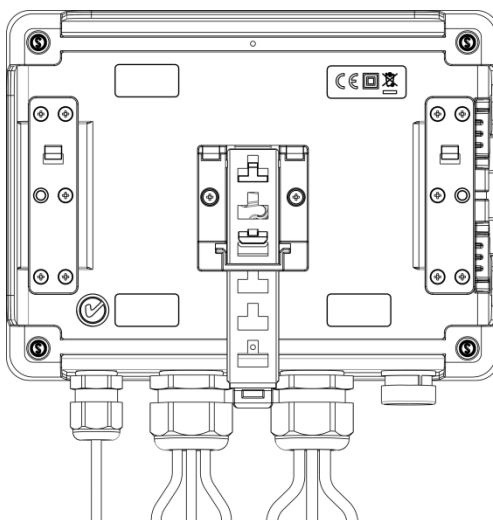


Рис. 4. Задняя стенка анализатора с элементами для монтажа на DIN-рейку.

## 1.6. Параметры измерений

Анализатор обеспечивает измерение и регистрацию следующих параметров:

- Эффективное (действующее) значение фазного и линейного напряжения в диапазоне до 760 В (пикового до  $\pm 1500\text{В}$ );
- **PQM-703** **PQM-711** скачки напряжения при переходных процессах (перенапряжения) в диапазоне до  $\pm 6$  кВ,
- Эффективное (действующее) значение тока до 3000А (пикового до  $\pm 10$  кА) с помощью гибких клещей (F-1, F-2, F-3), до 1000 А (пикового до  $\pm 3600\text{А}$ ) с использованием жестких клещей С-4 или С-5, до 10 А (пикового до  $\pm 36\text{А}$ ) с клещами С-6, или до 100 А (пикового до  $\pm 360\text{А}$ ) с клещами С-7;
- Коэффициент пиковых значений силы тока и напряжения;
- Частота сети в диапазоне 40...70 Гц;
- Активная, реактивная, полная мощность и энергия, мощность нелинейных искажений;
- Гармонические составляющие напряжений и токов (до 50-й);
- Коэффициенты гармонических искажений  $\text{THD}_F$  и  $\text{THD}_R$  для тока и напряжения;
- Коэффициент потерь  $K$ , вызванных высшими гармониками (К-фактор);
- Активную и реактивную мощности гармонических составляющих;
- Угол фазового сдвига между напряжением и током;
- Коэффициент мощности,  $\cos\phi$ ,  $\text{tg}\phi$ ;
- Коэффициенты несимметрии трехфазной сети и симметричных составляющих;
- Величина дозы фликеров  $P_{st}$  и  $P_{lt}$ ;
- Интергармоники напряжений и токов (до 50-й);
- Коэффициенты интергармонических искажений  $\text{TID}_F$  и  $\text{TID}_R$  для тока и напряжения;
- Сигналы управления по напряжению в диапазоне частот 5...3000 Гц.

Выбранные параметры являются обобщенными (усредненными) во времени, заданном пользователем и могут быть сохранены на карте памяти. Кроме среднего значения можно записывать минимальное и максимальное значения на протяжении интервала усреднения, а также мгновенные значения в момент записи.

Расширен также блок обнаружения событий. Типичными событиями ГОСТ 32144-2013 для напряжений – это прерывание (то есть уменьшение среднеквадратичного значения напряжения ниже 90% от номинального напряжения), перенапряжение (увеличение выше 110% от номинального значения), а также и провалы (то есть снижение напряжения ниже порога 5% от номинального значения). Пользователь не должен самостоятельно вводить параметры, определенные в ГОСТ 32144-2013 - программа позволяет автоматически настроить прибор в режиме измерения качества электроэнергии согласно ГОСТ 32144-2013. В распоряжении пользователя остается режим своей собственной конфигурации - программа предлагает в этом отношении полную свободу. Напряжение - это только один из многих параметров, для которого можно задать пороги обнаружения событий. Итак, для примера, можно настроить анализатор для обнаружения снижения коэффициента мощности ниже определенного порога, превышения КГИ (THD) выше другого порога и так же, превышение 9-й гармоникой значения напряжения, установленного пользователем в процентах. Событие записывается вместе со временем его возникновения. В случае событий, касающихся превышения порогов прерывания, провалов и скачков для напряжения, а также превышения минимального и максимального значений для токов, можно дополнить информацию о наступлении события, осциллограммами формы сигналов напряжения и тока. Может быть записано от 5 периодов сети до 1 секунды с регулируемым временем опережения события (ang. pretrigger). Вместе с осциллограммами также записываются RMS значения полупериодов ( $RMS_{1/2}$ ) с регулируемой длительностью от 1 с до 5 с.

Очень широкие возможности конфигурации, вместе с множеством измеряемых параметров делают из анализатора чрезвычайно полезный и мощный инструмент для измерения и анализа всех видов сети электропитания и возникающих в них помех. Некоторые уникальные особенности этого прибора выделяют его среди других анализаторов этого типа, доступных на рынке.

В таблице 2 представлен обобщенный набор параметров, измеряемых анализатором в зависимости от типа сети.

**Таблица 2. Измеряемые параметры для различных конфигураций сети.**

Параметр \ Тип сети, канал		1-фазная		2-х фазная				3-фазная «звезда» с N					3-ф «треугольник» 3-ф «звезда» без N			
		L1	N	L1	L2	N	$\Sigma$	L1	L2	L3	N	$\Sigma$	L12	L23	L31	$\Sigma$
U	Действующее напряжение	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
$U_{DC}$	Постоянная составляющая напряжения	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
I	Действующее значение тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
$I_{DC}$	Постоянная составляющая тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
f	Частота	•		•				•					•			
CF U	Коэффициент пиковых значений	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	

	напряжения															
CF I	Коэффициент пиковых значений тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
P	Активная мощность	•		•	•		•	•	•	•		•				•
Q <sub>1</sub> , Q <sub>B</sub>	Реактивная мощность	•		•	•		•	•	•	•		•				• <sup>(1)</sup>
D, S <sub>N</sub>	Мощность искажения	•		•	•		•	•	•	•		•				
S	Полная мощность	•		•	•		•	•	•	•		•				•
PF	Коэффициент мощности	•		•	•		•	•	•	•		•				•
cos φ	Косинус угла сдвига фаз	•		•	•		•	•	•	•		•				
tg φ	Тангенс угла сдвига фаз	•		•	•		•	•	•	•		•				• <sup>(1)</sup>
THD <sub>U</sub>	Коэффициент гармонических искажений напряжения	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
THD <sub>I</sub>	Коэффициент гармонических искажений тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
K	Коэффициент потерь	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
E <sub>P+</sub> , E <sub>P-</sub>	Активная энергия (потребляемая и отдаваемая)	•		•	•		•	•	•	•		•				•
E <sub>Q1+</sub> , E <sub>Q1-</sub> E <sub>QB+</sub> , E <sub>QB-</sub>	Реактивная энергия (потребляемая и отдаваемая)	•		•	•		•	•	•	•		•				• <sup>(1)</sup>
E <sub>S</sub>	Полная энергия	•		•	•		•	•	•	•		•				•
U <sub>h1...h50</sub>	Амплитуды гармоник напряжения	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
I <sub>h1...h50</sub>	Амплитуды гармоник тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
φ <sub>U1...U150</sub> φ <sub>UI50</sub>	Угол между гармоническими составляющими тока и напряжения	•		•	•			•	•	•						
P <sub>h1...h50</sub>	Гармонические составляющие активной мощности	•		•	•			•	•	•						
Q <sub>h1...h50</sub>	Гармонические составляющие реактивной мощности	•		•	•			•	•	•						
Асимметрия	Симметричные сост.и коэффициент											•				•

U, I	несимметрии															
$P_{st}, P_{lt}$	Доза фликера	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
TID <sub>u</sub>	Коэффициент интергармоник напряжения	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
TID <sub>I</sub>	Коэффициент интергармоник тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
$U_{ih0...}$ $U_{ih50}$	Амплитуды интергармоник напряжения	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
$I_{ih0...}$ $I_{ih50}$	Амплитуды интергармоник тока	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
UR1, UR2	Сигналы управления по напряжению	•		•	•			•	•	•			•	•	•	
<b>PQM-703</b> <b>PQM-711</b> $U_t$	Переходные скачки (транзиенты) напряжения <sup>(2)</sup>	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	

- Пояснения:** L1, L2, L3 (L12, L23, L31) – означают последовательные фазы,  
N – означает измерение по каналу напряжения N-PE или тока  $I_N$  в зависимости от типа параметра;  
 $\Sigma$  – означает суммарное значение для системы;  
(1) – в 3-х проводных сетях, в качестве суммарной реактивной мощности рассчитывается неактивная мощность \_\_\_\_\_ (см. обсуждение по реактивной мощности в главе 5.3)  
(2) Переходные скачки напряжения измеряются в каналах L1-PE, L2-PE, L3-PE и N-PE.

## 1.7. Соответствие стандартам

Анализатор разработан таким образом, чтобы выполнить требования, содержащиеся в стандартах, указанных ниже.

Стандарты, касающиеся измерения параметров сети:

- ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30:2011) – Электромагнитная совместимость (EMC) – Методы исследований и измерения – Метод измерения качества электроэнергии;
- ГОСТ 30804.4.7 – 2013 (PN-EN 61000-4-7:2007) – Электромагнитная совместимость (EMC) – Методы исследований и измерений – Общее руководство по измерению гармоник и интергармоник и применяемые для этой цели измерительные приборы для сети электропитания и подключенные к ним устройства;
- ГОСТ Р 51317.4.15-2012 (PN-EN 61000-4-15:2011)– Электромагнитная совместимость (EMC) – Методы исследований и измерений – Измеритель мерцания света (фликера) – Функциональная и проектная спецификация;
- ГОСТ 32144-2013 (PN-EN 50160:2010) – Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения;

Стандарты безопасности:

- ГОСТ IEC 61010-1-2014– Требования безопасности для электрических измерительных приборов, автоматики и лабораторного оборудования. Часть 1: Общие требования;

Стандарты, касающиеся электромагнитной совместимости:

- ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014 – Электрическое оборудование для измерения, управления и использования в лабораториях. Требования по электромагнитной совместимости (EMC).  
Устройство полностью соответствует требованиям класса А, согласно ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30). Это обобщено в таблице ниже.

**Таблица 3. Резюме соответствия выбранных параметров, действующим стандартам**

Объединение измерений по интервалам времени	ГОСТ 30804.4.30 – 2013(PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основное время измерения значений параметров (напряжение, ток, гармоники, асимметрия) - это 10-периодный интервал для сетей электропитания 50 Гц и 12-периодный для сетей 60 Гц;</li> <li>• Интервал 3 секунды (150 периодов для номинальной частоты 50 Гц и 180 периодов для 60 Гц);</li> <li>• Интервал 10 минут;</li> <li>• Интервал 2 часа (на основе 12 интервалов по 10 минут);</li> </ul> Ресинхронизация и наложение 10/12- периодных интервалов
Погрешность хода времени часов	ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Встроенные часы реального времени настраиваются на уровне программы „Sonel Analysis”, синхронизации времени по GPS с помощью встроенной или внешней антенны;</li> <li>• Точность хода часов в отсутствие сигнала GPS лучше, чем <math>\pm 0,3\text{с/день}</math></li> </ul>
Частота	Выполнены требования ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А для метода и погрешности измерения
Значение напряжения питания	Выполнены требования ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А для метода и погрешности измерения
Колебания напряжения (фликер)	Метод измерения и погрешность соответствует требованиям стандарта ГОСТ Р 51317.4.15-2012 (PN-EN 61000-4-15)
Провалы, прерывания и перенапряжения питания	Выполнены требования ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А для метода и погрешности измерения
Асимметрия напряжения питания	Выполнены требования ГОСТ 30804.4.30 – 2013(PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А для метода и погрешности измерения
Гармоники напряжения и тока	Метод и погрешность измерения в соответствии с ГОСТ 30804.4.7 – 2013 (PN-EN 61000-4-7:2007) класс I
Интергармоники напряжения и тока	Выполнены требования ГОСТ 30804.4.30 – 2013(PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А для метода и погрешности измерения (ГОСТ 30804.4.7 – 2013 (PN-EN 61000-4-7:2007) класс I)
Сигналы управления в питающем напряжении	Выполнены требования ГОСТ 30804.4.30 – 2013 (PN-EN 61000-4-30:2011) Класс А для метода и погрешности измерения

Основным документом, регламентирующим положения связанные с качеством электрической энергии в РФ, был ГОСТ 13109-97. Стандарт не отвечал современным реалиям и заменен ГОСТ 32144-2013 (ГОСТ Р 54149-2010) для приведения в соответствие с международным стандартом EN 50160.

Приказом Росстандарта введ в действие нового ГОСТ Р 32144-2013 определен с 01.07.2014 с одновременным прекращением действия ГОСТ 13109-97. Новый стандарт по требованиям к качеству электроэнергии учитывает рекомендации и положения международных стандартов и новых национальных стандартов по методам и средствам измерения и оценки показателей качества



электроэнергии, а также сближает структуру и положения данного стандарта с европейским стандартом EN 50160: 2010.





Данные документы фактически были разработаны на основе стандартов международной электротехнической комиссии IEC 61000-4-30:2008 и IEC 61000-4-7:2002:

- ГОСТ 30804.4.30–2013 (МЭК 61000-4-30:2011) Методы измерений показателей качества электрической энергии;
- ГОСТ 30804.4.7–2013 (МЭК 61000-4-7:2011) Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.


В соответствии с классификацией, принятой в ГОСТ 30804.4.30-2013, анализатор относится к классу А. В нем присутствует рекомендованная стандартом возможность синхронизации времени с использованием GPS, а характеристики встроенных часов реального времени соответствуют требованию к погрешности измерения текущего времени при отсутствии возможности синхронизации с помощью внешнего сигнала (например, при его пропадании).

## 2 ЭКСПЛУАТАЦИЯ АНАЛИЗАТОРА




### 2.1 Клавиатура

Клавиатура анализатора состоит из четырех клавиш: ВКЛ/ВЫКЛ , ВЛЕВО , ВПРАВО , СТАРТ/СТОП . Чтобы включить анализатор необходимо нажать кнопку ВКЛ/ВЫКЛ. Кнопки направлений ВЛЕВО и ВПРАВО главным образом служат для смены информации на дисплее. Изображения на дисплее меняются по кругу, т.е. при нажатии на клавишу ВПРАВО на последнем экране происходит переход к первому экрану. Клавиша ВЛЕВО меняет изображения на дисплее в обратной последовательности. Клавиша ВКЛ/ВЫКЛ служит для запуска и остановки регистрации, в соответствии с установленной конфигурацией текущей точки измерения.

### 2.2 Включение и выключение

- Анализатор включается нажатием клавиши . Появляется экран с приветствием, на котором отображается название прибора, версия встроенного программного обеспечения (англ. firmware), версия оборудования и серийный номер. Затем анализатор выполняет самотестирование и в случае обнаружения ошибок, на дисплее появляется соответствующее сообщение об ошибке, сопровождаемое длинным звуковым сигналом. В случае ошибки инициализации карты памяти на дисплее появится надпись „**Ошибка карты памяти**”. Если файловая система на карте повреждена (например, когда пользователь вручную переформатировал карту в режиме чтения памяти, в котором пользователь имеет полный доступ к содержимому карты) анализатор предложит заново отформатировать память (надпись „**Форматировать карту памяти?**”), клавиша  запускает начало процесса форматирования (3 коротких звуковых сигнала). После процесса форматирования анализатор заново инициализирует карту памяти.
- Если во время инициализации карты анализатор обнаружит в корневом каталоге файл FIRMWARE.PQF, который содержит информацию о прошивке анализатора (внутреннее программное обеспечение) и версия прошивки будет новее текущей версии программного обеспечения самого анализатора, будет предложено провести процесс обновления программного обеспечения – надпись „**Обновить прошивку?**”. Клавиша  запускает данный процесс (3 коротких звуковых сигнала), в течение которого на дисплее можно наблюдать за ходом операции. Обновление можно пропустить кратковременно нажав кнопку . Если обновление прошло

успешно, то появится надпись „Обновлено успешно!”, в противном случае „Обновить не удалось!”. Затем анализатор автоматически отключается.

- Анализатор настраивается на последнюю использованную точку измерения и переходит к отображению на дисплее экрана **1** с изображением векторной диаграммы.
- Выключение анализатора производится удержанием клавиши  в течение 2 секунд, если не включена блокировка клавиатуры или регистрация.
- Нажатие на активную клавишу вызывает появление короткого звукового сигнала высокой тональности; для неактивной клавиши этот звук продолжительнее с более низкой тональностью.
- Удерживание в нажатом состоянии более чем на 1,5 секунды клавиши  или  вызывает принудительное обновление изображения на дисплее.

## 2.3 Функция автоматического выключения

Если анализатор не менее 30 минут работает с питанием от аккумулятора (отсутствует сетевое питание) и не находится в режиме регистрации или нет активного соединения с компьютером, он автоматически отключается для предотвращения разряда аккумулятора.

Автоматическое выключение анализатора возникает также в случае полного разряда аккумулятора. Такое аварийное отключение производится независимо от режима, в котором он находится. В случае активной регистрации, она прерывается. После возвращения напряжения питания регистрация возобновляется. Аварийное отключение сигнализируется сообщением „**Аккумулятор разряжен!**”.

## 2.4 Изображения на дисплее (экраны)

### Примечание

Количество экранов является переменной величиной и зависит от типа анализатора. Анализаторы PQM-702T, PQM-703 имеют 9 видов экранов, а анализаторы PQM-710 и PQM-711 - 10 экранов.

На рис. 5 показан первый из экранов, отображаемых анализатором на дисплее. Панель меню в верхней части является постоянным элементом, показываемым независимо от выбранного экрана.

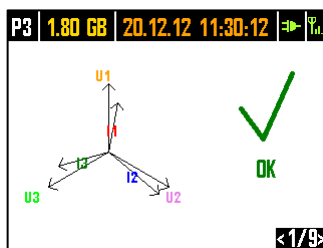





Рис. 5. Экран 1 с векторной диаграммой

На панели можно выделить (начиная слева):

- номер активной точки измерения: **P1**, **P2**, **P3** или **P4**. В некоторых режимах номер точки отображается поочередно с дополнительным графическим символом:
  -  Символ синусоиды отображается, когда память точки измерения полностью заполнена зарегистрированными данными или когда для данной точки измерения не было назначено никакого места (нулевая квота). В таких условиях запустить регистрацию нельзя; возможен только просмотр текущих значений.

-  Символ склона со стрелкой означает ожидание запуска регистрации по первому обнаруженному событию (запуск от превышения порога).
-  Символ песочных часов означает ожидание начала регистрации в режиме расписания (также в перерывах между интервалами регистрации).
- свободное место на карте памяти для активной точки измерения в Мб или Гб.
- текущие дата и время в формате: день.месяц.год час:минута:секунда. Дата и время отображаются зеленым цветом, если время анализатора синхронизировано со временем GPS и соответствует требованиям к точности определения времени, установленного в стандарте PN-EN 61000-4-30, применительно к анализаторам класса А. Если время не отвечает этим требованиям, то отображается оранжевым цветом.
- индикатор питания от сети или уровня заряда аккумулятора,
- индикатор уровня сигнала сети GSM (при наличии в слоте SIM-карты и подключения ее к сети GSM).

Номер экрана отображается в правом нижнем углу дисплея.

Экран **1** по умолчанию выводится на дисплей при включении анализатора и после изменения точки измерения. На нем представлена векторная диаграмма измеряемой сети и двоичный индикатор правильности подключения к исследуемой сети, соответственно конфигурации анализатора. В случае правильного подключения отображается зеленый символ **OK**, а когда обнаружена потенциальная ошибка - красный значок **X** с надписью **ОШИБКА**. Красный значок **X** с надписью **ОШИБКА** не блокирует регистрацию и означает только то, что анализатор обнаружил возможную ошибку в подключении.

Критерии, используемые анализатором для выявления ошибки подключения, следующие:

- отклонение действующего значения напряжения более чем на  $\pm 15\%$  от номинального значения,
- отклонение угла сдвига фаз основной гармоники напряжения более чем на  $\pm 30^\circ$  от теоретического значения при резистивной нагрузке и симметричной сети (смотри примечание ниже),
- отклонение угла сдвига фаз основной гармоники тока более чем на  $\pm 55^\circ$  от теоретического значения при резистивной нагрузке и симметричной сети (смотри примечание ниже),
- отклонение частоты сети более чем на  $\pm 10\%$  от номинального значения частоты.

### Примечание

**Для обнаружения ошибки сдвига фазы требуется, чтобы основная составляющая сигнала была больше или равна 5% от номинального значения напряжения или 1% от номинального диапазона тока. Если это условие не выполняется, то правильность углов сдвига фаз не проверяется.**

Такая функциональность позволяет провести быструю визуальную оценку того, насколько параметры сети соответствуют конфигурации анализатора.

Экран **2** показан на рис. 6. На нем представлены измеренные действующие значения напряжений и токов в цепи и частота сети.

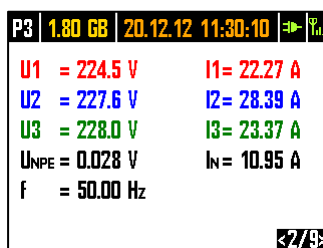


Рис. 6. Экран 2 с действующими значениями напряжений и токов

Экран 3 (рис.7) показывает активные и реактивные мощности. Мощности отдельных фаз последовательно обозначены номерами от 1 до 3. Итоговые мощности отображаются в последней строке (обозначение P и Q).

P3	1.80 GB	20.12.12	11:30:09	⇒	⌂
P1=	4.825 kW	Q1=	929.3 var		
P2=	6.301 kW	Q2=	1.087 kvar		
P3=	4.981 kW	Q3=	1.289 kvar		
P =	16.11 kW	Q =	3.307 kvar		
<3/9>					

Рис. 7. Экран 3 с активными и реактивными мощностями

На экране 4 (рис.8) отображаются полная мощность искажений (обозначение SN) и полная мощность (S). Когда выбрано измерение мощности по методу Videanu, вместо полной мощности искажений отображается мощность искажений D.

P3	1.80 GB	20.12.12	11:30:08	⇒	⌂
SN1=	984.6 var	S1=	7.617 kVA		
SN2=	778.3 var	S2=	10.04 kVA		
SN3=	1.100 kvar	S3=	8.081 kVA		
SN =	4.831 kvar	S =	26.28 kVA		
<4/9>					

Рис. 8. Экран 4 с мощностями искажений и полной мощностью

В свою очередь, экран 5 (рис.9) отображает коэффициенты гармонических искажений THD для напряжения и тока. Коэффициенты, показанные на этом изображении, рассчитаны относительно основной составляющей.

P3	1.80 GB	20.12.12	11:30:07	⇒	⌂
THDU1 =	3.013 %	THDI1=	17.69 %		
THDU2 =	2.902 %	THDI2=	11.47 %		
THDU3 =	2.895 %	THDI3=	19.49 %		
THDU <sub>NPE</sub> =	18.32 %	THDI <sub>N</sub> =	184.0 %		
<5/9>					

Рис. 9. Экран 5 с коэффициентами гармонических искажений THD

На следующем экране 6 (рис.10) показаны коэффициенты мощности PF и tgφ (то есть отношение реактивной мощности к активной мощности).

P3	1.80 GB	20.12.12	11:30:06	⇒	⌂
PF1=	0.965	tanφ1=	0.191		
PF2=	0.978	tanφ2=	0.169		
PF3=	0.948	tanφ3=	0.255		
PF =	0.926	tanφ =	0.202		
<6/9>					

Рис. 10. Экран 6 с коэффициентами мощности и tgφ

Экран 7 - это последний из экранов измерений и представляет кратковременные и длительные дозы фликера Pst и Plt. Показатель Pst обновляется каждые 10 минут, а Plt каждые 2 часа.

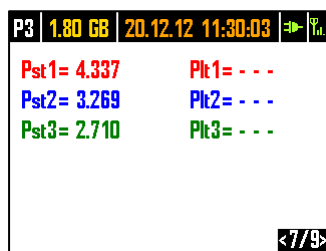


Рис. 11. Экран 7 с показателями мерцания света

Экран 8 представляет следующую информацию (рис .12):

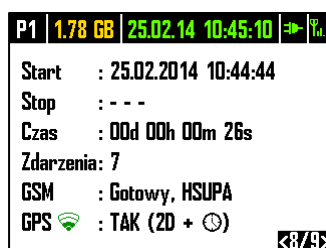


Рис. 12. Экран 8

- время начала последней запущенной регистрации или время начала следующего запланированного интервала регистрации в режиме регистрации по расписанию,
- время окончания последней запущенной регистрации (если регистрация уже идет, то отображаются черточки) или время окончания следующего запланированного интервала регистрации в режиме регистрации по расписанию,
- продолжительность текущей или уже завершенной регистрации, возможная продолжительность интервала регистрации в режиме по расписания,
- число событий, зарегистрированных анализатором с момента запуска регистрации,
- состояние сети GSM. В этой строке отображаются сообщения, которые относятся к текущему состоянию встроенного модема GSM:
  - „Включение ...”: модем включается,
  - „ Идет подключение к сети”: модем регистрируется в сети GSM,
  - „Идет подключение к Интернету”: модем активирует услугу пакетной передачи данных и регистрируется в сети Интернет,
  - „Готов, UMTS”: модем успешно зарегистрировался в сети GSM и ожидает связи с клиентом. UMTS - это название стандарта передачи данных в сети, возможность его использования зависит от доступности услуг в вашем регионе.

Анализатор может отображать на этом месте и другие сообщения, например, информирующие об обнаруженных ошибках: „Нет SIM-карты” если в слот не установлена SIM-карта, „Неверный PIN-код” если используемый анализатором PIN-код был отклонен SIM-картой, и т.д. Больше подробностей на эту тему можно найти в разделе о GSM соединении в главе **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

- последняя строка экрана **8/9** показывает состояние приемника GPS: если в настоящий момент принимается правильный сигнал со спутников GPS (с внутренней или внешней антенны), то отображается слово „ДА”. Если сигнал не принимается, то отображается „Нет сигнала”. Подробнее о приемнике GPS в главе **Ошибка! Источник ссылки не найден..**
- текущий уровень сигнала GPS,
- информацию об установке положения GPS (надпись "2D") и/или приеме истинного времени GPS (символ часов).

Экран 9 (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) позволяет быстро проверить основные параметры конфигурации точки измерения:

- тип сети,
- тип токовых клещей,

- номинальные значения: напряжения, диапазона измеряемого тока и частоты.

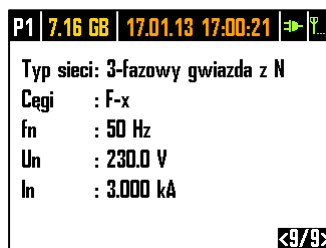



Рис. 13. Экран 9 с информацией о параметрах точки измерения.

**PQM-710** **PQM-711**

Экран 10 отображает текущее состояние беспроводного соединения Wi-Fi. С помощью этого экрана пользователь может прочитать:

- уровень радиосигнала – сигнализирует значок , где количество зеленых полосок означает уровень сигнала: от 0 – отсутствует, до 4 – высокий,
- состояние соединения (*Готов, Получение адреса IP, Поиск сети*),
- MAC-адрес для Wi-Fi интерфейса анализатора,
- IP-адрес, который имеет анализатор в сети Wi-Fi. Если адрес был присвоен автоматически, то отображается надпись „(DHCP)”,
- идентификатор SSID сети Wi-Fi, к которой подключен анализатор.

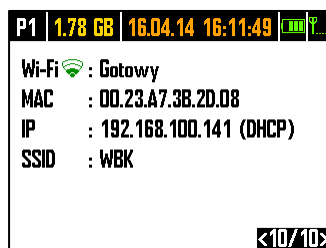


Рис. 1. Экран 10 с информацией о текущем состоянии подключения Wi-Fi (только PQM-710 и 711).

## 2.5 Программа „Sonel Analiza”

Программа „Sonel Analiza 2” – это приложение, необходимое для работы с анализаторами серии PQM. Она позволяет выполнить:

- конфигурацию анализатора,
- чтение данных из регистратора,
- мониторинг сети в режиме реального времени,
- удаление данных из анализатора,
- представление данных в виде таблиц,
- представление данных в виде графиков (диаграмм),
- анализ данных с точки зрения стандарта EN 50160 (отчеты), системного регулирования и других условий, определяемых пользователем,
- независимую поддержку нескольких устройств,
- обновление до самой последней версии встроенного программного обеспечения (прошивки) анализаторов и самого приложения.

Подробная инструкция по работе с программой „Sonel Analiza” приведена в отдельном документе (также можно бесплатно загрузить с сайта производителя [www.sonel.pl](http://www.sonel.pl)).

## 2.6 Соединение с ПК и передача данных





Анализатор предоставляет три способа обмена данными с компьютером. Это соответственно:

- проводное соединение по USB,
- **PQM-702** **PQM-703** радиосвязь в диапазоне 433 МГц с помощью приемника OR-1,
- беспроводная связь через встроенный модем GSM.
- **PQM-710** **PQM-711** радиосвязь с помощью беспроводной передачи данных Wi-Fi – компьютер и анализатор должны быть подключены к той же сети LAN или иметь возможность связи через WAN (соответствующая конфигурация маршрутизатора).

Соединение с компьютером (режим ПК) позволяет:

- передавать данные, сохраненные в памяти регистратора:
  - возможно считывание данных всех точек измерения (как во время жающейся регистрации, так и без нее);
- просматривать параметры сети на компьютере:
  - мгновенные значения тока, напряжения, мощности и энергии, суммарные значения для всей системы;
  - гармоник, интергармоник, мощности гармоник, THD, TID;
  - асимметрию;
  - векторные диаграммы для напряжений;
  - осциллограммы тока и напряжения, отображаемые в режиме реального времени;
  - все остальные измеряемые параметры, не перечисленные здесь.
- конфигурацию анализатора, дистанционный запуск и прекращение регистрации.
- После подключения к компьютеру на дисплее появляется надпись „Подключение ПК” и тип подключения.
- Во время соединения с ПК, клавиши заблокированы, кроме клавиши . Если анализатор работает с включенным режимом блокировки клавиатуры (например, во время регистрации), то все клавиши заблокированы.
- Для того, чтобы соединиться с анализатором необходимо ввести его PIN-код. Код по умолчанию это 000 (три нуля). PIN-код можно изменить с помощью программы «Sonel Analiza».
- Три попытки ввода неправильного PIN-кода блокируют передачу данных на 10 минут. Только после этого времени будет возможна повторная попытка ввести код.
- Если в течение 30 секунд после подключения к ПК не происходит никакого обмена данными между анализатором и компьютером, анализатор выходит из режима передачи данных и завершает подключение.

### Примечания

- Удержание в течение 5 секунд клавиш  и  возвращает PIN-код по умолчанию (000).
- Если включена блокировка клавиатуры во время регистрации, то она имеет более высокий приоритет (сначала нужно аварийно разблокировать клавиши, чтобы обнулить PIN-код). Для аварийной разблокировки клавиатуры удерживайте в течение 5 секунд клавиши  и .

- Если есть активное подключение любым из способов коммуникации, то невозможна связь с анализатором другим способом, например, если установлено соединение по USB, невозможно подключиться к анализатору по радио через OR-1 или по GSM. В таком случае программа выводит сообщение, что уже активно другое соединение.

### 2.6.1 Связь по USB

USB – является постоянно действующим интерфейсом и не имеет возможности своего отключения. Для того, чтобы соединиться с анализатором, необходимо соединить его кабелем USB с компьютером (разъем USB находится на левой стенке анализатора и защищен уплотнительной заглушкой). На компьютере необходимо предварительно установить программное обеспечение Sonel Analiza вместе с драйверами.

Скорость передачи данных составляет 921,6 кбит/сек. Кроме того, встроенный считыватель с карты памяти позволяет загружать данные регистрации со скоростью гораздо большей, чем стандартная. В этом режиме анализатор обеспечивает прямой доступ к своей карте памяти, что позволяет считывать данные со скоростью в несколько Мбит/с. Во время такого чтения не возможна нормальная связь с анализатором, например, просмотр данных в режиме реального времени. После считывания данных с карты памяти, приложение Sonel Analiza автоматически переключает анализатор из режима чтения в режим стандартной связи.

#### Внимание

**В режиме чтения все содержимое карты памяти отображается как диск в операционной системе, что позволяет получить неограниченный доступ к его содержимому. Чтобы не повредить файловую систему на карте памяти и не потерять хранящиеся на ней данные, нельзя самостоятельно вмешиваться в файловую систему на карте памяти (например, создавать и сохранять собственные файлы или удалять файлы, записанные анализатором). Не используйте для этой цели других программ, кроме программы Sonel Analiza.**

### 2.6.2 Радиосвязь с помощью OR-1 **PQM-702 PQM-703**

Подключив к компьютеру радиоадаптер OR-1, можно установить с анализатором беспроводное соединение, используя диапазон 433 МГц. Радиус действия в этом режиме ограничен примерно 5 м, а максимальная скорость передачи данных составляет 57,6 кбит/с.

#### Внимание

**Перед соединением с анализатором по радио нужно добавить ваш анализатор к базе анализаторов (Параметры → База анализаторов в программе „Sonel Analiza”). При поиске среди анализаторов в списке доступных устройств показываются только те, которые внесены в базу. Более подробная информация содержится в руководстве пользователя к программе „Sonel Analiza”.**

Интерфейс радиосвязи, подключенный к приемнику OR-1, может быть отключен в анализаторе. Для того, чтобы включить его заново, нужно воспользоваться двумя другими типами передачи данных: USB или GSM.

### 2.6.3 Связь по сети GSM

Встроенный GSM модем обеспечивает доступ к анализатору из любого места на Земле, где доступна сеть GSM. Модем поддерживает стандарт передачи данных UMTS HSPA с максимальной скоростью передачи данных 5,76/7,2 Мбит/с (соответственно, от модема и к модему). Чтобы использовать эту возможность, необходимо установить в слот на боковой панели анализатора действующую SIM-карту.

SIM-карта должна быть подключена к следующим видам услуг:



- пакетная передача данных (GPRS),
- зарегистрированный статический IP-адрес,
- функция SMS для отправки уведомлений сигнализации.

Для настройки SIM-карты и модема в анализаторе необходимы следующие данные, предоставляемые поставщиком услуг передачи данных:

- PIN-код для SIM-карты,
- PUK-код для SIM-карты, в случае блокировки SIM-карты после нескольких попыток ввода неправильного PIN-кода,
- IP-адрес, предоставленный SIM-карте (это должен быть статический адрес),
- имя точки доступа APN (англ. Access point name),
- имя пользователя и пароль (опционально, как правило, не требуется).

После первой установки SIM-карты, анализатор будет пытаться ввести последний введенный PIN-код или код, используемый по умолчанию. Обычно такая попытка заканчивается неудачей, и анализатор выдаст сообщение об ошибочном PIN-коде. Для того, чтобы ввести правильные данные, необходимо подключиться к анализатору по USB (или OR-1) и настроить соединение GSM. Процедура описана в главе 2.11.2. Если анализатор настроен правильно, то он попытается соединиться с сетью GSM, а затем с сетью Интернет. Анализатор будет теперь виден в Интернете, под предоставленным IP-адресом, опрашивая порт 4001 для входящих соединений. Это соединение может быть установлено приложением Sonel Analiza. Если GSM модем не будет использоваться, его можно отключить с помощью программы. Подробнее о конфигурации анализатора для связи по GSM в главе 2.11.

#### 2.6.4 Беспроводная связь по Wi-Fi **PQM-710** **PQM-711**

Анализаторы PQM-710/711 оснащены модулем Wi-Fi, работающем в стандарте IEEE 802.11 «b/g» и «n» с однопоточной передачей данных (точки доступа с одной антенной). Это позволяет получить удаленный доступ к анализатору с планшета (или компьютера). Возможно прямое подключение «планшет ↔ анализатор», работа в локальной сети или через Интернет.

Возможна работа в открытой сети или защищенной по стандарту WPA/WPA2-PSK.

При прямом подключении, точкой доступа Wi-Fi (маршрутизатором) является планшет. Для такой работы анализатор и планшет настроены на заводе-изготовителе.

Планшет может работать вместе с несколькими анализаторами. Требуется только добавить их в базу анализаторов.

После подключения к точке доступа анализатор запускает службу сервера подключения TCP/IP под статическим IP-адресом или присвоенным сервером DHCP точки доступа. Порт TCP, используемый как в локальной сети, так и при прямом подключении – это 4002.

Из-за возможности использования динамического адреса при работе в локальной сети или прямом соединении, приложение *Sonel Analiza* сканирует всю подсеть, чтобы найти анализатор с MAC-адресом, соответствующим тому, какой был назначен для анализатора с данным серийным номером.

Соединение с анализатором через интернет требует соответствующей настройки маршрутизатора Wi-Fi администратором сети.

Анализатор, в пределах досягаемости которого не обнаружена необходимая точка доступа, остается в режиме сканирования диапазона Wi-Fi 2.4 ГГц.

#### Примечание



Соединение с анализатором через интернет требует соответствующей настройки маршрутизатора Wi-Fi администратором сети.

Подробная информация о конфигурации связи по Wi-Fi и способах соединения с анализатором, находится в главе 2.12.

## 2.7 Проведение измерений

### 2.7.1 Точки измерений

Анализатор позволяет сохранить четыре полностью независимые измерительные конфигурации, которые названы «точками измерений». Номер активной точки измерения отображается в левом верхнем углу дисплея.

При одновременном удерживании в течение 1с клавиши  и  отображается экран выбора точки измерения, рис. 15.

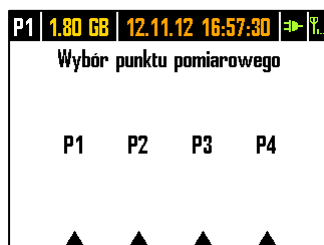






Рис. 15. Выбор точки измерения

Чтобы выбрать одну из четырех точек следует нажать соответствующую клавишу, обозначенную символом треугольника на дисплее:

- для выбора точки измерения 1 нужно выбрать клавишу 
- для выбора точки измерения 2 нужно выбрать клавишу 
- для выбора точки измерения 3 нужно выбрать клавишу 
- для выбора точки измерения 4 нужно выбрать клавишу 

После выбора точки измерения анализатор переходит к отображению векторной диаграммы (экран 1) и осуществляет проверку правильности подключения к исследуемой сети. Если обнаружена ошибка, то выдается длинный звуковой сигнал.


Если пользователь откажется от выбора точки измерения и не нажмет никакой клавиши, через несколько секунд анализатор возвращается к предыдущему экрану.

В определенных ситуациях изменить точку измерения невозможно. По крайней мере, в двух следующих случаях:

- анализатор находится в процессе регистрации; в этом случае отображается сообщение „Идет регистрация”,
- выполняется обмен данными с компьютером (по USB, OR-1, Wi-Fi или GSM). В этом случае клавиши ВЛЕВО и ВПРАВО неактивны.

Пользователь может задать любое процентное соотношение памяти для каждой точки (например, 100% для первой и отсутствие других точек, или по 25% для каждой точки). Если для какой-то точки измерения отведена вся память, при выборе остальных на дисплее выводится попеременно номер точки с символом синусоиды, означающее, что возможен только просмотр параметров сети в режиме реального времени.

### 2.7.2 Запуск и остановка регистрации

Если на карте в текущей точке измерения есть свободное место, то можно начать регистрацию, нажимая клавишу  или на уровне приложения, если установлено соединение с ПК.


Режим запуска регистрации зависит от того, как он настроен в конфигурации точки измерения. Возможны три режима:

- немедленный запуск – регистрация начинается сразу же после нажатия клавиши.

- запуск по обнаружению первого события – анализатор ожидает начала регистрации до тех пор, пока один из параметров конфигурации точки измерения, превысит пороговое значение, инициирующее событие. Во время ожидания события в строке состояния анализатора отображается номер точки измерения, попеременно с символом склона со стрелкой.
- запуск в соответствии с заданным временем регистрации (по графику). На экране **8** можно проверить, когда запланировано начало и окончание следующей регистрации. Одновременно в строке состояния отображается номер точки измерения, попеременно с символом песочных часов. Если время для всего запланированного по расписанию уже прошло, то регистрация не начнется и в строке состояния отображается номер точки измерения, попеременно с символом синусоиды (что означает, что возможен только просмотр текущих значений сети).

В режиме регистрации, отображаемый в верхнем левом углу дисплея номер точки измерения, мигает один раз в секунду.

Окончание регистрации:

- регистрация заканчивается автоматически в режиме расписания (если установлено время окончания), в остальных случаях она продолжается до остановки пользователем (клавишей  или на уровне приложения).
- регистрация заканчивается автоматически при заполнении всего отведенного места на карте памяти для данной точки измерения. В этом случае на дисплее номер точки измерения будет отображаться поочередно со значком синусоиды.
- дисплей остается в погашенном состоянии после завершения регистрации, если в конфигурации активирован спящий режим. Нажатие любой клавиши вызывает затем включение индикации и отображение последнего экрана (если не было блокировки клавиш) или требования ввести код для разблокировки клавиатуры (если включена блокировка).

### 2.7.3 Приблизительное время регистрации

Максимальное время регистрации зависит от многих факторов, таких как: размер выделенного места на карте памяти, время усреднения, тип сети, количество регистрируемых параметров, запись осциллограмм и обнаружение событий, а также от самих порогов событий. Некоторые выбранные конфигурации приведены в таблице 4. В последней колонке указано приблизительное время регистрации, когда на точку измерения выделено 2 Гб свободного места на карте памяти. Показанные примеры конфигураций предполагают измерение напряжения N-PE и тока In.

Таблица 4. Приблизительное время регистрации для нескольких примеров конфигурации

Тип конфигурации/ регистрируемые параметры	Время усреднения	Тип сети (измерение токов включено)	События	Осцилло- граммы событий	Осцилло- граммы после периода усреднения	Приблизительное время регистрации при отведенном месте 2 Гб
По EN 50160	10 минут	3-фазная звезда	• (1000 событий)	• (1000 событий)		60 лет
По профилю «Напряжения и токи»	1 секунда	3-фазная звезда				270 дней
По профилю «Напряжения и токи»	1 секунда	3-фазная звезда			•	4 дня

По профилю «Мощности и гармоники»	1 секунда	3-фазная звезда				23 дня
По профилю «Мощности и гармоники»	1 секунда	3-фазная звезда	• (1000 событий)	• (1000 событий)		22, 5 дня
Включены все возможные параметры	10 минут	3-фазная звезда				4 года
Включены все возможные параметры	10 секунд	3-фазная звезда				25 дней
Включены все возможные параметры	10 секунд	1-фазная				64 дня
Включены все возможные параметры	10 секунд	1-фазная	• (1000 событий)	• (1000 событий)	•	14,5 дня

## 2.8 Измерительные системы

Анализатор можно непосредственно подключить к следующим типам сети:

- Однофазная (Рис. 16)
- С расщеплённой фазой (с разделённой обмоткой трансформатора, англ. split phase) (Рис. 17),
- Трёхфазная, типа "звезда" с нейтральным проводом (Рис. 18),
- Трёхфазная, типа "звезда" без нейтрального провода (Рис. 19),
- Трёхфазная, типа "треугольник" (Рис. 20).

Возможны косвенные измерения в сетях среднего напряжения:

- схема "звезда" (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**),
- схема "треугольник" (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

В трехпроводных сетях возможно измерение токов методом Арона, с использованием только двух клещей, которые измеряют линейные токи  $I_{L1}$  и  $I_{L3}$ . Ток  $I_{L2}$  вычисляется по формуле:

Этот метод можно использовать в случае сети типа "треугольник" (Рис. 21, Рис. 24) и "звезда" без нейтрального провода (Рис. 22).

### Внимание

Поскольку напряжения в анализаторе измеряются относительно входа N, то в сетях, в которых отсутствует нейтральный провод, необходимо соединить между собой входы N и L3 анализатора. В такой схеме не требуется подключение входа L3 анализатора к исследуемой сети. Это показано на Рис. 19, Рис.20, Рис. 21 и Рис. 22 (трехпроводные сети типа «звезда» и «треугольник»). Для измерения транзиентов в канале L3 подключение входа L3 обязательно.

В сетях с нейтральным проводом можно дополнительно произвести измерение тока в этом проводе после подключения дополнительных клещей к входу  $I_N$ . Это измерение выполняется после включения в конфигурации точки измерения опции **Ток в нейтрали N** с параметром **Измеренный**.

Альтернативой для измерения тока  $I_N$  с помощью клещей является вычисление тока в нейтральном проводе аналитическим методом. Анализатор дает такую возможность после выбора опции **Ток в нейтрали N** и параметра **Расчетный**. Ток в нейтрали рассчитывается по формулам:

- , в 1-фазной сети,
- , в 2-х фазной сети,
- , в 3-х фазной сети типа «звезда» с нейтралью N.

Указанные зависимости являются истинными при условии нулевого тока в защитном проводе PE. В типичных ситуациях этот ток, действительно, пренебрежительно мал, однако следует помнить, что в аварийных ситуациях (например, при коротком замыкании в цепи до момента срабатывания защиты) ток в проводе PE может достигать значительной величины; тем самым рассчитанное значение тока  $I_N$  будет отличаться от фактического.

### Внимание

**Для правильного вычисления полной мощности  $S_e$  и полного коэффициента мощности PF в трехфазной 4-х проводной сети обязательно измерение тока в нейтральном проводе. В таком случае необходимо всегда включать опцию «Измерение тока в проводе N» и подключить 4 измерительных клещей так, как это показано на Рис. Ошибка! Источник ссылки не найден.. Другая возможность - это включение аналитического расчета тока  $I_N$ . Подробнее о полной активной мощности  $S_e$  смотрите в п. Ошибка! Источник ссылки не найден..**

В случае сетей с наличием проводов PE и N (заземляющий и нейтральный) возможно также измерение напряжения N-PE. С этой целью необходимо подключить проводник PE к входу напряжения PE анализатора. Дополнительно в конфигурации точки измерения нужно выбрать опцию **Напряжение N-PE**.

Необходимо обратить внимание на направление наложения клещей (гибких и жестких). Клещи необходимо установить так, чтобы стрелка находящаяся на клещах была направлена в сторону нагрузки. Проверку можно выполнить путем измерения активной мощности – в большинстве типов пассивных приемников, активная мощность имеет положительный знак. В случае обратного подключения клещей, полярность выбранных клещей можно изменить программно с уровня приложения «Sonel Analiza».

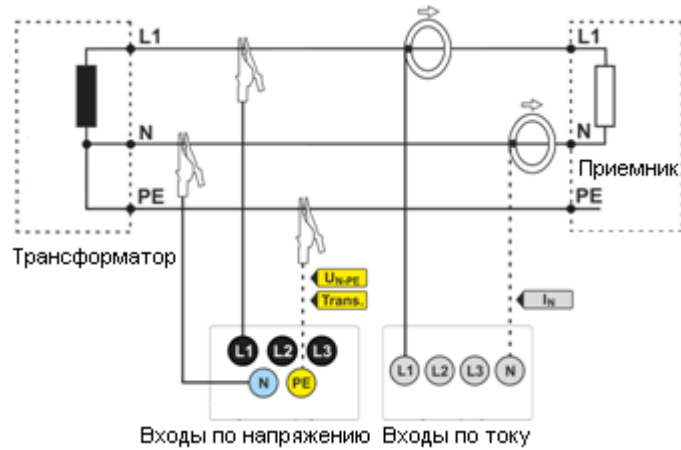
**PQM-703 PQM-711** Когда требуется измерение перенапряжения (транзиентов), следует обратить внимание на факт, что анализатор измеряет их относительно провода PE. Поэтому в таких случаях необходимо всегда обеспечить соединение входа PE анализатора с местным заземлением. Это замечание касается всех типов схем, также и 3-х проводных. Отключенный провод PE может не позволить обнаружить транзиенты. В 3-х фазных 3-х проводных схемах ("треугольник" и «звезда» без N), для обнаружения транзиентов в канале L3 необходимо также подключить вход L3 к исследуемой сети (в отличие от ситуации, когда измерения транзиентов не выполняются – тогда подключение этого входа к исследуемой сети не требуется).

Нижеприведенные рисунки схематически иллюстрируют способы подключения анализатора к исследуемой сети в зависимости от ее типа.

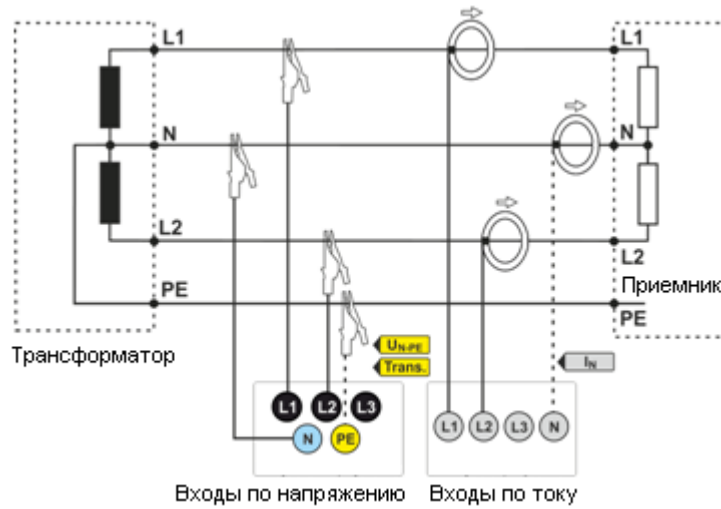
Значки, используемые на рисунках для дополнительных соединений, имеют следующее значение:

- ◀ **U<sub>N-PE</sub>** если требуется измерить напряжение  $U_{N-PE}$ , то необходимо выполнить соединение на схеме, обозначенное этим значком (подключить вход PE к защитному проводу).
- ◀ **I<sub>N</sub>** если требуется измерить ток  $I_N$ , то необходимо выполнить соединение на схеме, обозначенное этим значком (подключить клещи в канале  $I_N$ ).

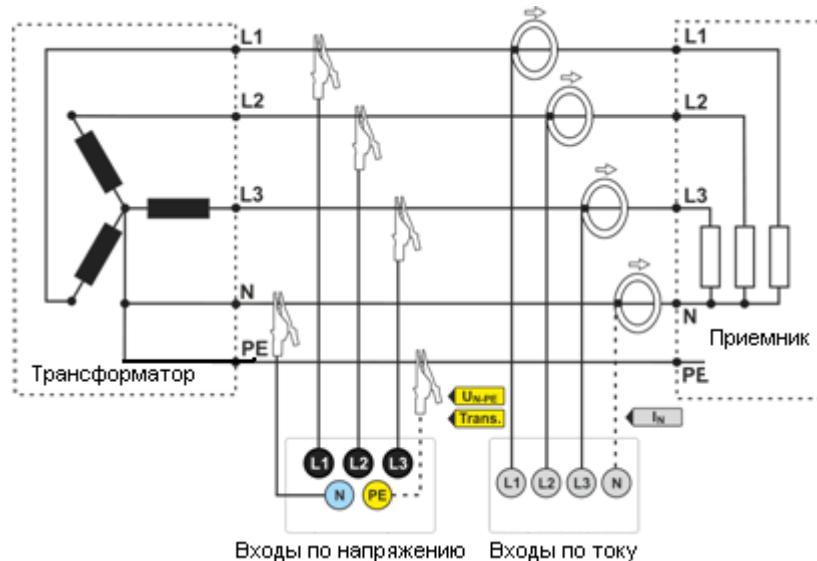
**Trans.** для измерения транзиев необходимо выполнить соединение на схеме, обозначенное этим значком (подключить вход PE к местному заземлению или защитному проводу и вход напряжения L3 в зависимости от типа схемы).



**Рис. 16. Схема подключения – однофазная сеть.**



**Рис. 17. Схема подключения – сеть с расщеплённой фазой (двухфазная).**



**Рис. 18. Схема подключения – трехфазная сеть "звезда" с нейтральным проводом.**

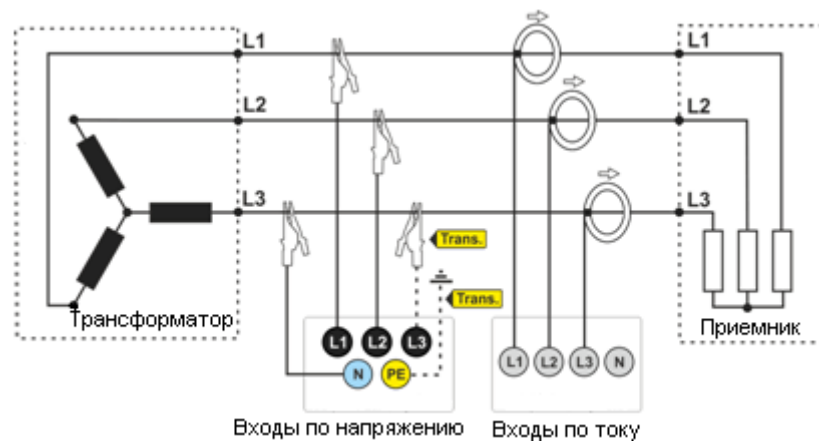


Рис. 19. Схема подключения – трехфазная сеть "звезда" без нейтрального провода.

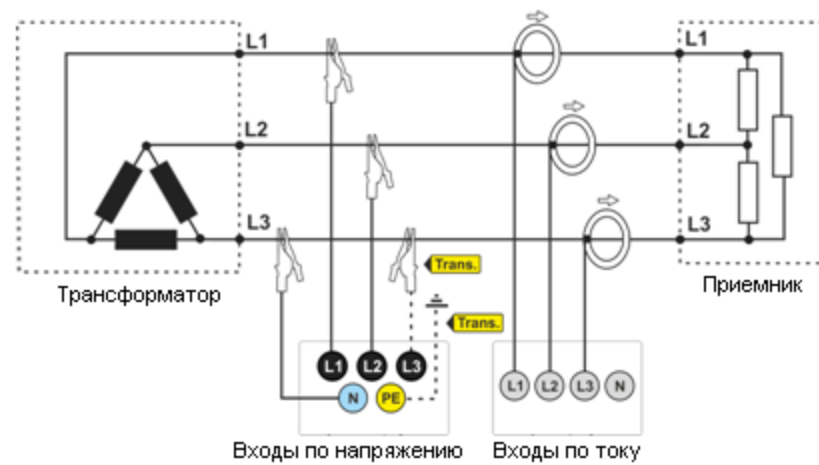


Рис. 20. Схема подключения – трехфазная сеть "треугольник".

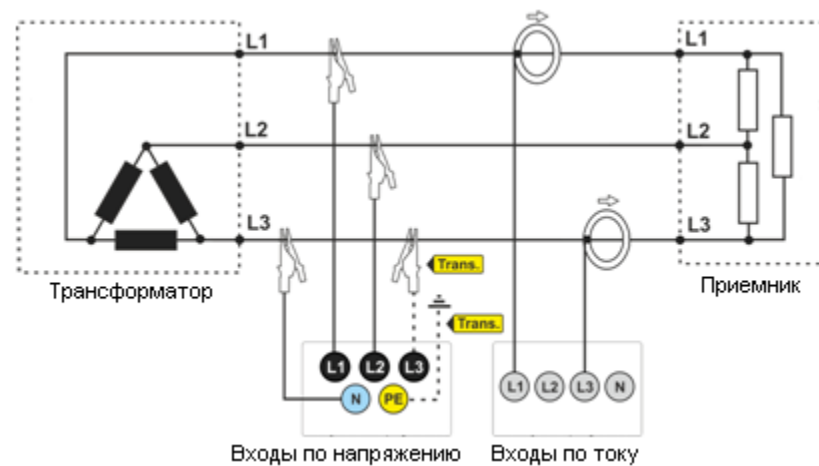


Рис. 21. Схема подключения – трехфазная сеть "треугольник" (измерение тока методом Арона).

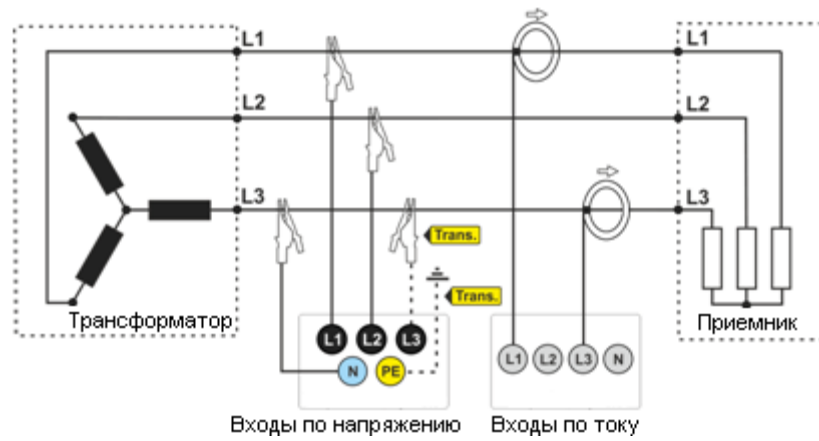


Рис. 22. Схема подключения – трехфазная сеть "звезда" без нейтрального провода (измерение тока методом Арона)

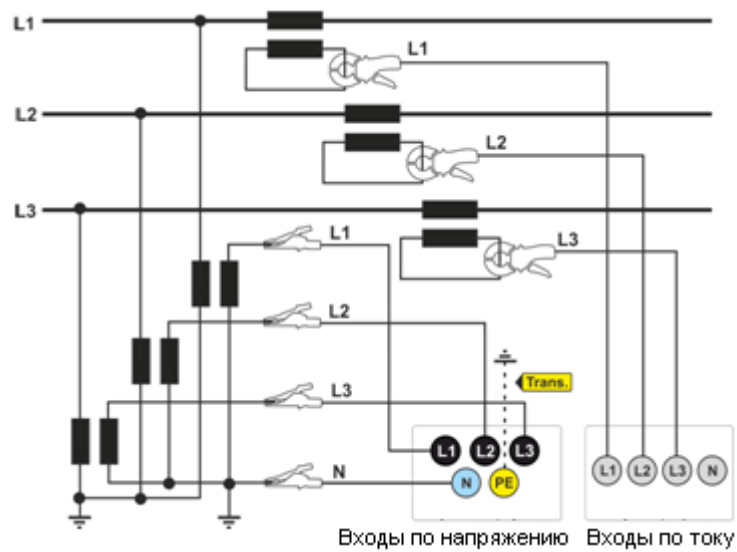


Рис. 23. Схема подключения – сеть с трансформаторами

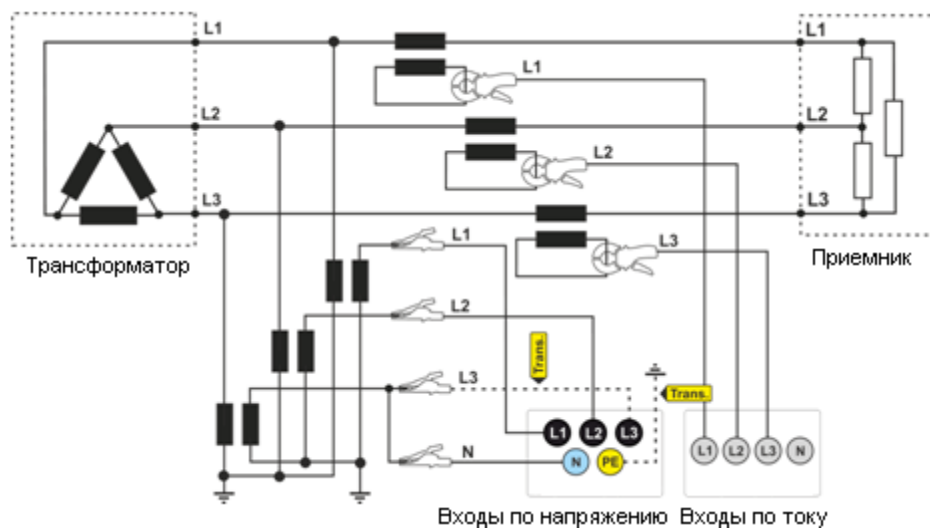


Рис. 24. Схема подключения – косвенное измерение SN в трехфазной сеть "треугольник"



## Внимание

Частотный диапазон передачи трансформаторов обычно очень небольшой, поэтому высокочастотные сетевые помехи, такие как например, перенапряжения от разрядов молнии, в значительной степени подавляются и искажаются на вторичной стороне трансформатора. Это необходимо учитывать при использовании функции измерения переходных процессов (транзиентов) в конфигурациях с трансформаторами.

## 2.9 Пример использования

Процедура, представленная ниже, показывает, как с помощью анализатора можно выполнить примерное измерение, шаг за шагом: от подключения до формирования отчета измерений. Это позволяет быстро познакомиться с основными функциями анализатора и программы *Sonel Analiza*. Предполагается, что программное обеспечение *Sonel Analiza* уже установлено. Данный пример предполагает использование анализатора PQM-703. В случае использования анализаторов, которые не позволяют измерять транзиенты, пропустите эти параметры.

### Сценарий: 1-фазное измерение в соответствии с конфигурацией пользователя.

Сценарий измерения следующий: пользователь хочет измерить параметры напряжения в 1-фазной сети на 230В, 50Гц. Измерение должно быть выполнено с 1-секундным усреднением. Должны быть зарегистрированы следующие параметры:


- средние значения напряжения, КГИ (THD) и гармоники,
- частота сети,
- определение событий по напряжению должно быть включено и установлено на уровне, соответственно:  $105\%U_{ном}$  для превышения,  $95\%U_{ном}$  для провала,  $10\%U_{ном}$  для прерывания. В момент обнаружения события должна быть записана осциллограмма и сигнал  $RMS_{1/2}$ .
- транзиенты должны быть включены на минимально возможном пределе напряжения 50В (настройка с наибольшей чувствительностью) и частоте дискретизации 10 МГц. Должна быть включена регистрация графиков переходных процессов (транзиентов).

После измерения следует создать временные графики (диаграммы) измеряемых параметров и сформировать примерный отчет измерения. Данные необходимо сохранить для дальнейшего анализа.

### Метод проведения измерений:

**Шаг 1:** Подключение анализатора к исследуемой сети необходимо выполнить в соответствии с

**Ошибка! Источник ссылки не найден..** Необходимо присоединить входы L1, N и PE (поскольку измеряются транзиенты). Клещи подключать не нужно, если не требуется измерение токов. Питание анализатора (красные провода) также можно подключить к исследуемой сети, для того, чтобы анализатор не работал на питании от аккумулятора и не выключился из-за разряда батареи.

**Шаг 2:** Включите анализатор клавишей . На дисплее должен появиться экран 1/9 как на **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

**Шаг 3:** запустите программу *Sonel Analiza*. Подсоедините USB кабель от анализатора к компьютеру. Если это первое подключение, то необходимо дождаться установки драйверов анализатора.

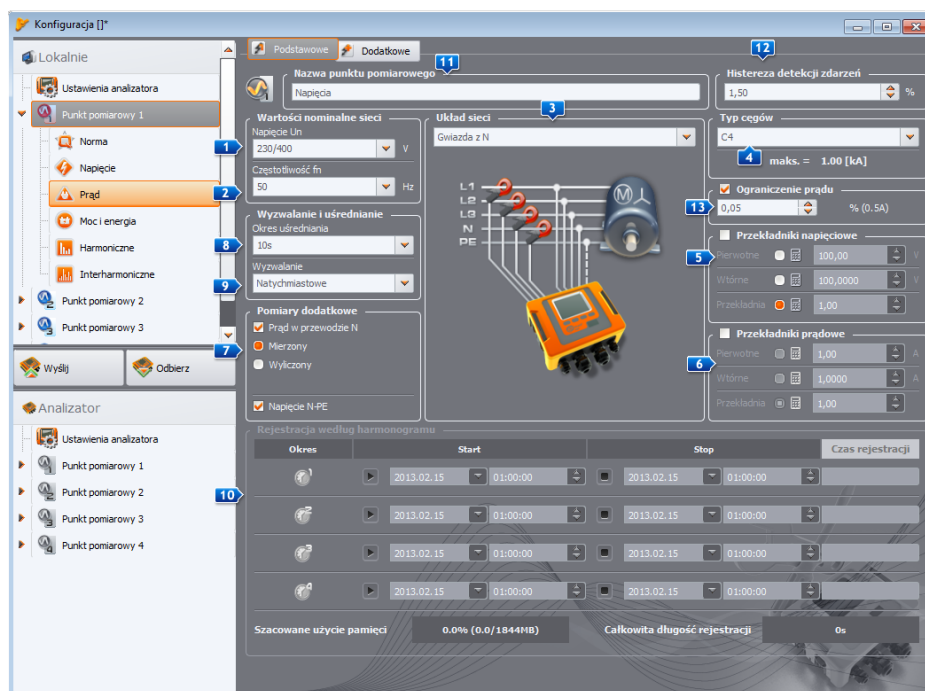
**Шаг 4:** щелкните мышью кнопку „**Конфигурация**” на панели инструментов *Sonel Analiza* или выберите в меню **Анализатор**→**Конфигурация**. Затем в отобразившемся окне нажмите кнопку „**Ответить**”. Это позволит считать текущую конфигурацию точек измерения, записанных в анализаторе.

**Шаг 5** (необязательный): Если анализатор не был ранее связан с приложением (статус „Отключен” на нижней панели окна *Sonel Analizy* изображен красным цветом, если анализатор не связан с приложением), щелчок мышью закладки „**Ответить**” приведет к вызову окна подключения к анализатору. В этом окне должен появиться один найденный анализатор (если это не так, попробуйте нажать кнопку „Новый поиск”). Выберите найденный анализатор, дважды щелкнув на нем кнопкой мыши. Если анализатор еще не был добавлен в базу анализаторов программы, то отобразится окно с запросом о вводе PIN-кода анализатора. Заводской код по умолчанию „000” (три цифры ноль). Успешное соединение подтверждается окном с надписью „Соединение установлено” (на дисплее анализатора отображается сообщение „Подключение к ПК (USB)”.

**Шаг 6:** Затем появится сообщение с просьбой подтвердить считывание параметров. Нажмите кнопку „**ОК**” и так же в подтверждающем считывание окне - „**ОК**”. Тем самым настройки всех четырех точек измерения были прочитаны приложением, их можно просмотреть и изменить в окне **Конфигурация**.

**Шаг 7:** Проверка распределения памяти. В левой верхней части окна **Конфигурация** расположена панель „**Локально**”. Первый пункт в панели – это **Параметры анализатора**. В основной части окна отображается одна из трех вкладок (**Тип анализатора**, **Распределение памяти**, **Синхронизация GPS**). На вкладке **Распределение памяти** нужно убедиться в том, что для точки измерения номер 1 хватит выделенного места на карте памяти (по умолчанию 25%). Если места выделено мало или установлено значение 0%, то бегунками необходимо соответствующим образом изменить распределение памяти.

**Шаг 8:** Изменение конфигурации точки измерения номер 1. Конфигурацию точки измерения номер 1 следует изменить в соответствии с вышеуказанным сценарием. Необходимо щелкнуть мышью на пункт в панели **Локально: Точка измерения 1**, чтобы изменить настройки точки и развернуть дерево параметров этой точки (двойной щелчок строки **Точка измерения 1** автоматически раскрывает древовидное меню). После раскрытия должны быть видны следующие позиции: **Стандарт**, **Напряжение**, **Ток**, **Мощность и энергия**, **Гармоники**, **Интергармоники**.



**Рис. 2. Основные настройки точки измерения 1.**

Чтобы изменить основные настройки точки измерения необходимо на панели **Локально** щелкнуть один раз на позиции **Точка измерения 1**. Экран должен иметь вид, как на Рис. 2.

Установите последовательно значения:

- однофазный тип сети (элемент **3** на Рис. 2),
- номинальное напряжение сети **1** 230/400 В,
- частоту сети **2** 50 Гц,
- период усреднения **8** на 1 с,
- мгновенный запуск **9**,
- гистерезис обнаружения событий **12** на 1,5%,
- тип токовых клещей **4** установите на позицию **Отсутствуют**,
- трансформаторы напряжения **5** и **Напряжение N-PE** (в разделе **Дополнительные измерения 7**) оставить не отмеченными,

В верхней части окна можно выбрать другую вкладку **Дополнительные**, на которой ползунками можно установить требуемое время записи осциллограмм и  $RMS_{1/2}$  для событий и время регистрации графиков переходных процессов (транзиентов). Эти периоды времени должны быть установлены в соответствии с индивидуальными предпочтениями.

Затем следует выбрать в дереве настроек точки измерения позицию **Стандарт** и убедиться, что поле „**Регистрация по стандарту**” не отмечено.

В строке **Напряжение** и вкладке **Основные** установите параметры в соответствии с Рис. 3.

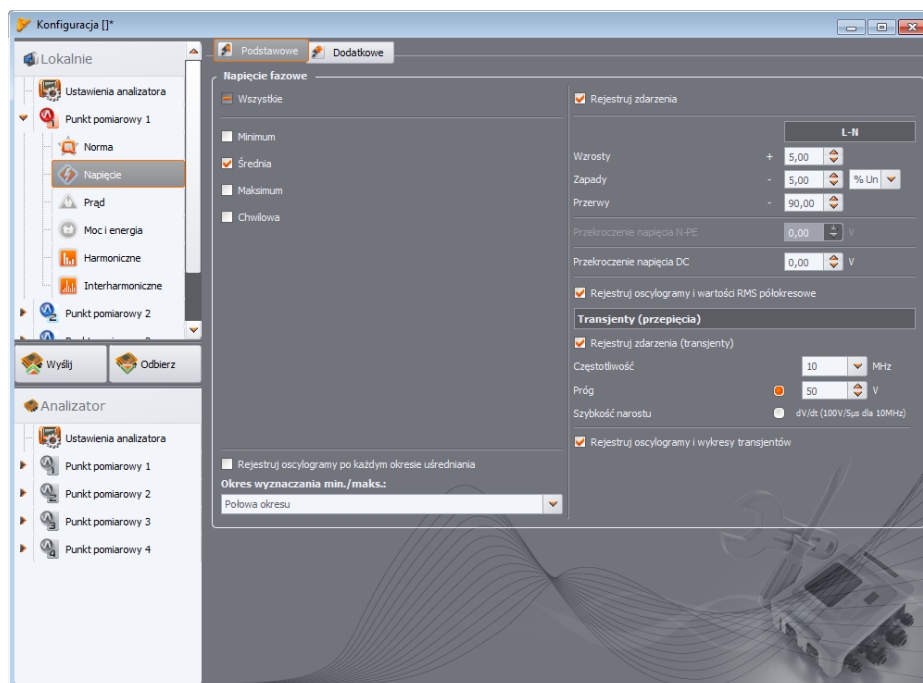


Рис. 3. Настройки строки Напряжение по сценарию 1.

В строке **Дополнительные** нужно отметить только средние значения для частоты, а остальные поля оставить не отмеченными.

В строке **Гармоники** и вкладке **Напряжения** нужно отметить поля для средних значений КГИ (THD) по напряжению и амплитуд гармоник напряжения, а остальные поля оставить не отмеченными. Выбор из списка „**THD расчет с**” можно сделать по собственному усмотрению.

В строке **Интергармоники** и вкладках **Напряжение** и **Сигналы управления** удалите отметки всех полей.

**Шаг 9:** Настройки для точки измерения были подготовлены правильно. Следующий шаг – это отправка этой конфигурации в анализатор. Карта памяти будет отформатирована. Для этого щелкните кнопку **Отправить**. В появившемся окне необходимо подтвердить удаление всех данных на карте памяти анализатора и отправку новой конфигурации.

**Шаг 10:** Анализатор готов к началу регистрации в соответствии с указанными параметрами. Чтобы начать регистрацию в точке измерения номер 1 выберите в меню **Анализатор**→**Контроль**. В появившемся окне выберите из списка **Текущая точка измерения** первую позицию (это поле содержит перечень названий, присвоенных отдельным точкам измерения) и начните регистрацию, нажимая зеленую кнопку **Пуск**. Ход регистрации сигнализирует мигающий символ **P1** в левом верхнем углу дисплея анализатора. Можно продолжить регистрацию на любое время; подключение программного приложения к анализатору не требуется. Во время регистрации можно ненадолго отсоединить провод L1 от проверяемой сети, для имитации пропадания напряжения.

**Шаг 11:** Прекращение регистрации и считывание данных для анализа. Необходимо вызвать окно **Контроль** (если оно еще не открыто) выбрав в меню **Анализатор**→**Контроль**. Нажмите красную кнопку **Стоп**. Щелкните по значку **Анализ** на панели инструментов (или выберите в меню **Анализатор** → **Анализ**), чтобы открыть окно, позволяющее считать записанные данные для анализа.

В окне отображаются четыре полосы, показывающие использование памяти для каждой из точек измерения. Установите флажок в поле рядом с полоской для точки измерения номер 1. С правой стороны полоски заполнения памяти отображается размер записанных данных. После отметки поля активируется кнопка **Загрузка данных**, которую следует нажать. Появится окно, отображающее ход загрузки данных. После полного считывания, появится окно для сохранения загруженных данных на диск. Рекомендуется сохранить данные в выбранном месте на жестком диске, чтобы иметь возможность вернуться к анализу данных в другое время. Необходимо указать расположение на диске и имя файла и нажать кнопку **Сохранить**.

В отобразившемся окне, нужно щелкнуть компьютерной мышью на горизонтальной полоске, представляющей интервал времени регистрации с надписью **Точка измерения 1 (Пользователь)** (после щелчка цвет изменится на оранжевый) и затем нажать кнопку **Анализ данных**.

**Шаг 12:** Анализ данных. В главном окне анализа находятся четыре основные кнопки: **Общие** (вид по умолчанию при загрузке данных), **Измерения**, **События**, **Конфигурация**. На изображении **Общие** с правой стороны отображаются графическим способом значки, символизирующие последующее измерение, событие и записанные осциллограммы по оси времени. Можно свободно увеличить график, при наличии большого количества данных, чтобы получить более подробную информацию. После нажатия кнопки **Измерения** появится таблица со значениями всех измеренных параметров в соответствии с выбранным временем усреднения. В этом сценарии время усреднения выбрано равным 1 секунде, так что каждую секунду записывалось значение напряжения, КГИ (THD) и гармоники (частота всегда измеряется через 10 секунд). Каждая строка содержит данные, сохраненные в последующую секунду, а каждая из колонок содержит отдельные параметры.

После нажатия на кнопку **События** можно просмотреть все зарегистрированные события. В этом сценарии регистрировались события по напряжению: перенапряжение, прерывание, пропадание, а также события из обнаруженных транзиентов. Каждая строка в таблице соответствует одному обнаруженному событию. Если для данного события доступны графики (например, осциллограммы и диаграммы  $RMS_{1/2}$ ), что предусмотрено этим сценарием, то последняя колонка содержит миниатюру

записанных графиков. После ее нажатия можно просмотреть графики, сопровождающие соответствующее событие.

**Шаг 13:** Отображение диаграмм сигналов напряжения и THD во времени. Чтобы создать диаграмму нужно перейти к отображению **Измерения** (нажать кнопку **Измерения**), выделить заголовки столбцов времени (первым всегда должен быть выбран столбец времени), напряжения L1, THD L1 (столбцы будут выделены цветом), а затем щелкнуть на кнопке **Диаграммы** и выбрать **Временной график**. Появится окно, в котором отображается график, содержащий две кривые сигналов во времени: напряжения L1 и THD L1. График можно произвольно увеличивать, а с помощью трех маркеров выделять на графике характерные точки и считывать параметры указанных точек. График можно записать (в выбранном графическом формате), щелкнув значок **Сохранить** на верхней панели инструментов.

**Шаг 14:** Отображение диаграмм гармоник. Можно отобразить два вида графиков для гармоник. Первый из них – это график изменения гармонических составляющих во время регистрации. Для отображения такого графика следует сначала выделить столбец времени, а затем столбцы выбранных гармоник (например, третьего и пятого порядка) и нажать кнопку **Диаграммы** → **Временной график**.

Другой тип графика – это гистограмма гармоник. Она показывает все гармоники в данном 1-секундном интервале (т.е. в одной строке). Для ее создания следует сначала выделить выбранную ячейку из столбца времени, а затем выбрать столбец любой гармоники, нажимая кнопку **Диаграммы** и выбирая из списка **Гармоники**. Таким методом можно выбрать также интервал времени, перетаскивая мышью диапазон ячеек в столбце времени. Тогда будет показана диаграмма средних значений гармоник из указанного интервала времени.

**Шаг 15:** Создание отчета измерения. Для создания отчета, содержащего значения выбранных параметров, следует выделить столбцы требуемых параметров (первым всегда должен быть выбран столбец времени), а затем щелкнуть на кнопке **Отчеты** и выбрать **Отчет пользователя**. Если нажать кнопку **Предварительный просмотр** в отобразившемся окне, то можно просмотреть сохраненные данные. Кнопка **Сохранить** запишет данные в указанном пользователем формате (PDF, html, txt, CSV).

**Шаг 16:** Проверка событий. Если анализатор при регистрации обнаружил какие-то события, они будут отображены в виде таблицы **События**. В строке описывающей конкретное событие, можно увидеть время появления (начало и конец), экстремальные значения (например, минимальное значение при провале напряжения), осциллограммы и графики  $RMS_{1/2}$ , если событие относится к напряжению или току. В этом сценарии диаграммы событий были включены в конфигурации, так что если анализатор обнаружил какие-то события, в последнем столбце таблицы с заголовком **Осциллограммы** должна быть иконка диаграммы. Необходимо щелкнуть на ней, чтобы отобразить диаграмму (или нажать кнопку **Диаграммы** и выбрать пункт **Осциллограммы**).

## 2.10 Синхронизация времени

### 2.10.1 Требования стандарта PN-EN 61000-4-30

Анализатор имеет встроенный приемник GPS, основным предназначением которого является синхронизация часов анализатора по сигналам атомных часов, посылаемым спутниками GPS. Синхронизация времени анализатора с универсальным временем UTC требуется по стандарту PN-EN 61000-4-30 устройствам класса А для маркировки данных измерений. Максимальная ошибка определения не может быть больше, чем 20 мс для сети 50 Гц и 16,7 мс для сети 60 Гц. Такие меры необходимы, чтобы различные анализаторы, подключенные к тому же сигналу, давали одинаковые показания. Синхронизация с универсальным временем также необходима, когда анализаторы


объединены в сеть. Когда источник сигнала времени становится недоступен, внутренние часы реального времени должны обеспечивать точность измерения времени лучше, чем  $\pm 1$  с за 24 часа, однако для соответствия классу А, даже в таких условиях, точность измерения должна быть такой же, как и раньше (то есть максимум 1 период сети).

### 2.10.2 Приемник GPS

Внутри анализатора находится антенна GPS, которая позволяет принимать сигналы GPS на открытом воздухе без каких-либо дополнительных аксессуаров. Антенна расположена в левом нижнем углу корпуса под верхней крышкой (в том месте, где на этикетке обозначен разъем GPS). Чтобы обеспечить синхронизацию времени при использовании анализатора внутри здания, необходимо подключить внешнюю антенну (дополнительные принадлежности) с длиной кабеля 10 м и установить антенну снаружи здания. Анализатор обнаружит подключение внешней антенны и переключит приемник на использование дополнительной антенны вместо внутренней.

Время достижения синхронизации GPS зависит от погодных условий (степени облачности, осадков) и от размещения приемной антенны. Для достижения наилучших результатов, антенна должна обеспечить обзор большей части неба. Чтобы получить сигнал времени с требуемой точностью, приемник GPS должен сначала определить свое текущее географическое положение (для этого требуется видимость, по крайней мере, 4 спутников – координаты места и высоты над уровнем моря). После определения местоположения и синхронизации времени анализатора со временем (UTC), приемник переходит в режим слежения. Чтобы в этом режиме обеспечить синхронизацию времени нужна видимость только одного спутника GPS. Однако, для определения новой позиции в случае перемещения анализатора, потребуются видимость 4-х спутников (3 спутников, если приемник GPS не обновляет высоту над уровнем моря). Это имеет значение, например, в режиме защиты от кражи, когда необходима постоянная информация о местоположении.

### 2.10.3 Маркировка данных измерения

Анализатор сохраняет записи измерений вместе с флагом отсутствия синхронизации времени. Если на протяжении всего интервала усреднения анализатор был синхронизирован с с всемирным координированным временем UTC, тогда флаг не устанавливается и при анализе данных не отображается значок отсутствия синхронизации . Отсутствие этой иконки означает полное соответствие сводных данных с классом А, в аспекте измерения времени. Синхронизация с временем UTC обозначается также зеленым цветом для даты и времени на верхней панели дисплея анализатора.

В ситуации, когда сначала анализатор был синхронизирован с временем UTC (состояние GPS на дисплее анализатора отображается, как **ДА**), а затем сигнал пропал (состояние **Нет сигнала**), не означает, что анализатор немедленно потерял синхронизацию времени. В действительности, в течение определенного времени (может быть, несколько минут или больше) точность внутреннего измерения времени достаточна для удовлетворения требований стандарта PN-EN 61000-4-30 в части, касающейся точности определения данных по времени. Это происходит потому, что внутренние часы анализатора очень медленно уходят от времени UTC (поскольку нет сигнала GPS), но ошибка не превышает несколько миллисекунд за длительный период времени. Так что, несмотря на статус, информирующий об отсутствии сигнала GPS, данные будут и далее записываться без флага, указывающего на отсутствие синхронизации со временем UTC. Только тогда, когда ошибка достигнет предельного значения, флаг будет установлен.

## 2.10.4 Ресинхронизация времени

Поскольку не гарантируется постоянное наличие сигнала GPS, необходимо правильное управление внутренним временем в ситуации, когда появляется сигнал времени GPS и оно отличается от времени, отсчитываемого анализатором.

При отсутствии регистрации ситуация самая простая – после приема спутникового времени часы анализатора автоматически переходят на него без каких-либо дополнительных условий.

В случае активной регистрации, внезапное изменение внутреннего времени может привести к потере данных измерений, когда время пойдет вспять или возникнет временной разрыв в данных, если время UTC опережает время анализатора. Чтобы избежать этого, введен механизм медленной подстройки внутреннего времени на спутниковое время. Реализация заключается в замедлении или ускорении встроенного таймера таким образом, чтобы через некоторое время двое часов – внутренние и GPS – сравнялись и достигли синхронизации. Преимуществом такого решения является тот факт, что не происходит потерь или утраты непрерывности данных измерений.

Пользователь имеет возможность настройки двух параметров конфигурации, которые определяют режим ресинхронизации времени при регистрации. Один из них (коэффициент ресинхронизации) определяет скорость процесса синхронизации времени. Чем меньше его значение, тем дольше будет продолжаться синхронизация, но длительность измерительных интервалов будет более приближена к заданному времени усреднения.

Несмотря на упомянутые недостатки скачкообразного изменения времени, остается возможность ее проведения даже в случае активной регистрации. Устанавливается порог в секундах (параметр **Порог перехода времени**), который является минимальной разницей между внутренним временем и UTC, при которой будет выполнено скачкообразное изменение времени.

### Внимание

**Скачкообразное изменение времени в процессе регистрации может привести к необратимой потере части зарегистрированных данных, поэтому рекомендуется использовать режим медленной ресинхронизации времени (установить Порог перехода времени на нулевое значение).**

Для того чтобы избежать проблем, связанных с измерением времени при регистрации, следует помнить о некоторых вопросах:

- В анализаторе должен быть правильно установлен часовой пояс и время, отображаемое на дисплее анализатора, должно максимально совпадать с местным временем (если нет сигнала GPS до начала регистрации).
- Включите медленную ресинхронизацию времени, установив параметр **Порог перехода времени** на нулевое значение и коэффициент ресинхронизации на малое значение (например, ниже 25%).
- Если это возможно, то еще до начала регистрации необходимо получить сигнал GPS, чтобы синхронизировать часы анализатора с всемирным координированным временем (UTC). Это позволит обеспечить наименьшую возможную погрешность измерения времени при регистрации и быструю подстройку часов в случае временной потери сигнала GPS.
- Для того чтобы измерение полностью соответствовало требованиям стандарта PN-EN 61000-4-30 в аспекте точности времени для устройства класса А, необходимо перед запуском регистрации синхронизировать часы анализатора с всемирным координированным временем UTC и обеспечить прием сигнала GPS в течение всего времени регистрации.

## 2.11 Работа в режиме связи по GSM

### 2.11.1 Общая информация о подключении GSM

Встроенный модем GSM позволяет осуществить беспроводную связь с анализатором практически из любого места, где есть доступ к интернету. Так же, как при подключении по USB и OR-1, в этом режиме пользователь имеет полный контроль над анализатором, может просматривать текущие данные, запускать и останавливать регистрацию, считывать данные для анализа и т.д. Для использования этого режима, в анализатор необходимо установить SIM-карту со следующими параметрами услуги связи:

- пакетная передача данных (GPRS),
- статический зарегистрированный номер IP,
- возможность отправки SMS уведомлений сигнализации.

#### **Внимание**

**Обычная SIM-карта, извлеченная из телефона, не может быть использована в анализаторе. Пакетная передача данных требует услуги предоставления статического IP адреса, зарезервированного только для данной SIM- карты. Этот постоянный номер IP позволяет сохранить постоянный адрес анализатора в сети Интернет. Этот тип услуги обычно используется для передачи типа „machine-to-machine” (m2m, „устройство к устройству”), применяемой, в частности, в промышленности для мониторинга и обмена данными измерений между устройствами.**

Коммуникация осуществляется следующим образом:

- модем подключается к сети GSM, а затем регистрируется в сети Интернет,
- модем запускает службу сервера подключений TCP/IP под присвоенным поставщиком услуги IP адресом. Стандартно используемый анализатором номер порта - это 4001. Под этим IP-адресом и номером порта, анализатор виден в Интернете.
- Компьютер, с которого выполняется попытка подключения к анализатору через модем GSM, должен иметь доступ к Интернету.
- Программа Sonel Analiza во время сканирования пытается установить соединение с анализаторами, которые имеют в базе анализаторов заданный номер IP (кроме того, в настройках программы нужно включить опцию „TCP/IP по GSM”). По умолчанию проверяется только порт 4001 удаленного хоста.
- Если под этим адресом найден анализатор и, кроме того, его серийный номер совпадает с номером в базе анализаторов, то он будет показан в списке найденных устройств.
- Обмен информацией после подключения происходит через Интернет. После завершения, программа закрывает соединение с анализатором, который переходит в состояние прослушивания и ожидания нового соединения с клиентом.

### 2.11.2 Настройка модема

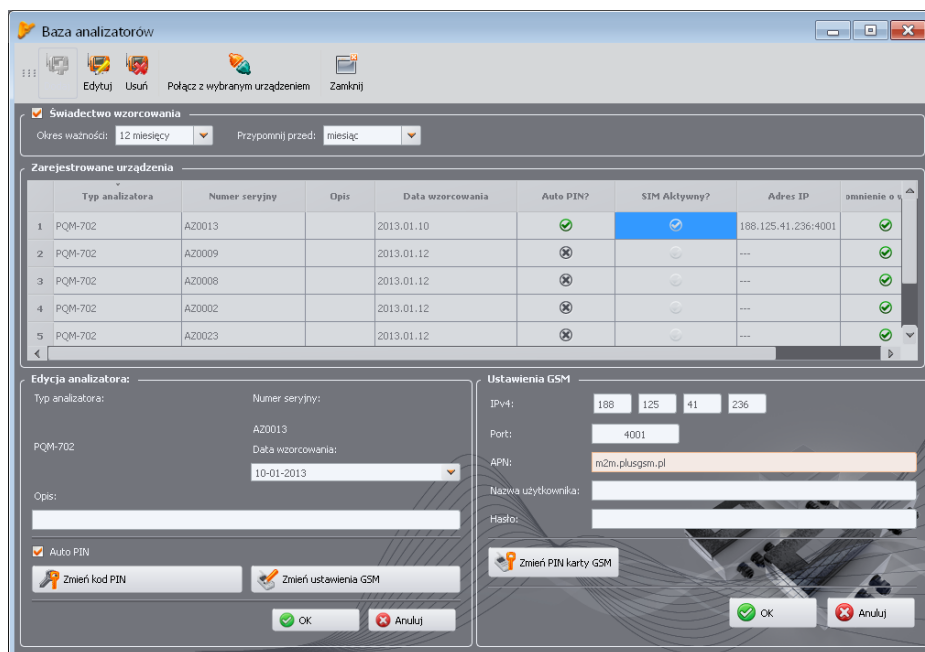
Для настройки SIM-карты и модема в анализаторе необходимы следующие данные, предоставляемые поставщиком услуг передачи данных:

- PIN-код для SIM-карты,
- PUK-код для SIM-карты, в случае блокировки SIM-карты после нескольких попыток ввода неправильного PIN-кода,
- адрес IP, присвоенный SIM-карте (это должен быть статический адрес),
- имя точки доступа APN (англ. *Access point name*),
- название пользователя и пароль (необязательно, обычно не требуется).



Настройку анализатора для подключения по GSM, следует производить следующим образом:

- подключиться к анализатору по кабелю USB. Если анализатора еще нет в базе данных, его нужно добавить к ней.
- необходимо убедиться, что модем включен. Для этого следует из меню программы выбрать пункт **Анализатор** → **Текущие настройки** и перейти на вкладку **Беспроводное соединение**. Проверьте установку параметра **Передача по сети GSM** и в случае необходимости включите его.
- отключите USB-соединение и выберите клавишами экран **<8/9>**. Если модем включен, но не установлена SIM-карта, то в строке **GSM** должно быть сообщение „**Отсутствует SIM-карта**”.
- вставьте SIM-карту в слот на боковой панели. Это гнездо типа „push-push” (для извлечения аккуратно нажмите на карту до упора – она выскочит наружу). Анализатор обнаружит, что карта установлена и попытается подключиться к сети.
- Если для SIM-карты ранее не был настроен PIN-код, анализатор выдаст сообщение „**Неверный PIN-код SIM-карты**”. Это сообщение также будет отображаться на экране **<8/9>**. Это означает, что SIM-карта отвергла PIN, с помощью которого анализатор пробовал с ней связаться. Это нормальная ситуация при установке в анализатор новой карты.
- Чтобы настроить недостающие параметры, необходимые для запуска передачи данных по GSM, необходимо заново подключиться к анализатору по USB и выбрать в меню программы **Параметры** → **База анализаторов**. В базе анализаторов войти в режим редактирования настроек только что подключенного анализатора (щелкнуть на строке с номером анализатора и нажать **Редактировать**). Нажмите кнопку **Изменить настройки GSM**.
- В этом окне последовательно введите: в поле **IPv4** адрес IP (должен быть предоставлен поставщиком услуг), имя точки доступа **APN**, название пользователя и пароль (если провайдер требует этого и передал эти данные). Подтвердите новые данные кнопкой **OK**.
- Затем появится окно с запросом ввода PIN-кода для SIM-карты. Нужно ввести код, прилагаемый к SIM-карте и подтвердить кнопкой **OK**.
- Если введены правильные данные, то анализатор использует их, чтобы успешно войти в сеть GSM. Лучше всего проверять статус соединения на экране **<8/9>** анализатора (необходимо завершить сеанс по USB). Правильное подключение сигнализируется статусом GSM: „**Готово, <тип подключения>**”. <Тип подключения> зависит от местоположения и типа услуги по передаче данных в конкретном регионе.
- правильная последовательность появления сообщений на экране **<8/9>** в случае подключения к сети GSM:
  - Включение ...
  - Подключение к сети ...
  - Подключение к Интернету ...
  - Готово, <тип подключения>



**Рис.27. Ввод параметров GSM в базу анализаторов.**

В случае извлечения SIM-карты из гнезда анализатор отображает сообщение об ошибке „Отсутствует SIM-карта”. Это сообщение не повторяется при последующих включениях анализатора. Извлечение SIM-карты во время работы анализатора допустимо, но не рекомендуется, так как в этом случае модем не корректно выходит из сети GSM.

**Внимание**  
**При каждом изменении конфигурации GSM происходит автоматический перезапуск.**

### 2.11.3 Проверка соединения GSM

Если на экране статуса номер 8 состояние модема GSM представлено как „ Готово, <тип подключения>”, это означает готовность принимать соединения от удаленного компьютера через Интернет. Можно выполнить тестовое соединение для проверки связи с приложением Sonel Analiza:

- Необходимо проверить в настройках программы, включен ли поиск анализаторов по сети GSM: в меню программы нужно выбрать **Параметры → Конфигурация программы → Настройки медиа → Активные медиа**. Поле **TCP/IP по GSM** должно быть отмечено.
- Анализатор, к которому необходимо подключиться, должен быть введен в базу анализаторов (если ранее производилась настройка модема по пункту **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – это уже будет выполнено).
- Следует отключить любые соединения с анализатором (по USB, Wi-Fi или OR-1).
- Выполните поиск анализатора любым методом (например, нажимая на **Текущие показания**). В списке поиска должен появиться анализатор с примечанием „Подключение по сети GSM”. Выберите этот анализатор и нажмите **ОК**.
- Через некоторое время, на экране должно отобразиться требуемое окно (например, окно **Текущие показания**), а статус в строке состояния приложения должен измениться на

„Подключено”. Также на дисплее анализатора отобразится сообщение „Подключение к ПК (GSM)”. Таким образом, попытка соединения прошла успешно.

#### 2.11.4 Возможные проблемы с конфигурацией GSM и рекомендуемые действия

**Проблема:** Индикатор выполнения при поиске анализаторов очень быстро доходит до 100%, не находя анализатора.

**Возможная причина:** Это может свидетельствовать о выключенном поиске анализаторов по GSM в настройках приложения или базе анализаторов.

**Решение:** в меню программы нужно выбрать пункт **Параметры**→**Конфигурация программы** → **Настройки медиа**→**Активные медиа**. Поле **TCP/IP по GSM** должно быть отмечено.

**Проблема:** Индикатор выполнения при поиске анализаторов в течение нескольких секунд доходит до 100%, не находя анализатора.

**Возможные причины:**

- 1) Анализатор выключен или с неактивным/ненастроенным модемом GSM.
- 2) Несоответствие IP-адреса анализатора и записи в базе анализаторов.
- 3) Активное GSM соединение анализатора с другим клиентом или временные проблемы сети.

**Решения:**

- 1) Если анализатор доступен, то проверьте состояние GSM модема на экране **8/9**. Если его статус „*Выключен*”, то необходимо в меню программы выбрать **Анализатор**→**Текущие настройки**, перейти на вкладку **Беспроводное соединение** и проверить, активен ли параметр **Передача по GSM** и включить его, если это не так. Проверьте настройки модема.
- 2) Убедитесь, что в базе анализаторов записан правильный IP-адрес анализатора.
- 3) Повторите попытку через несколько минут.

**Проблема:** Несмотря на правильный статус „Готово, <тип подключения>” на экране анализатора и проведенный поиск анализаторов, он так и не появился в списке. Параметр **Передача по GSM** включен и анализатор правильно сконфигурирован в базе анализаторов (вместе с IP адресом).

**Возможная причина:** Блокировка порта TCP 4001, который используется для передачи через межсетевой экран компьютера или брандмауэр провайдера Интернета в локальной сети.

**Решение:** Проверить в конфигурации компьютера, что порт TCP 4001 не заблокирован. Если это не так, обратитесь к администратору локальной сети.

**Проблема:** После установки в анализатор SIM-карты возникает ошибка „Неправильный IP-адрес”.

**Возможная причина:** Присвоенный сетью IP адрес другой, чем в конфигурации анализатора.

**Решение:** Проверить, что в базе анализаторов введен правильный IP-номер по данным провайдера. В базе анализаторов войдите в редактирование настроек анализатора и выберите **Изменить настройки GSM**. Введите и подтвердите правильный IP-адрес. Отключитесь от анализатора и проверьте соединение GSM по экрану статуса, правильно ли анализатор подключится к Интернету. Если это не принесет результата, проверьте, подходит ли установленная SIM-карта.

**Проблема:** Анализатор выдает ошибку „Неверный PIN-код SIM-карты”.

**Возможная причина:** Неверный PIN-код, используемый анализатором для разблокировки SIM-карты. Может быть, это связано с заменой SIM-карты на другую, или PIN-код карты изменен внешним устройством.

**Решение:** После подключения к анализатору по USB необходимо войти в базу анализаторов и выбрать параметр **Изменить настройки GSM**, а затем **Изменить PIN-код SIM-карты**. Введите любые четыре цифры в поле **Старый код PIN** (это поле в такой ситуации игнорируется), а затем дважды

в двух полях ниже введите правильный код SIM-карты. Сохраните настройки. Отключитесь от анализатора и на его экране <8/9> проверьте статус GSM (произойдет ли соединение с сетью).

**Проблема:** Анализатор выдает ошибку GSM „Требуется PUK”.

**Возможная причина:** Установленная в анализатор карта заблокирована в результате ввода несколько раз ошибочного кода PIN. Необходимо разблокировать SIM-карту, введя код PUK.

**Решение:** После подключения к анализатору по USB необходимо войти в базу анализаторов и выбрать параметр **Изменить настройки GSM**. Выбрать **Изменить PIN-код SIM-карты**. Должно открыться окно для ввода кода PUK и нового PIN-кода. Введите и подтвердите коды. Отключитесь от анализатора и на его экране <8/9> проверьте статус GSM (произойдет ли соединение с сетью). Карту также можно разблокировать, вставив в любой мобильный телефон и введя код PUK и новый PIN-код.

#### **ВНИМАНИЕ:**

**Несколько попыток ввода неверного кода PUK приводит к необратимой блокировке SIM-карты!**

**Проблема:** Анализатор сообщает об ошибках GSM: „Ошибка сети”, „Ошибка SMS”, „Нет сети” и др.

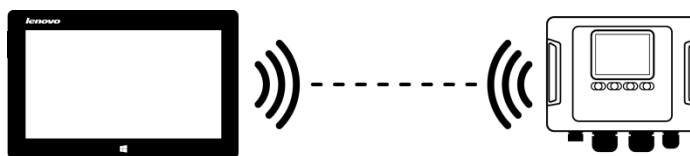
**Возможная причина:** Произошла одна из ошибок сети GSM. Это может быть вызвано записью неправильного номера телефона для SMS сообщений или временной потерей сети.

**Решение:** В случае ошибки SMS проверьте правильность введенного номера телефона. В других случаях не нужно предпринимать дополнительных действий. Анализатор снова попытается повторить операцию после определенного интервала времени (например, через 1 минуту).

## **2.12 Работа по беспроводному соединению Wi-Fi** PQM-710 PQM-711

### **2.12.1 Общая информация**

Анализаторы PQM-710/711 оснащены модулем Wi-Fi, работающем по стандарту IEEE 802.11 «b/g» и «n» с однопоточной передачей данных (точки доступа с одной антенной). Это позволяет получить удаленный доступ к анализатору с планшета (или компьютера). Возможно прямое соединение «планшет ↔ анализатор» (Рис. 4, Рис. 5), работа в локальной сети (Рис. 6) или через Интернет (Рис. 7).



**Рис. 4. Заводская конфигурация. Прямое соединение планшет ↔ анализатор.**

При прямом подключении точкой доступа Wi-Fi (маршрутизатором) является планшет. Для такой работы анализатор и планшет настроены по умолчанию (заводская конфигурация). В этом режиме работы шифрование всегда включено, и его нельзя отключить.

Планшет может работать совместно с несколькими анализаторами. Требуется только добавить их в базу анализаторов, смотри пункт 2.12.4 и пункт 2.12.5.

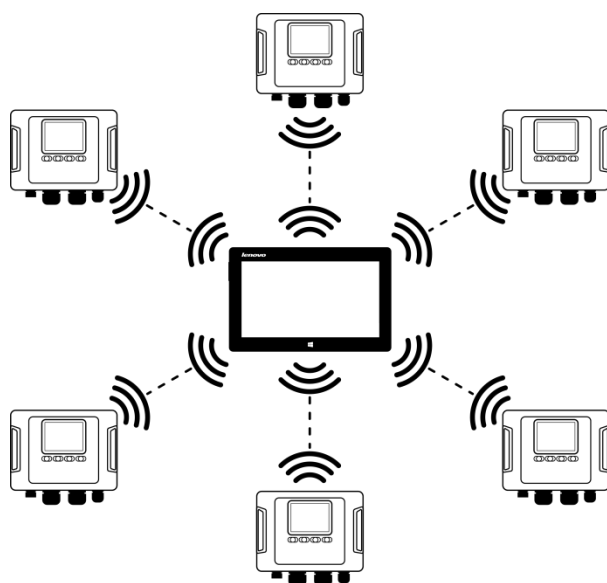


Рис. 5. Прямое подключение: планшет – несколько анализаторов.

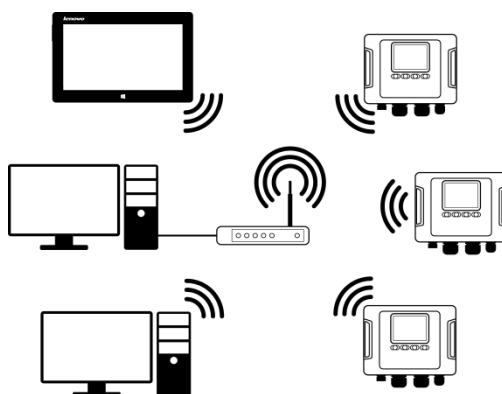


Рис. 6. Косвенное подключение через маршрутизатор Wi-Fi, локальная сеть.

В конфигурациях с внешним маршрутизатором возможна работа в открытой сети или сети, защищенной по стандарту WPA/WPA2-PSK. В незащищенных сетях должно быть пустым поле **Ключ** параметра **База анализаторов** в конфигурации анализатора (смотри также Рис. 10).

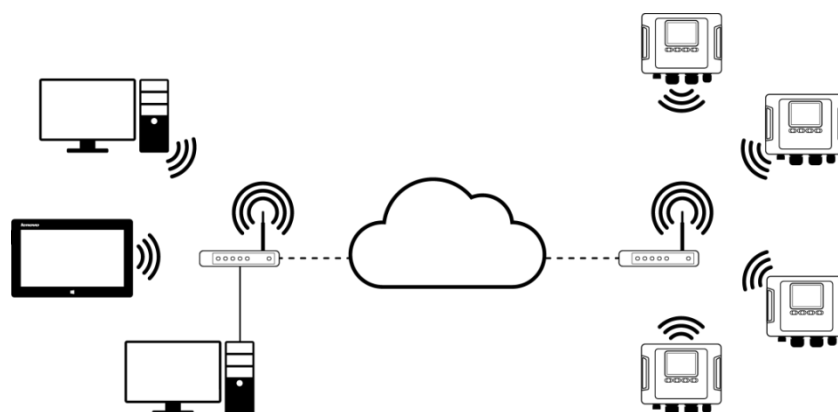


Рис. 7. Подключение через сеть Internet.

После подключения к точке доступа анализатор запускает службу сервера подключения TCP/IP под статическим IP-адресом или присвоенным сервером DHCP точки доступа. Порт TCP, используемый как в локальной сети, так и при прямом подключении – это 4002.

Из-за возможности использования динамического адреса при работе в локальной сети или прямом соединении, приложение *Sonel Analiza* сканирует всю подсеть, чтобы найти анализатор с MAC-адресом, соответствующим тому, какой был назначен для анализатора с данным серийным номером.

Соединение с анализатором через интернет требует соответствующей настройки маршрутизатора Wi-Fi администратором сети.

Анализатор, в пределах досягаемости которого не обнаружена необходимая точка доступа, остается в режиме сканирования диапазона Wi-Fi 2.4 ГГц.

Удаленное подключение программного приложения *Sonel Analiza* посредством Wi-Fi будет возможно, если включен этот способ связи в настройках программы (**Конфигурация программы → Активные медиа**, Рис. 8).

## 2.12.2 Заводская конфигурация

Заводская конфигурация Wi-Fi планшета и анализатора выглядит следующим образом:

- Планшет настроен, как точка доступа:
  - SSID сети: *AP\_серийный\_номер\_анализатора* (например, AP\_BR0001)
  - Адрес IP точки доступа: 192.168.173.1,
  - Маска подсети 255.255.255.0
  - Автоматическое присвоение адресов IP (DHCP): включено
  - Шифрование WPA2-PSK включено, ключ такой как SSID
- Параметры анализатора:
  - SSID сети: *AP\_серийный\_номер\_анализатора* (например, AP\_BR0001)
  - IP присваиваются автоматически точкой доступа: 192.168.173.X (где X находится в диапазоне 2...254), шлюз 192.168.173.1.
  - Шифрование WPA2-PSK включено, ключ такой как SSID

Приложение *Sonel Analiza* (версия для планшета), установлена на планшете и запускается автоматически после его включения.

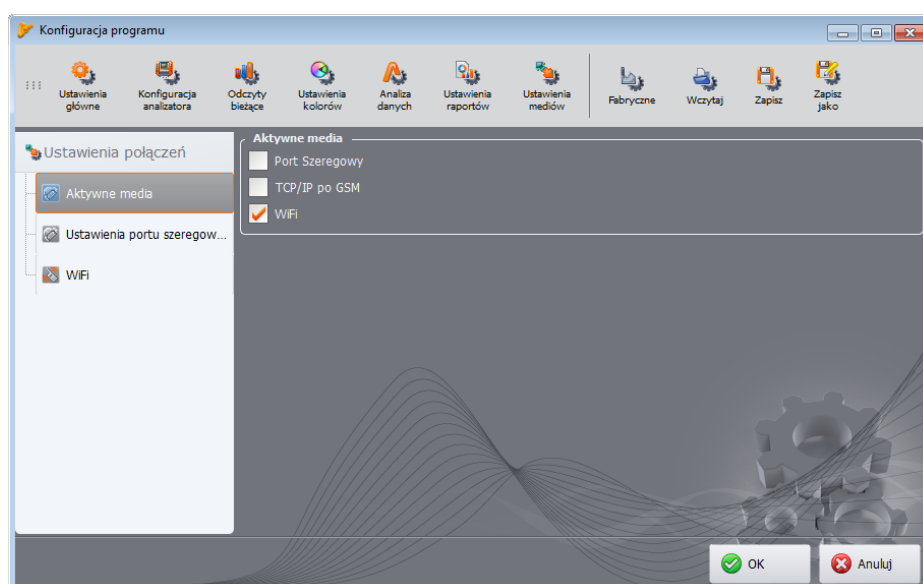


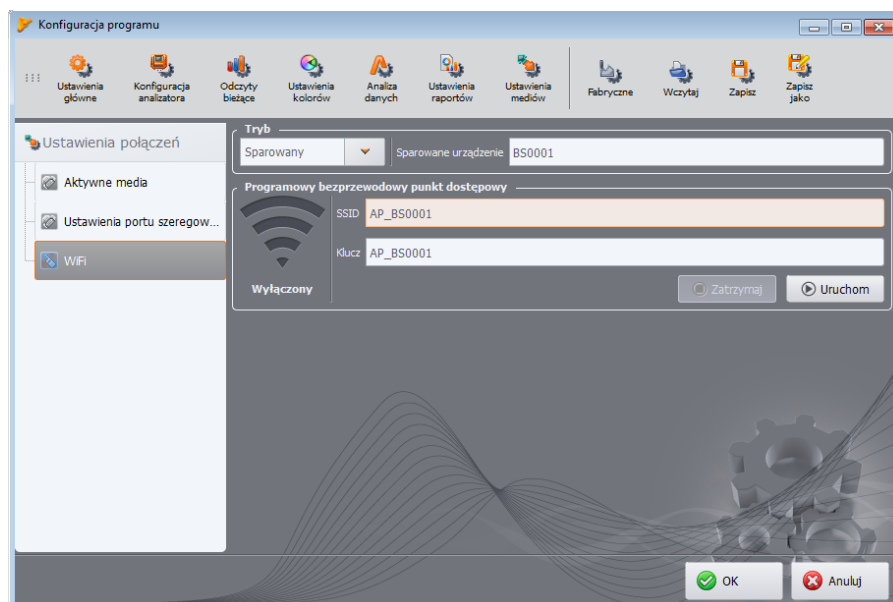
Рис. 8. Выбор активного способа передачи.

## 2.12.3 Включение/отключение/настройка точки доступа Wi-Fi в планшете.

- При прямой связи «планшет ↔ анализатор», планшет выполняет функцию точки доступа Wi-Fi.

- Точка доступа настраивается на этапе производства и активируется автоматически при запуске программы *Sonel Analiza*.
- Пользователь имеет возможность изменить конфигурацию точки доступа и даже отключить её.

Чтобы изменить настройки точки доступа необходимо выбрать в меню **Конфигурация программы** параметр **Настройки медиа**, а затем в списке на левой стороне выбрать **Wi-Fi**. Появится окно, представленное на Рис. 9.



**Рис. 9. Конфигурация точки доступа Wi-Fi**

В этом окне доступны следующие параметры:

- включение/отключение точки доступа (кнопки **Запуск** и **Остановить**).

#### **Внимание**

Выключение точки доступа приведет к тому, что прямое соединение «планшет ↔ анализатор» по Wi-Fi будет невозможно.

- изменение поведения программы при запуске. *Sonel Analiza* может работать в одном из двух режимов. Заводская установка – это режим **Сопряжения**. После запуска программы он приводит к автоматическому подключению планшета к сопряженному на заводе анализатору. Поле **Сопряженное устройство** показывает серийный номер сопряженного анализатора. Чтобы это было возможно, точка доступа должна находиться в состоянии **Запуск**. Выбор режима **Нормальный** вводит программу в обычный режим работы. В этом случае автоматическое соединение с сопряженным анализатором при запуске программы будет отключено.

Следующие два поля **SSID** и **Ключ** позволяют изменить параметры точки доступа в планшете:

- Поле **SSID** служит для ввода имени точки беспроводного доступа,
- Поле **Ключ** используется для защиты соединения паролем.

Чтобы правильно настроить точку доступа Wi-Fi необходимо:

- Отключить прежнюю точку доступа (кнопка **Остановить**),
- Ввести название точки доступа (поле **SSID**),
- Ввести пароль (поле **Ключ**),
- Нажать кнопку **Запуск**.

### Внимание

Для того, чтобы анализатор мог подключиться к точке доступа, в планшете должны быть записаны такие же названия **SSID** и **Ключ**, смотри главу 2.12.4.

#### 2.12.4 Настройка подключения Wi-Fi с помощью соединения по USB

Для правильной настройки соединения необходимо знать:

- Имя точки доступа (**SSID**) (для прямого подключения смотри главу 2.12.3).
- Пароль (**Ключ**) в случае защищенной сети (для прямого подключения смотри главу 2.12.3).
- **Внешний IP-адрес** и **Внешний порт**. Параметры, необходимые для работы в другой подсети, чем планшет (компьютер), особенно необходимы для соединения через Интернет.

Настройка конфигурации анализатора должна осуществляться следующим образом:

- Соединить планшет (компьютер) с анализатором USB кабелем.
- Выполнить поиск анализатора, путем выбора из меню программы параметра **Анализатор**→**Текущие параметры** (F4) и установить соединение с анализатором.
- Перейти на вкладку **Беспроводное соединение** (Рис. 10) и проверить активность параметра **Передача по Wi-Fi**. Если это не так, включить его.

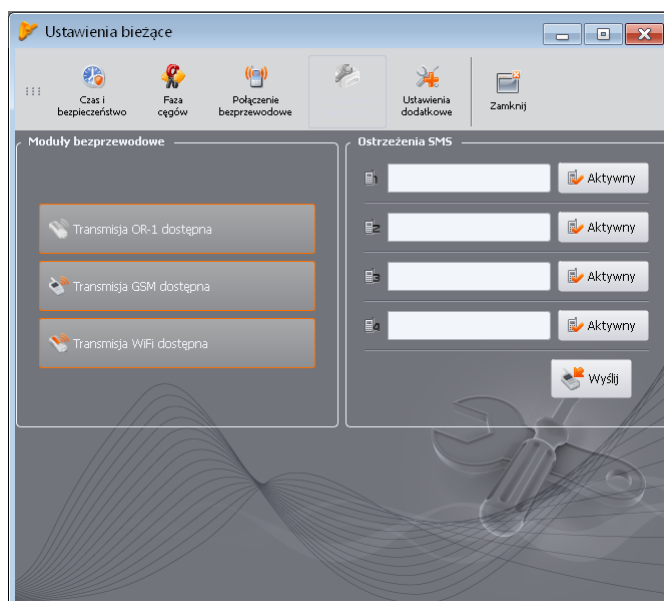


Рис. 10. Экран текущих параметров анализатора, доступные средства для передачи данных.

- Выбрать в меню программы пункт **Параметры**→**База анализаторов** (F3). В базе анализаторов перейти к редактированию настроек анализатора (выбрать строку с серийным номером анализатора и щелкнуть **Редактировать**). В появившемся меню, нажать кнопку **Изменить настройки Wi-Fi**.
- Необходимо ввести по очереди: имя точки доступа (поле **SSID**), а также в случае защищенной сети поставить галочку в поле **Изменить** и ввести пароль (поле **Ключ**). Для незащищенной сети, поле **Ключ** можно оставить пустым, но поле **Изменить** должно быть отмечено галочкой.



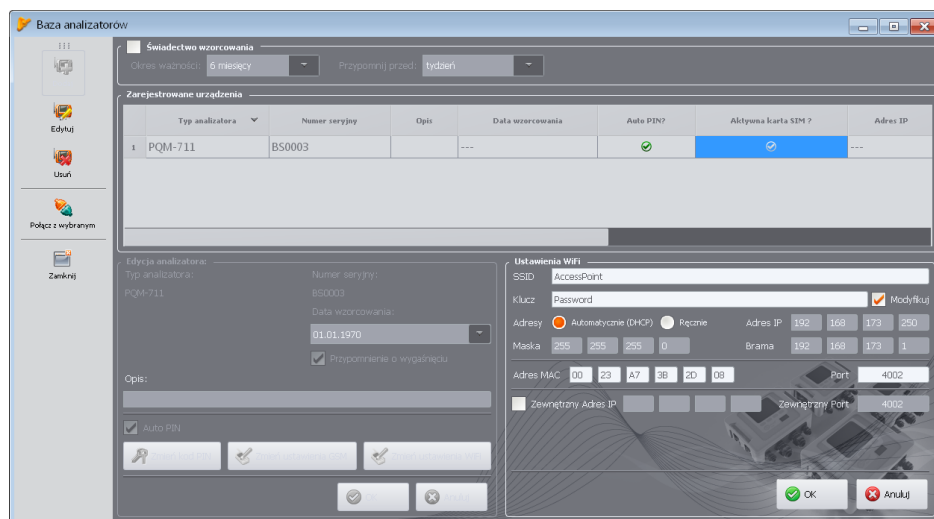


Рис. 11. Экран с конфигурацией Wi-Fi для прямого соединения или работы в локальной сети.

- Выбрать способ присвоения IP адреса. В случае ручного режима ввести соответствующие значения в поля **Адрес IP**, **Маска** и **Шлюз**. В автоматическом режиме выбрать **DHCP**.
- Поле **Адрес MAC** при подключении по USB заполняется автоматически (считано из анализатора).
- Поле **Порт** не подлежат редактированию, это всегда номер 4002.
- Для работы в других подсетях (сеть Интернет) заполните поля **Внешний IP-адрес** и **Внешний порт**. Для прямого соединения (планшет ↔ анализатор), а также для работы в локальной сети (планшет ↔ маршрутизатор Wi-Fi ↔ анализатор) эти поля должны быть в неактивном состоянии.
- Если анализатор имеет статический IP-адрес, то можно сократить время его поиска. С этой целью в поле **Внешний IP-адрес** нужно ввести IP-адрес прибора, а в поле **Внешний порт** - номер 4002.
- Подтвердите выполненные изменения настройки нажатием кнопки **ОК**. Тем самым новые данные, введенные в полях: SSID, Ключ, конфигурация IP, будут отправлены в анализатор.
- Если введены правильные данные, то анализатор будет пытаться подключиться к точке доступа Wi-Fi. После отключения, статус соединения можно отслеживать на экране <10/10>.

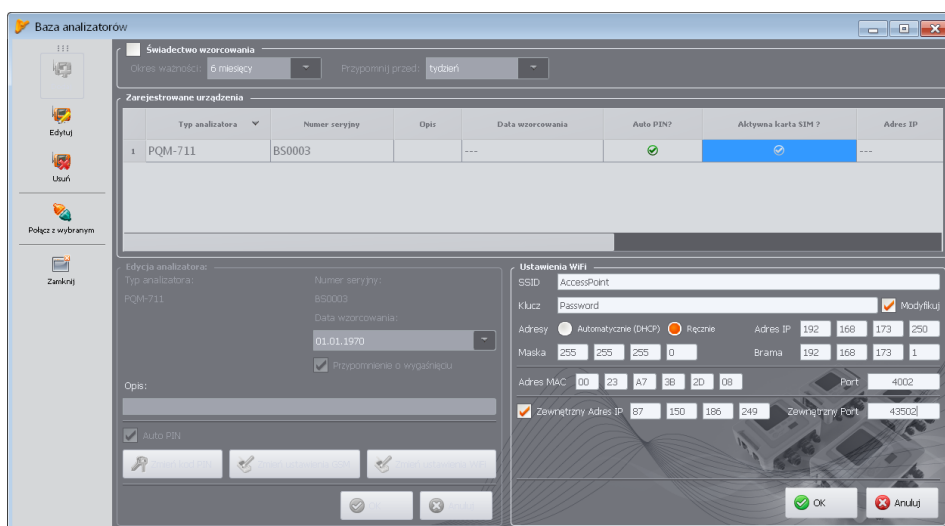


Рис. 12. Примерная конфигурация анализатора для соединения по сети Интернет.

Правильная последовательность появления сообщений на экране:

- „Поиск сети...”
- „Подключение к сети...”
- „Получение адреса IP...” (в случае DHCP)
- „Готов”

## 2.12.5 Изменение настроек Wi-Fi в базе анализаторов при отсутствии соединения по USB

Нижеописанная процедура относится к случаю, когда анализатор ранее был сконфигурирован, но существует необходимость добавления его в базу или редактирования параметров Wi-Fi, идентифицирующих прибор.

Для правильной настройки соединения необходимо знать:

- Физический адрес анализатора (**Адрес MAC**), этот параметр необходимо считать с экрана <10/10>.
- **Внешний IP-адрес** и **Внешний порт**. Параметры, необходимые для работы в другой подсети, чем планшет (компьютер), особенно необходимы для соединения через Интернет.

Настройка конфигурации анализатора должна осуществляться следующим образом:

- Выбрать соответствующий анализатор в базе и нажать кнопку **Редактировать** или нажать кнопку **Добавить** для добавления его в базу.
- Используя кнопки **Изменить настройки Wi-Fi** заполните поле **Адрес MAC**.
- Для работы в других подсетях (сеть Интернет) заполните поля **Внешний IP-адрес** и **Внешний порт**. Для прямого соединения (планшет ↔ анализатор), а также для работы в локальной сети (планшет ↔ маршрутизатор Wi-Fi ↔ анализатор) эти поля необходимо оставить в **неактивном** состоянии.
- Примечание: если анализатор имеет статический IP-адрес, то можно сократить время его поиска. С этой целью в поле **Внешний IP-адрес** нужно ввести IP-адрес прибора, а в поле **Внешний порт** - номер 4002.
- Подтвердите выполненные изменения настройки нажатием кнопки **OK**.

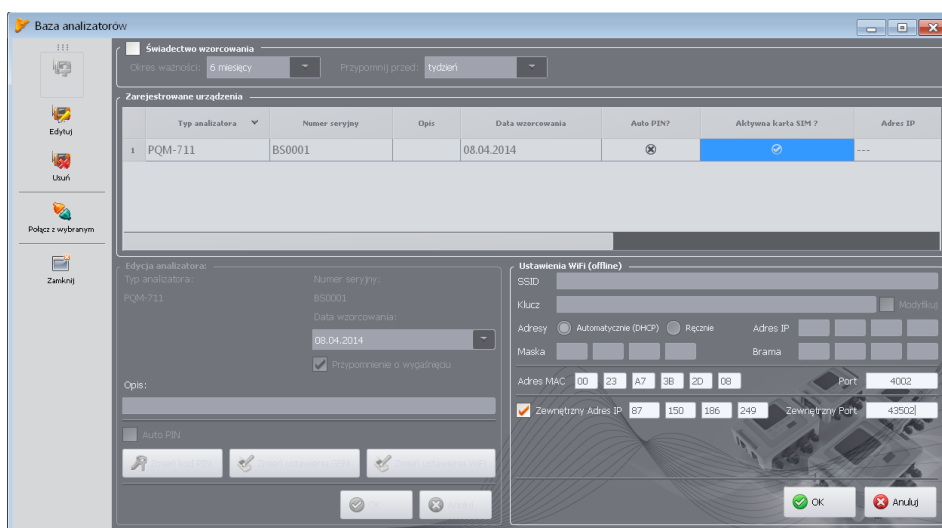


Рис. 13. Примерная конфигурация для связи по интернету для отключенного анализатора

## 2.12.6 Проверка соединения Wi-Fi

Если на экране статуса <10/10> состояние Wi-Fi отображается как „Готов” – это означает готовность установить соединение с планшетом от удаленного компьютера (планшета). Можно выполнить тестовое подключение для проверки связи с приложением *Sonel Analiza*:

- Необходимо проверить в настройках программы, включен ли поиск анализаторов по Wi-Fi: в меню программы нужно выбрать **Параметры** → **Конфигурация программы** → **Настройки медиа** → **Активные медиа**. Поле **Wi-Fi** должно быть отмечено.
- Анализатор, с которым мы хотим соединиться, должен быть внесен в базу анализаторов (это будет обеспечено, если ранее была выполнена настройка в соответствии с пунктом 2.12.4).
- Необходимо отключить любые соединения с анализатором (USB, GSM).

- Выполнить поиск анализатора, выбрав любой метод (например, щелкнув по кнопке **Текущие показания**). В списке результатов поиска должен появиться анализатор с примечанием „Соединение по Wi-Fi”. Выберите этот анализатор и нажмите кнопку **ОК**.
- Через некоторое время на экране должно появиться нужное окно (например **Текущие показания**), а статус в строке состояния приложения должен измениться на „Подключен”. Также на дисплее анализатора отобразится сообщение „Подключение к ПК (Wi-Fi)”. Тем самым попытка установить соединение завершилась успехом.

### 2.12.7 Возможные проблемы с настройкой Wi-Fi и рекомендуемые действия

**Проблема:** Индикатор выполнения при поиске анализаторов очень быстро доходит до 100%, не находя анализатора.

**Возможная причина:** Это может свидетельствовать о выключенном поиске анализаторов по Wi-Fi в настройках приложения или базе анализаторов.

**Решение:** в меню программы нужно выбрать **Параметры** → **Конфигурация программы** → **Настройки медиа** → **Активные медиа**. Поле **Wi-Fi** должно быть отмечено.

**Проблема:** Индикатор выполнения при поиске анализаторов в течение нескольких секунд доходит до 100%, не находя анализатора.

**Возможные причины:**

- 1) Анализатор выключен или с неактивным/ненастроенным соединением Wi-Fi.
- 2) Несоответствие MAC-адреса анализатора и записи в базе анализаторов.
- 3) Несоответствие внешнего IP-адреса анализатора и записи в базе анализаторов (соединение через Интернет).
- 4) Активные поля **Внешний IP-адрес** и **Внешний порт** в базе анализаторов в случае прямого соединения «планшет ↔ анализатор» или при работе в этой же сети.
- 5) Активное Wi-Fi соединение анализатора с другим клиентом или временные проблемы сети.

**Решение:**

- 1) При доступности анализатора, можно проверить состояния Wi-Fi на экране <10/10>. Если состояние „Выключено”, то необходимо в меню программы выбрать параметр **Анализатор** → **Текущие настройки**, перейти на вкладку **Беспроводное соединение** и проверить, что опция **Передача по Wi-Fi** активна или включить её, если это не так. Проверить настройку Wi-Fi.
- 2) Убедиться, что в базе анализаторов введен правильный MAC адрес анализатора. Адрес MAC отображается на экране <10/10>
- 3) Убедиться, что в базе анализаторов введен правильный внешний IP-адрес и внешний порт сконфигурирован в маршрутизаторе Wi-Fi.
- 4) Снять флажок в поле **Внешний IP-адрес** в базе анализаторов.
- 5) Повторить попытку подключения.

**Проблема:** Несмотря на правильный статус „Готов” на экране анализатора и поиск анализаторов, он не появился в списке. Опция **Передача по Wi-Fi** включена и анализатор правильно сконфигурирован в базе анализаторов (вместе с IP-адресом).

**Возможная причина:** Блокировка порта TCP 4002, который используется для связи, сетевым брандмауэром компьютера (планшета) или провайдером Интернета локальной сети.

**Решение:** Проверить в конфигурации компьютера, что порт TCP 4002 не заблокирован. В противном случае обратитесь к администратору локальной сети.

**Проблема:** При прямом подключении планшет ↔ анализатор скорость передачи падает ниже 200 кб/с

**Возможные причины:**

- 1) Слишком большое расстояние между планшетом и анализатором.
- 2) Планшет работает в режиме точки доступа Wi-Fi и одновременно соединен с внешним маршрутизатором Wi-Fi, например, для доступа в Интернет.
- 3) Слишком высокий уровень помех в канале, по которому ведется передача.

#### Решение:

- 1) Подойти к анализатору с планшетом на расстояние меньше, чем 10 м.
- 2) Если анализатор подключен к точке доступа на планшете, нужно отключить планшет от внешнего маршрутизатора Wi-Fi, выключить точку доступа на планшете, а затем включить её снова (Рис. 9). Это обеспечит работу точки доступа планшета на свободном канале. Если же связь с анализатором осуществляется через внешний маршрутизатор Wi-Fi, то необходимо убедиться, что точка доступа на планшете выключена (Рис. 9).
- 3) В случае, когда точкой доступа Wi-Fi является планшет, в окне конфигурации программы (Рис. 9) его следует выключить и снова включить. Это заставит точку доступа работать на другом свободном канале. Если же точкой доступа является внешний маршрутизатор Wi-Fi, то следует его заставить работать на другом канале.

#### Проблема: Потеря связи с анализатором

##### Возможные причины:

- 1) В окне беспроводных соединений (Рис. 10) выключена связь по Wi-Fi.
- 2) Отключена точка доступа Wi-Fi.
- 3) Слишком большое расстояние между анализатором и планшетом в случае прямого соединения.
- 4) Слишком большое расстояние между анализатором и точкой доступа Wi-Fi или между компьютером (планшетом) и точкой доступа Wi-Fi.
- 5) Слишком высокий уровень помех в канале, по которому ведется передача.

##### Решение:

- 1) Подключиться к анализатору при помощи кабеля USB или сети GSM и включить связь по Wi-Fi в анализаторе (Рис. 10)
- 2) Включить точку доступа Wi-Fi и подождать, пока анализатор к ней подключится. На экране **<10/10>** отображается состояние Wi-Fi „Готов“.
- 3) Подойти с планшетом ближе к анализатору и повторить попытку подключения. Лучше всего, когда анализатор находится в поле зрения, тогда на экране **<10/10>** видно состояние Wi-Fi и уровень сигнала. Только состояние „Готов“ гарантирует возможность подключения. Желательно чтобы отображаемый уровень сигнала составлял как минимум две полоски.
- 4) Если это возможно, поместите анализатор/компьютер (планшет) и/или точку доступа Wi-Fi в таком месте, чтобы уровень сигнала Wi-Fi составлял как минимум две полоски, равно как для анализатора, так и для компьютера.
- 5) В случае, когда точкой доступа Wi-Fi является планшет, в окне конфигурации программы (Рис. 9) необходимо его выключить и снова включить. Это заставит точку доступа работать на другом свободном канале. Если же точкой доступа является внешний маршрутизатор Wi-Fi, то следует его заставить работать на другом канале.

## 2.12.8 Перенос данных с планшета на стационарный компьютер

Данные, анализируемые на планшете можно свободно перенести на стационарный компьютер. Это может быть сделано, по крайней мере, двумя способами:

- 1) Скопировать данные из планшета на карту памяти микро-SD или по USB, а затем переместить их на любой компьютер.
- 2) Использовать соединение по Wi-Fi. Для этого нужно:
  - убедиться, что работает точка доступа Wi-Fi на планшете и проверить имя сети (SSID) (Рис. 9),
  - подключить компьютер к точке доступа на планшете (Рис. 14). Используйте пароль (ключ), который введен в конфигурацию точки доступа на планшете (можно проверить в программе *Sonel Analiza*, параметр **Конфигурация программы** → **Настройки медиа** → **Wi-Fi**, поле **Ключ**, см. Рис. 9),
  - открыть Проводник для работы с файлами (Рис. 15) и ввести IP-адрес планшета \\192.168.173.1
  - на планшете должен отобразиться общий каталог (папка с общим доступом), из которого можно скопировать файлы на жесткий диск компьютера.

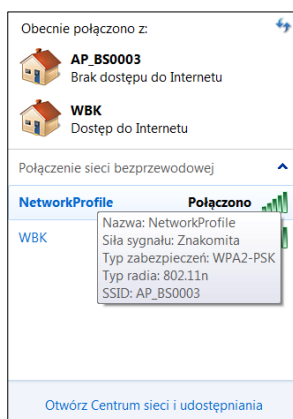


Рис. 14. Просмотр доступных сетей Wi-Fi.

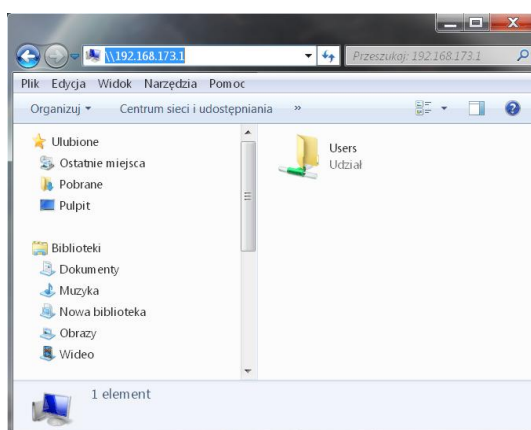


Рис. 15. Просмотр общих каталогов (папок) на планшете.

## 2.13 Уведомление о перемещении анализатора

Анализатор, в котором работает GSM-модем в зоне действия GPS, может уведомлять пользователя о своем перемещении. Чтобы воспользоваться этой возможностью, необходимо установить параметр „**Функция против кражи**” с помощью приложения и ввести в список экстренных телефонов соответствующий номер, на который необходимо отправить сообщение SMS. В этом режиме анализатор запоминает свое положение, которое было определено впервые после включения регистрации, и затем отправляет SMS-сообщение на указанный номер телефона (или телефонов), если будет обнаружено перемещение анализатора более чем на 100 м. SMS сообщение содержит текущие координаты анализатора. Также в программе Sonel Analiza можно связаться с анализатором по GSM и проверить в окне статуса его текущее местоположение (даже когда анализатор отключен – смотри ниже). Если анализатор долгое время находится на расстоянии дальше 100 м от исходного положения, то каждые 10 минут отправляются SMS-ки с его текущей позицией (не более, чем 10 SMS).

В неблагоприятных условиях приема сигнала GPS (слабый сигнал, отражения сигнала) возможна отправка анализатором ложного сообщения о перемещении. Пользователь также уведомляется о потере или появлении вновь сигнала GPS, позволяющего определить положение анализатора с помощью дополнительных SMS сообщений.

После активации функции защиты от кражи анализатор ведет себя по-другому в выключенном режиме: постоянно включены модем GSM и GPS-приемник. Это приводит к тому, что в случае отсутствия сетевого питания аккумулятор разряжается в очень быстром темпе, примерно, как при нормальной работе анализатора с питанием только от аккумулятора. По истечении этого времени,

анализатор полностью выключается, следовательно, будет уже невозможно отправлять SMS сообщения.

### Внимание




Для правильной работы функции защиты от кражи требуется:

- включенный GSM модем с правильно настроенной SIM-картой,
- по крайней мере, один установленный телефонный номера для отправки SMS-сообщения.

Активация функции защиты от кражи должна сопровождаться проверкой обоих этих элементов.

## 2.14 Блокировка клавиатуры

В приложении ПК есть возможность настройки параметров блокировки клавиш после начала регистрации. Это делается для защиты анализатора от остановки регистрации посторонним человеком. Чтобы разблокировать клавиши, пользователь должен ввести код, состоящий из 3 цифр:

- Нажатие любой клавиши вызовет появление надписи „Введите код” и трех черточек „ – – –”;
- Пользователь может ввести правильный код разблокировки с помощью клавиш на клавиатуре: клавиша  последовательно изменяет цифры 0, 1, 2...9, 0 в первой позиции, клавиша  во второй, а клавиша  в третьей;
- Трехсекундное бездействие клавиатуры запускает проверку введенного кода;
- Правильно введенный пароль обозначается надписью **ОК** и происходит снятие блокировки, а неверно введенный код приводит к появлению надписи „Неверный код” и возврат в прежнее состояние (например, гашение дисплея, если он был выключен).

После разблокировки, клавиатура автоматически блокируется снова, если пользователь в течение 30 секунд не нажмет на любую клавишу.

### Внимание

Удержание в течение 5 секунд клавиш  и  вызывает аварийное отключение блокировки клавиш и отменяет блокировку клавиатуры в анализаторе.

## 2.15 Спящий режим

Программа ПК дает возможность включить спящий режим. В этом режиме через 10 секунд от начала регистрации анализатор гасит дисплей. С этого момента каждые 10 секунд в левом верхнем углу дисплея кратковременно появляется номер точки измерения, сигнализируя об активной регистрации. После завершения регистрации (например, если память была заполнена) экран будет погашен до тех пор, пока не будет нажата клавиша.

## 3 КОНСТРУКЦИЯ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

### 3.1 Входы по напряжению

Конструкция блока входных напряжений схематично показана на Рис. . Представлены два измерительных блока: справа от разъема показана основная схема, используемая для измерения большинства параметров напряжения. Частота дискретизации в этой цепи составляет 10,24 кГц. Три входа фаз L1, L2, L3 и защитный провод PE имеют общую линию, относительно которой происходят измерения – это провод N (нейтраль).

**РQM-703** **РQM-711** Слева показано, как подключить модуль транзиентов к входным разъемам (только RQM-703 и RQM-711). Можно увидеть, что все четыре канала измеряют относительно входа PE. Эти цепи имеют широкую полосу пропускания (частота дискретизации до 10 МГц) и большой диапазон измеряемых напряжений.

Рис. также иллюстрирует, что цепь питания анализатора является независимой от цепи измерения. Источник питания имеет номинальный диапазон входного переменного напряжения 90...760В переменного тока и оснащен отдельными разъемами.

В основной цепи анализатор имеет два поддиапазона напряжения:

- низковольтный диапазон, с пиковым напряжением  $\pm 450$  В (без нагрузки), включается при номинальных напряжениях сети в диапазоне 64В...127В и в конфигурациях с измерительными трансформаторами напряжения; также этот диапазон всегда выбирается для канала  $U_{N-PE}$ ,
- высоковольтный диапазон, с пиковым напряжением  $\pm 1500$  В (без нагрузки), включается при номинальных напряжениях сети от 220 В и выше (без трансформаторов напряжения).

Использование двух диапазонов напряжения позволяет обеспечить заявленную точность измерения в соответствии с классом А стандарта ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30) для всех номинальных напряжений сети.

### 3.2 Входы по току

Анализатор имеет четыре независимых токовых входа с идентичными параметрами. К каждому из них можно подключить жесткие токовые клещи с выходом по напряжению в стандарте 1В, или гибкие токовые клещи F-1, F-2 и F-3.

Типичной ситуацией является использование гибких клещей вместе с встроенным электронным интегратором. Однако, отличие описываемого анализатора в том, что он позволяет прямое подключение к входу токового канала катушки Роговского (гибких клещей), а интеграция сигнала осуществляется при последующей цифровой обработке.

### 3.3 Цифровой интегратор

В анализаторе используется решение с цифровым интегрированием сигнала, идущего непосредственно с катушки Роговского. Такой подход позволил избежать проблем аналоговых

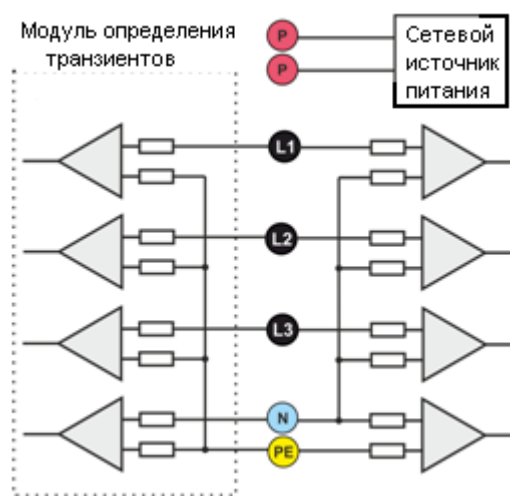


Рис. 40. Входы напряжения (с модулем транзиентов) и источник питания

интеграторов, связанных с необходимостью обеспечения заявленной точности в долгосрочной перспективе и в тяжелых условиях измерения. Аналоговые интеграторы должны включать в себя также схемы, предохраняющие от перегрузки по выходу в случае присутствия на входе постоянного напряжения.

Идеальный интегратор имеет бесконечное усиление для постоянных сигналов, которое убывает со скоростью 20 дБ/декаду частоты. Сдвиг фазы является постоянным во всем диапазоне частот и составляет  $-90^\circ$

Теоретически бесконечное усиление для постоянного сигнала, если он появится на входе интегратора, вызывает насыщение его выхода до значения близкого к напряжению питания и блокирует дальнейшую его работу. В практических схемах применяются решения, ограничивающие усиление для постоянного тока до некоторого заданного значения, а также периодически обнуляют выход. Существуют также методы активной компенсации постоянного напряжения, заключающиеся в его измерении и подаче обратно на вход, но с противоположным знаком, эффективно удаляя его. В английской терминологии принято определение „leaky integrator”, означающее, что интегратор с утечкой. Аналоговый „leaky integrator” – это просто интегратор с конденсатором, соединенным одним концом с резистором большой величины. Такая схема в этом случае совпадает с низкочастотным фильтром с очень низкой частотой пропускания.

Цифровая реализация интегратора обеспечивает отличные долговременные параметры – вся процедура выполняется путем вычисления, не может быть и речи о старении элементов, дрейфах и т.п. Однако, так же, как и в аналоговой версии, здесь тоже может возникнуть проблема насыщения и без должного противодействия цифровое интегрирование может стать бесполезным. Следует иметь в виду, что входные усилители, как и аналого-цифровой преобразователь, имеют некоторое конечное и нежелательное смещение, которое должно быть удалено до процесса интеграции. Программное обеспечение анализатора содержит цифровой фильтр, задачей которого является полное удаление постоянной составляющей напряжения. Отфильтрованный сигнал подвергается цифровой интеграции. Итоговая фазовая характеристика имеет отличные свойства и минимальный сдвиг фазы для наиболее критических частот 50 и 60 Гц.

Обеспечение как можно меньшего сдвига фаз между сигналами тока и напряжения является чрезвычайно важным для достижения низкой погрешности измерения мощности. Можно показать, что ошибка измерения мощности приблизительно выражается зависимостью<sup>1</sup>:

$$\text{ошибка измерения мощности} \approx \text{ошибка фазы (в радианах)} \times \tan(\varphi) \times 100 \%,$$

где  $\tan(\varphi)$  – это тангенс угла между током и напряжением, основными их составляющими.

Из приведенной выше формулы можно сделать вывод, что ошибки измерения растут вместе с убыванием коэффициента фазового сдвига; например, при ошибке фазы только  $0,1^\circ$  и  $\varphi = 0,5$ , ошибка составляет 0,3%. Так или иначе, чтобы измерения мощности были точными, согласованность фаз на пути напряжения и тока должна быть как можно лучше.

Примечание<sup>1</sup>: Current sensing for energy metering, William Koon, Analog Devices, Inc.

### 3.4 Дискретизация сигнала

Сигнал дискретизируется одновременно во всех восьми каналах с частотой, синхронизированной с частотой питающего напряжения опорного канала. Эта частота составляет 10, 24 кГц для частот 50 Гц и 60 Гц.



Каждый период содержит 204,8 выборок для частоты 50 Гц и 170,67 для 60 Гц. Используется 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь, который обеспечивает 64-кратную дискретизацию.

3-дБ аналоговая схема подавления настроена на частоту около 20 кГц, в то время как ошибка амплитуды для максимальной полезной частоты равной 3 кГц (т.е. частоты 50-й гармоники для сети 60 Гц) составляет около 0,1 дБ. Сдвиг фазы для той же частоты меньше  $15^\circ$ . Затухание в полосе непропускания составляет более 75 дБ.

Следует обратить внимание, что для правильного измерения фазового сдвига между гармониками напряжения относительно гармоник тока и мощности, не важен абсолютный фазовый сдвиг этих гармоник по отношению к основной частоте, а только совпадение фазовых характеристик цепей напряжения и тока. Наибольшая ошибка разницы фаз составляет для  $f = 3$  кГц максимально  $15^\circ$ . Эта ошибка уменьшается одновременно с уменьшением интересующей нас частоты.

При оценке ошибки измерения мощности гармоник следует также учесть дополнительную погрешность, вводимую при использовании токовых клещей и трансформаторов.

### 3.5 Синхронизация ФАПЧ

Синхронизация частоты дискретизации реализована аппаратным способом. Сигнал напряжения, пройдя через входные цепи, направляется в полосовой пропускающий фильтр, задачей которого является снижение уровня гармоник и пропуск только основной гармоники напряжения. Затем этот сигнал направляется для обработки в фазовую петлю, как опорный сигнал. Схема фазовой автоподстройки частоты или ФАПЧ (англ. Phase Locked Loop или PLL) вырабатывает частоту, которая многократно выше опорной частоты и служит тактовой частотой аналого-цифрового преобразователя.

Необходимость применения системы фазовой петли напрямую вытекает из требований стандарта ГОСТ 30804.4.7-2013 (PN-EN 61000-4-7), описывающего методику и допустимые ошибки при измерениях гармоник. Этот стандарт требует, чтобы окно (в значении - весовая функция) измерения, которое является основой для однократного измерения и оценки содержания гармоник, было равно по продолжительности 10 периодам электрической сети для сети 50 Гц, а также 12 периодам для 60 Гц. В обоих случаях, это соответствует времени около 200 мс. Поскольку частота питающей сети может подвергаться периодическим изменениям и флуктуациям, длительность окна не может быть равна точно 200 мс, и например, для частоты сети 51 Гц она уже составляет около 196 мс.

Стандарт также рекомендует, чтобы данные перед выполнением преобразования Фурье (для извлечения спектральных компонентов) не проходили операцию весовой функции. Отсутствие синхронизации частоты и допустимость ситуации, при которой быстрому преобразованию Фурье (FFT) подверглись бы выборки нецелого числа периодов, может привести к явлению утечки спектра. Это явление приводит к тому, что полоска спектра гармоник размазывается также на несколько соседних полосок интергармоник, что может привести к потере информации о реальном уровне и мощности исследуемой полоски спектра. Допускается возможность использования функции окна весом Ханна, которая уменьшает неблагоприятные последствия утечки спектра, но это ограничивается только той ситуацией, в которой петля ФАПЧ (PLL) потеряла синхронизацию.

Стандарт ГОСТ 30804.4.7-2013 (PN-EN 61000-4-7) также уточняет необходимую точность блока синхронизации. Это выражается следующим образом: время между нарастающим фронтом первого импульса стробирования и  $(M+1)$  - этого импульса (где  $M$ -число отсчетов в окне измерения) должно быть равным продолжительности указанного числа периодов в измерительном окне (10 или 12) с максимально допустимой ошибкой  $\pm 0,03\%$ . Чтобы объяснить это более простым способом, рассмотрим следующий пример. Принимая частоту сети 50 Гц, длительность окна измерения составит ровно 200 мс. Если первый дискретизирующий импульс придет точно в момент  $t = 0$ , то первый дискретизирующий импульс следующего окна измерения должен придти в момент времени  $t = 200 \pm 0,06$  мс. Эти  $\pm 60$  мкс - допустимое отклонение фронта импульса дискретизации. Стандарт также определяет рекомендуемый минимальный диапазон частот, при котором указанная выше точность

системы синхронизации должна сохраняться и устанавливает ее в пределах  $\pm 5\%$  от номинальной частоты, то есть 47,5...52,5 Гц и 57...63 Гц соответственно для сети 50 Гц и 60 Гц.

Отдельным вопросом является диапазон значений входного напряжения, при котором система ФАПЧ (PLL) будет правильно работать. Стандарт ГОСТ 30804.4.7-2013 (PN-EN 61000-4-7) не устанавливает здесь каких-либо конкретных указаний и требований. В то же время, стандарт ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30) определяет диапазон значений напряжения питания, в котором метрологические характеристики не могут ухудшиться и для класса А устанавливает ее на 10%...150%  $U_{din}$ . Анализатор соответствует вышеуказанным требованиям, связанных с функционированием схемы ФАПЧ (PLL), также для самого низкого поддерживаемого номинального напряжения  $U_{nom} = 64В$ , то есть примерно до 6 В.

### 3.6 Измерение частоты

Сигнал для измерения 10-секундного значения частоты сети берется из канала напряжения L1. Это тот же самый сигнал, который используется для синхронизации петли ФАПЧ (PLL). Сигнал канала L1 подается на полосовой 2-рядный фильтр, полоса пропускания которого установлена в диапазоне 40..70 Гц. Этот фильтр предназначен для снижения уровня гармоник. Затем, отфильтрованный таким образом сигнал формирует прямоугольный сигнал. Во время 10-секундного цикла измерения подсчитывается число периодов сигнала, а также их продолжительность. 10-секундные интервалы времени определяются по часам реального времени (как общее время кратное 10 секундам). Частота рассчитывается как отношение количества считанных периодов времени к их продолжительности.

### 3.7 Метод измерения гармонических составляющих

Измерение гармоник осуществляется в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 30804.4.7-2013 (PN-EN 61000-4-7).

Он дает способ расчета отдельных гармоник.

Весь процесс состоит из нескольких этапов:

- синхронная выборка (10/12 периодов),
- анализ по быстрому преобразованию Фурье (FFT),
- группировка.

Анализ по быстрому преобразованию Фурье (FFT) подвергается окно измерения 10/12 периода (около 200 мс). В результате получается набор спектральных линий от частоты 0 Гц (постоянный ток) до 50-ой гармоники (около 2,5 кГц для 50 Гц или 3 кГц для 60 Гц). Расстояние между соседними линиями непосредственно следует из принятой длительности измерительного окна и составляет приблизительно 5 Гц.

Поскольку анализатор собирает 2048 отсчетов на окно измерения (для частот 50 Гц и 60 Гц), тем самым выполняется требование быстрого преобразования Фурье, чтобы количество отсчетов, прошедших преобразование было равно степени числа 2.

Очень важно поддержание постоянной синхронизации частоты дискретизации с частотой электрической сети. Быстрое преобразование Фурье (FFT) может быть выполнено только над данными, содержащими общее кратное периода сети. Выполнение этого условия необходимо для того, чтобы свести к минимуму так называемую утечку спектра, что приводит к искажению информации о фактических уровнях спектральных линий. Анализатор соответствует этим требованиям, поскольку частота дискретизации стабилизирована схемой фазовой автоподстройки частоты (PLL).

Поскольку частота сети может быть подвержена колебаниям во времени (флуктуациям), стандарт предусматривает группирование вместе с линиями основных гармоник также линий,

лежащих в непосредственной близости от них. Отсюда следует, что энергия составляющих может частично переходить на соседние составляющие интергармоник.

Предусмотрено два способа группировки:

- гармоническая группа (сгруппированы основная полоска и по пять или шесть соседних компонентов интергармоник),
- гармоническая подгруппа (сгруппированы основная полоска и одна из соседних линий).

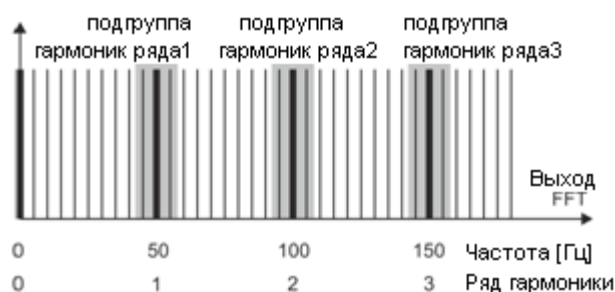


Рис. 41. Определение подгрупп гармоник (сеть 50 Гц).

### Пример

Для вычисления компонент 3-й гармоники в сети 50 Гц следует принять во внимание основную полосу 150 Гц и соседние 145 Гц и 155 Гц. Результирующая амплитуда рассчитывается методом RMS.

## 3.8 Метод измерения интергармоник

Измерение интергармоник осуществляется в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ 30804.4.7-2013 (PN-EN 61000-4-7) и ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30). Они дают способ расчета отдельных компонентов интергармоник в анализаторах качества электроэнергии.

Весь процесс так же, как для гармоник, состоит из нескольких этапов:

- синхронная выборка (10/12 периодов),
- анализ FFT (быстрое преобразование Фурье),
- группировка.

Анализу по быстрому преобразованию Фурье (FFT) подвергается окно измерения 10/12 периодов (около 200 мс). В результате получается набор спектральных линий, начиная с частоты 0 Гц (постоянный ток). Расстояние между двумя линиями следует из принятой продолжительности окна измерения и составляет приблизительно 5 Гц.

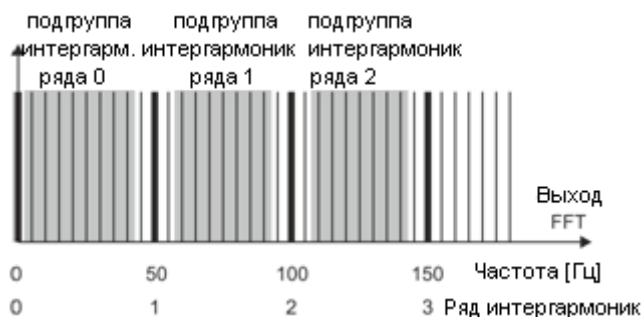


Рис. 42. Определение подгрупп интергармоник (сеть 50 Гц).

Каждая подгруппа интергармоник является суммой RMS 7-ми (для сети 50Гц) или 9-ти (для сети 60Гц) спектральных линий, полученных преобразованием Фурье. Исключением является подгруппа нулевого ряда, то есть подгруппа субгармоник, которая включает в себя еще одну линию – 5Гц. Это показывает **Ошибка! Источник ссылки не найден.** на примере сети 50 Гц. Подгруппа интергармоник

ряда 0, или субгармоники, состоит из восьми полосок с частотами от 5 Гц до 40 Гц. Каждая следующая подгруппа интергармоник состоит из семи полосок, расположенных между подгруппами гармоник, например, подгруппа первого ряда содержит спектральные линии с частотами от 60 Гц до 90 Гц. В случае субгармонической подгруппы, диапазон полос расширен на линию 5 Гц, потому что в противном случае энергия в этом самом низком диапазоне частот не учитывалась бы и была потеряна. Все последующие линии учитываются либо в подгруппе гармоник или в подгруппе интергармоник.

Как и в случае гармоник, интергармоники рассчитываются, по крайней мере, из 50-го ряда; для частоты сети 50 Гц это дает диапазон чуть больше, чем 2,5 кГц, а для 60 Гц немного больше, чем 3 кГц.

### 3.9 Измерение сигналов управления

Анализатор позволяет отслеживать две заданные пользователем частоты в диапазоне до 3000 Гц. После превышения граничного уровня, определенного пользователем, анализатор записывает уровень управляющего сигнала в течение указанного времени (до 120 секунд). Стандартно анализатор измеряет средние значения сигналов, для выбранного в конфигурации отрезка времени (основной интервал усреднения). Если выбрана регистрация по EN 50160, то дополнительно записываются все 3-х секундные средние значения для обеих частот, которые при составлении отчета сравниваются с лимитами, содержащимися в стандарте.

### 3.10 Измерение транзиентов

**PQM-703** **PQM-711** Дополнительная функция измерения транзиентов доступна только для PQM-703 и PQM-711.

Из-за кратковременного характера таких помех и их широкого частотного спектра, обычно используемые в анализаторах качества электропитания аналого-цифровые преобразователи с их довольно низкой частотой дискретизации, являются недостаточными для регистрации этих сигналов с достаточной точностью. По этой же причине в анализаторах PQM-703 и PQM-711 используется отдельный 4-х каналный преобразователь с максимальной частотой дискретизации 10 МГц. Это соответствует времени между отдельными дискретами 100нс. В этом режиме можно зарегистрировать самые быстрые переходные процессы (транзиенты), а время записи составляет до 2 мс.

Таблица 5. Перечень режимов измерения транзиентов в PQM-703 и PQM-711.

Частота дискретизации	Время нарастания при методе dV/dt	Диапазон времени регистрации (2000...20000 отсчетов)
10 МГц	100В/5 мкс	0,2...2 мс
5 МГц	100В/10 мкс	0,4...4 мс
1 МГц	100В/50 мкс	2...20 мс
500 кГц	100В/100 мкс	4...40 мс
100 кГц	100В/500 мкс	20...200 мс

Для настройки параметров транзиентов в анализаторе доступны несколько опций по выбору пользователя:

- основная частота дискретизации АЦП в диапазоне от 100 кГц до 10 МГц,
- метод обнаружения: на основании заданной минимальной амплитуды транзиента (в диапазоне от 50В до 5000 В) или по минимальной скорости нарастания сигнала во времени (метод dV/dt),
- включения или выключения записи осциллограмм транзиентов,
- время записи осциллограммы в интервале от 2000 до 20000 отсчетов,
- время опережения начала записи осциллограмм в диапазоне от 10% до 90% времени регистрации.

Анализатор регистрирует форму сигнала транзиента только в тех каналах, где произошло выполнение критериев, установленных пользователем. После обнаружения транзиента, анализатор в течение 3-х секунд не учитывает следующие транзиенты (так называемое, «мертвое» время). Особым случаем является ситуация, когда после обнаружения транзиента в одном канале, в период между его обнаружением и окончанием записи сигнала в соответствии с заданным пользователем временем регистрации осциллограммы, появляются следующие транзиенты в остальных каналах. В этой исключительной ситуации анализатор запишет осциллограммы во всех каналах, в которых обнаружены транзиенты. Поскольку транзиенты обнаружены немного позже относительно первого канала, они не будут иметь точно сохраненного времени так называемого, опережения (регистрация этих каналов завершится в то же время, что и регистрация первого канала, который первоначально запустил событие), в приложении SoneI Analiza события в этих каналах будут специально помечены, как „Транзиент \*”. Графики события канала, который вызвал первое событие, всегда будут отображаться с другими каналами, которые запустили событие чуть позже. Аналогично, открытие графика последующего события (вторичного) также будет отображать графики других каналов, в которых в тот же период времени произошла помеха. Таким образом, можно легко проанализировать временные зависимости между отдельными каналами.

В таблице событий в случае транзиентов приводятся параметры:

- в столбце **Экстремум** находится максимальная измеренная амплитуда транзиента (между пиками),
- в столбце **Продолжительность** находится приблизительное время действия помехи.

Измерительные цепи функционируют также относительно входа РЕ (см. также Рис. ). Модуль транзиентов контролирует напряжения между входами:

- L1-РЕ,
- L2-РЕ,
- L3-РЕ,
- N-РЕ.

#### **Примечание**

Для правильного измерения транзиентов требуется подключение входа РЕ анализатора к местному заземлению. Это также необходимо в 3-х проводных схемах сетей типа «треугольник» и «звезда» без нейтрального провода.

### **3.10.1 Метод пороговых значений**

Метод пороговых значений действует при выборе пункта **Порог** (на вкладке установок напряжения прикосновения в конфигурации точки измерения) и задания значения порогового напряжения в диапазоне от 50 В до 5000 В. По этому методу, анализатор обнаруживает транзиент после превышения им заданного значения амплитуды в вольтах. Транзиенты, амплитуда которых не превысила установленного предела, не будут обнаружены анализатором. В этом режиме время нарастания сигнала не принимается во внимание. Как медленные, так и быстрые транзиенты будут обнаружены при условии выполнения амплитудного критерия.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Введенное значение порога является амплитудой транзиента, а не абсолютным напряжением, измеренным относительно входа РЕ.

### 3.10.2 Метод $dV/dt$

Метод нарастания  $dV/dt$  выбирается при выделении пункта **Скорость нарастания** и указании соответствующей частоты дискретизации, которая косвенно задает скорость нарастания напряжения из нескольких возможных значений (смотри Таблица ). В методе  $dV/dt$  прибор анализирует сигнал напряжения в течение определенного временного окна и обнаруживает транзистент, если скорость нарастания кривой напряжения в окне превысит значение, заданное пользователем в конфигурации. Абсолютная амплитуда транзистента не имеет здесь значения – транзистенты с малой, так же как и с большой амплитудой будут обнаружены при условии, что выполнено требование минимальной скорости нарастания.

### 3.11 Функция ограничения тока

В ситуациях, когда измеряемый ток имеет очень маленькие значения или измерительные клещи были отключены от анализатора, может оказаться полезной функция обнуления параметров, связанных с данным каналом измерения тока. Это особенно важно для параметров, таких как THD, которые при наличии шума показывают высокие, а иногда запутанные значения. В случае с обнаружением событий, отключение токовых клещей может практически мгновенно вызвать обнаружения превышения порога, что может ввести пользователя в заблуждение. Чтобы избежать таких ситуаций, введена функция обнуления токовых параметров, когда действующее значение измеряемого тока ниже порога, определенного пользователем. Для включения этой функции используйте поле „**Ограничение тока**”, расположенное на основной вкладке настроек точки измерения, под списком выбора типов клещей. После включения этой опции, можно задать порог обнуления, указанный в процентах от номинального диапазона выбранных клещей от 0,0 до 0,50% $I_{ном}$ .

Проверка, не находится ли значение тока ниже заданного порога, происходит каждые 10/12-периода (примерно, каждые 200 мс). Если действующее значение измеренного тока в канале меньше, чем установленный порог, то обнуляются следующие параметры:

- действующее (среднеквадратичное) значение тока,
- постоянная составляющая тока,
- пик-факто тока,
- амплитуды гармоник и интергармоник тока,
- коэффициенты THD и TID по току,
- все мощности в данном канале,
- коэффициент мощности и  $\cos\varphi$ ,
- углы между гармониками тока и напряжения,
- активная и реактивная мощности гармоник,
- коэффициенты  $tg\varphi$  и K.

Итоговые значения системы (сумарные) обнуляются только тогда, когда все составляющие систему токовые каналы находятся ниже порога обнуления. Тогда также обнуляются:

- коэффициенты несимметрии тока и их симметричные составляющие.

Часть параметров событий учитывают обнуление. Значение параметра учитывается при обнаружении начала и конца события и принимается во внимание в статистике (экстремальное и среднее значения), только тогда, когда значение тока выше порога обнуления. Параметры, работающие таким образом:

- пик-фактор тока,
- коэффициенты THD и TID по току,
- коэффициент мощности и  $\cos\varphi$ ,
- $tg\varphi$  и коэффициент потерь K,
- коэффициенты несимметрии тока.

Обнуление маркируется в режиме просмотра текущих значений и при анализе. Чтобы отличить фактически измеренное нулевое значение данного параметра от обнуленного значения с помощью этой функции, были введены следующие правила:

- в режиме чтения текущих параметров – обнуленные значения отмечены символом \*(звездочка) рядом с цифровым значением (например, 0,000\*),
- при анализе данных – заголовок, описывающий параметр, который можно обнулить, отмечается добавлением символа \*, например „I\*L1[A]” (не отмечается отдельная ячейка, а только помечается заголовок, чтобы показать, что используется функция обнуления),
- на дисплее анализатора – обнуленные значения представлены серым цветом.

### 3.12 Обнаружение событий

Анализатор предлагает широкие возможности обнаружения событий в измеряемой сети. Событием мы называем ситуацию, в которой значение выбранного параметра сети превышает пороговое значение, заданное пользователем.

Факт наступления события регистрируется на карту памяти в виде записи, содержащей:

- тип параметра,
- канал, в котором произошло событие,
- время начала и окончания события,
- пороговое значение, заданное пользователем,
- экстремальное значение измеряемого параметра во время события,
- среднее значение параметра, измеренное за время события.

В зависимости от типа параметра можно установить один, два или три пороговых значения, которые будут проверяться анализатором. В таблице собраны все параметры, для которых можно обнаруживать события с различием по типам порогов.

Таблица 6. Типы порогов событий для отдельных параметров.

Параметр		Прерывание	Провал	Перенапряжение	Минимум	Максимум
U	Действующее значение напряжения	•	•	•		• <sup>(1)</sup>
U <sub>DC</sub>	Постоянная составляющая напряжения					•
f	Частота				•	•
CF U	Пик-фактор напряжения				•	•
u <sub>2</sub>	Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности					•
P <sub>st</sub>	Кратковременная доза фликера					•
P <sub>It</sub>	Длительная доза фликера					•
I	Действующее значение тока				•	•
I <sub>DC</sub>	Постоянная составляющая тока					• <sup>(2)</sup>
CF I	Пик-фактор тока				•	•
i <sub>2</sub>	Коэффициент несимметрии тока по обратной последовательности					•
P	Активная мощность				•	•
Q <sub>1</sub> , Q <sub>B</sub>	Реактивная мощность				•	•
S	Полная мощность				•	•
D, S <sub>N</sub>	Мощность искажения				•	•
PF	Коэффициент мощности				•	•

$\cos \varphi$	Коэффициент сдвига фаз				•	•
$\operatorname{tg} \varphi$	Коэффициент тангенс $\varphi$				•	•
$E_{p+}, E_{p-}$	Активная энергия (потребляемая и отдаваемая)					•
$E_{Q+}, E_{Q-}$	Реактивная энергия (потребляемая и отдаваемая)					•
$E_s$	Полная энергия					•
$\operatorname{THD}_F U$	Коэффициент $\operatorname{THD}_F$ по напряжению					•
$U_{h2...U_{h50}}$	Амплитуды гармоник напряжения (ряд $n=2...50$ )					•
$\operatorname{THD}_F I$	Коэффициент $\operatorname{THD}_F$ по току					•
$I_{h2...I_{h50}}$	Амплитуды гармоник тока (ряд $n=2...50$ )					•
$\operatorname{TID}_F U$	Коэффициент $\operatorname{TID}_F$ по напряжению					•
$U_{ih0...U_{ih50}}$	Амплитуды интергармоник напряжения (ряд $n=0...50$ )					•
$\operatorname{TID}_F I$	Коэффициент $\operatorname{TID}_F$ по току					•
$I_{ih0...I_{ih50}}$	Амплитуды интергармоник тока (ряд $n=0...50$ )					•
$K$	Коэффициент потерь в трансформаторе					•
$UR_1, UR_2$	Сигналы управления					•
<b>PQM-703</b> <b>PQM-711</b> $U_t$	Транзиенты напряжения					•

(1) относится к напряжению  $U_{N-PE}$

(2) только при использовании клещей С-5

Некоторые из параметров могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. Примером может служить активная мощность, реактивная мощность и коэффициент мощности. Поскольку порог обнаружения события может быть только положительным, чтобы обеспечить правильное выявление событий для вышеупомянутых параметров анализатор сравнивает с установленным порогом абсолютные значения этих параметров.

### Пример

Порог события по активной мощности установлен на значение 10 кВт. Если нагрузка имеет характер генератора, активная мощность при правильном подключении токовых клещей будет иметь отрицательный знак. Если измеренное абсолютное значение активной мощности превысит порог, т.е. 10 кВт (например, -11кВт), то будет зарегистрировано событие превышения значения максимальной активной мощности.

Два типа параметров: действующее значение напряжения и действующее значение тока могут порождать события, которые пользователь сможет дополнить записями мгновенных сигналов (осциллограммами).

Сигналы активных каналов (напряжения и тока) записываются в анализатор в момент начала и окончания события. Пользователь может задать в конфигурации время записи осциллограмм (от 100 мс до 1 с) и время опережения запуска (от 40 мс до 960 мс). Осциллограммы сохраняются в 8-битовом формате с частотой дискретизации 10,24 кГц.

Информация о событии записывается в момент его окончания. В некоторых случаях может случиться так, что в момент окончания регистрации какое-то событие было активным (например,



длился провал напряжения). Информация о таком событии также сохраняется, однако, со следующими изменениями:

- отсутствует время окончания события,
- экстремальное значение рассчитывается только за период до момента прекращения регистрации,
- среднее значение не указывается,
- для событий, связанных с действующими значениями напряжения или тока, доступна только осциллограмма начала.

Чтобы устранить многократное выявление одного и того же события, когда значение параметра колеблется вокруг порогового значения, введен гистерезис обнаружения событий, определяемый пользователем. Он определяется в процентах следующим образом:

- для событий от действующего значения напряжения – это процент от диапазона номинального напряжения (напр. 2% от 230 В, т.е. 4,6 В),
- для событий от действующего значения тока – это процент от диапазона номинального тока (например, для клещей С-4 и отсутствия измерительных трансформаторов, гистерезис 2% равен  $0,02 \times 1000\text{А} = 20\text{А}$ ),
- для событий от постоянной составляющей напряжения и напряжения  $U_{N-PE}$  гистерезис рассчитывается, как процент от порогового значения, но не менее, чем 50 мВ (без трансформаторов),
- для остальных параметров гистерезис определяется в процентах от максимального значения порога (например, если максимальным порогом для коэффициента пик-фактора тока установлено значение 4,0, то гистерезис составляет  $0,02 \times 4,0 = 0,08$ ).

### 3.13 Методы усреднения параметров

Таблица 7. Методы усреднения параметров	
Параметр	Метод усреднения
Действующее напряжение	RMS (среднеквадратичное)
Постоянное напряжение, ток	среднее арифметическое
Частота	среднее арифметическое
Коэффициент пикового значения (пик-фактор) U, I	среднее арифметическое
Симметричные составляющие U, I	RMS (среднеквадратичное)
Коэффициент несимметрии U, I	рассчитываются из средних значений симметричных составляющих
Действующее значение тока	RMS (среднеквадратичное)
Активная, реактивная, полная мощность и мощность искажения	среднее арифметическое
Коэффициент мощности PF	рассчитывается из среднего значения мощности
cosφ	среднее арифметическое
tgφ	рассчитывается из среднего значения мощности
THD U, I	рассчитывают как отношение среднего значения RMS высших гармоник к среднему значению RMS основной составляющей (для THD-F) или отношение среднего значения RMS высших гармоник к среднему значению эффективного напряжения (для THD-R)
TID U, I	рассчитывают как отношение среднего значения RMS

	интергармоник к среднему значению RMS основной составляющей (для TID-F) или отношение среднего значения RMS интергармоник к среднему значению эффективного напряжения (для TID-R)
Амплитуды гармоник U, I	RMS (среднеквадратичное)
Амплитуды интергармоник U, I	RMS (среднеквадратичное)
Коэффициент K	RMS (среднеквадратичное)
Углы между гармониками напряжений и токов	среднее арифметическое
Активная и реактивная мощность гармоник	среднее арифметическое

### Примечания:

Среднее значение RMS рассчитывается по формуле:

—

Среднее арифметическое (AVG) рассчитывается по формуле:

—

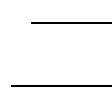
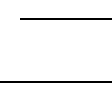
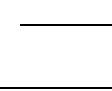
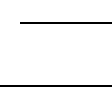
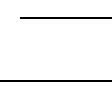
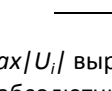
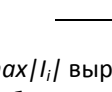
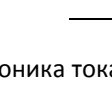
где:  $X_i$  – это очередное значение параметра, подлежащего усреднению,  
N – это количество значений, подлежащих усреднению.

## 4 РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

### 4.1 Однофазная сеть

Таблица 8. Однофазная сеть			
Параметр		Метод расчета	
Название	Обозначение	Единицы	Формула
Действующее значение напряжение (True RMS)	$U_A$	В	— где $U_i$ очередной отсчет напряжения $U_{A-N}$ $M=2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Постоянная составляющая напряжения	$U_{АДС}$	В	— где $U_i$ очередной отсчет напряжения $U_{A-N}$ $M=2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Частота	f	Гц	число целых периодов напряжения $U_{A-N}$ , подсчитанных за 10 секундный интервал по времени часов, разделенному на общее время полных периодов
Действующее значение тока (True RMS)	$I_A$	А	— где $I_i$ очередной отсчет тока $I_A$ $M=2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц

Постоянная составляющая тока	$I_{ADC}$	А	— где $I_i$ очередной отсчет тока $I_A$ $M=2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Активная мощность	$P$	Вт	— где $U_i$ очередной отсчет напряжения $U_{A-N}$ , $I_i$ очередной отсчет тока $I_A$ , $M=2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Реактивная мощность Budeanu	$Q_B$	вар	где $U_h$ - h-я гармоника напряжения $U_{A-N}$ , $I_h$ - h-я гармоника тока $I_A$ , а $\varphi_h$ - h-й угол между гармониками $U_h$ и $I_h$
Реактивная мощность основной составляющей (первой гармоники)	$Q_1$	вар	$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$ где $U_1$ - основная составляющая (первая гармоника) напряжения $U_{A-N}$ , $I_1$ - основная составляющая тока $I_A$ , а $\varphi_1$ - угол между основными составляющими $U_1$ и $I_1$
Полная мощность	$S$	ВА	$S = U_{ARMS} I_{ARMS}$
Полная мощность искажения	$S_N$	ВА	_____
Мощность искажения Budeanu	$D_B$	вар	_____
Коэффициент мощности	PF	—	— если $PF > 0$ , нагрузка является генератором если $PF < 0$ , нагрузка является приемником
Коэффициент сдвига фаз	$\cos \varphi$ DPF	—	$\cos \varphi = DPF = \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1})$ где $\varphi_{U_1}$ - абсолютный угол основной составляющей напряжения $U_{A-N}$ , $\varphi_{I_1}$ - абсолютный угол основной составляющей тока $I_A$
Тангенс $\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	—	— где: $Q = Q_B$ , если выбран метод Budeanu, $Q = Q_1$ , если выбран метод по IEEE 1459
Гармоники тока и напряжения	$U_{hx}$ $I_{hx}$	В А	Метод гармонических подгрупп, по PN-EN 61000-4-7, x - (ряд гармоник) = 1..50
Коэффициент гармонических искажений напряжения относительно основной гармоники	THDU <sub>F</sub>	—	_____
Коэффициент гармонических искажений напряжения относительно действующего (среднеквадратичного) значения	THDU <sub>R</sub>	—	_____
Коэффициент гармонических искажений тока относительно	THDI <sub>F</sub>	—	_____

основной гармонике			где $I_h$ - h-я гармоника тока $I_A$ , $I_1$ - основная составляющая тока $I_A$
Коэффициент гармонических искажений тока относительно действующего (среднеквадратичного) значения	$THDI_R$	—	 где $I_h$ - h-я гармоника тока $I_A$ ,
Интергармоники тока и напряжения	$U_{ihx}$ $I_{ihx}$	В А	Метод интергармонических подгрупп, по PN-EN 61000-4-7, x - (ряд интергармоник) = 0..50, (в субгармониках учитывается также 5Гц)
Коэффициент интергармонических искажений напряжения относительно основной гармонике	$TIDU_F$	—	 где $U_{ih}$ - ih-я интергармоника напряжения $U_{A-N}$ , а $U_1$ - основная составляющая напряжения $U_{A-N}$
Коэффициент интергармонических искажений напряжения относительно среднеквадратичного значения	$TIDU_R$	—	 $U_{ih}$ - ih-я интергармоника напряжения $U_{A-N}$
Коэффициент интергармонических искажений тока относительно основной гармонике	$TIDI_F$	—	 где $I_{ih}$ - ih-я интергармоника тока $I_A$ , а $I_1$ - основная составляющая тока $I_A$
Коэффициент интергармонических искажений тока относительно среднеквадратичного значения	$TIDI_R$	—	 где $I_{ih}$ - ih-я интергармоника тока $I_A$ ,
Коэффициент пиковой амплитуды напряжения (пик-фактор напряжения)	CFU	—	 где величина $\max U_i $ выражает наибольшее из абсолютных значений отсчетов напряжения $U_{A-N}$ $i = 2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Коэффициент пиковой амплитуды тока (пик-фактор тока)	CFI	—	 где величина $\max I_i $ выражает наибольшее из абсолютных значений отсчетов тока $I_A$ $i = 2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Коэффициент потерь в трансформаторе К	К-фактор	—	 где $I_h$ - h-я гармоника тока $I_A$ , $I_1$ - основная составляющая тока $I_A$
Активная мощность гармоник	$P_h$ $h = 1...50$	Вт	$P_h = U_h I_h \cos \varphi_h$ где $U_h$ - h-я гармоника напряжения $U_{A-N}$ , $I_h$ - h-я гармоника тока $I_A$ , а $\varphi_h$ - h-й угол между гармониками $U_h$ и $I_h$
Реактивная мощность гармоник	$Q_h$ $h = 1...50$	вар	$Q_h = U_h I_h \sin \varphi_h$ где $U_h$ - h-я гармоника напряжения $U_{A-N}$ ,

			$I_h$ - h-я гармоника тока $I_A$ , а $\varphi_h$ - h-й угол между гармониками $U_h$ и $I_h$
Кратковременная доза фликера	$P_{st}$	–	рассчитывается в соответствии с стандартом PN-EN 61000-4-15
Длительная доза фликера	$P_{lt}$	–	— — где $P_{sti}$ – очередная i-ая кратковременная доза фликера
Активная энергия (потребляемая и отдаваемая)	$E_{p+}, E_{p-}$	Вт·ч	где i-это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $P(i)$ представляет значение активной мощности $P$ , рассчитанной в i-м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность i-го окна измерения в часах,
Реактивная энергия Budeanu (потребляемая и отдаваемая)	$E_{Q+}, E_{Q-}$	вар·ч	где i-это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $Q_B(i)$ представляет значение реактивной мощности Budeanu $Q_B$ , рассчитанной в i-м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность i-го окна измерения в часах,
Реактивная энергия основной составляющей (потребляемая и отдаваемая)	$E_{Q1+}, E_{Q1-}$	вар·ч	где i-это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $Q_1(i)$ представляет значение основной составляющей реактивной мощности $Q_1$ , рассчитанной в i-м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность i-го окна измерения в часах,

Полная энергия	$E_S$	ВА·ч	где $i$ -это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $S(i)$ представляет значение полной мощности $S$ , рассчитанной в $i$ -м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность $i$ -го окна измерения в часах,
----------------	-------	------	---

## 4.2 Двухфазная сеть

**Таблица 9. Двухфазная сеть**

(не перечисленные параметры рассчитываются как для однофазной сети)

Параметр			Метод расчета
Название	Обозначение	Единицы	
Общая активная мощность	$P_{tot}$	Вт	$P_{tot} = P_A + P_B$
Общая реактивная мощность Vudeanu	$Q_{Btot}$	вар	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB}$
Общая реактивная мощность основной составляющей	$Q_{1tot}$	вар	$Q_{1tot} = Q_{1A} + Q_{1B}$
Общая полная мощность	$S_{tot}$	ВА	$S_{tot} = S_A + S_B$
Общая полная мощность искажения	$S_{Ntot}$	ВА	$S_{Ntot} = S_{NA} + S_{NB}$
Общая мощность искажения Vudeanu	$D_{Btot}$	вар	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB}$
Общий коэффициент мощности	$PF_{tot}$	—	—
Общий коэффициент сдвига фаз	$\cos \varphi_{tot}$ $DPF_{tot}$	—	—
Общий тангенс $\varphi$	$tg\varphi_{tot}$	—	—
Общая активная энергия (потребляемая и отдаваемая)	$E_{p+tot}, E_{p-tot}$	Вт·ч	где: $Q = Q_B$ , если выбран метод Vudeanu, $Q = Q_1$ , если выбран метод по IEEE 1459
			где: $i$ - это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $P_{tot}(i)$ представляет значение активной мощности $P_{tot}$ , рассчитанное в $i$ -м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность $i$ -го окна измерения в часах

Общая реактивная энергия Budeanu (потребляемая и отдаваемая)	$E_{QB+tot}, E_{QB-tot}$	вар·ч	где: $i$ - это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $Q_{Btot}(i)$ представляет значение реактивной мощности $Q_{Btot}$ рассчитанное в $i$ -м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность $i$ -го окна измерения в часах
Общая реактивная энергия основной составляющей (потребл. и отдаваемая)	$E_{Q1+tot}, E_{Q1-tot}$	вар·ч	где: $i$ - это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $Q_{1tot}(i)$ представляет значение реактивной мощности $Q_{1tot}$ рассчитанное в $i$ -м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность $i$ -го окна измерения в часах
Общая полная энергия	$E_{S tot}$	ВА·ч	где: $i$ - это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $S_{tot}(i)$ представляет значение общей полной мощности $S_{tot}$ рассчитанное в $i$ -м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность $i$ -го окна измерения в часах

### 4.3 Трехфазная сеть «звезда» с N

Таблица 10. Трехфазная сеть «звезда» с N (не перечисленные параметры рассчитываются как для однофазной сети)			
Параметр			Метод расчета
Название	Обозначение	Единицы	
Общая активная мощность	$P_{tot}$	Вт	$P_{tot} = P_A + P_B + P_C$
Общая реактивная мощность Budeanu	$Q_{Btot}$	вар	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB} + Q_{BC}$
Общая реактивная мощность согласно IEEE 1459	$Q_1^+$	вар	$Q_1^+ = 3U_1^+ I_1^+ \sin \varphi_1^+$ , где $U_1^+$ прямая симметричная составляющая напряжения (основной составляющей), $I_1^+$ прямая симметричная составляющая тока (основной составляющей), $\varphi_1^+$ угол между составляющими $U_1^+$ и $I_1^+$
Эффективная полная мощность	$S_e$	ВА	$S_e = 3U_e I_e$ , где

Эффективная полная мощность искажения	$S_{eN}$	ВА	$S_{eN} = \sqrt{3} U_{e1} I_{e1}$ , где $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$
Общая мощность искажения Budeanu	$D_{Btot}$	вар	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB} + D_{BC}$
Общий коэффициент мощности	$PF_{tot}$	—	—
Общий коэффициент сдвига фаз	$\cos \varphi_{tot}$ $DPF_{tot}$	—	—
Общий тангенс $\varphi$	$tg\varphi_{tot}$	—	— где: $Q = Q_B$ , если выбран метод Budeanu, $Q = Q_1$ , если выбран метод по IEEE 1459
Общая активная энергия (потребляемая и отдаваемая)	$E_{p+tot}, E_{p-tot}$	Вт	Формула, как для 2-х фазной сети
Общая реактивная энергия Budeanu (потребляемая и отдаваемая)	$E_{QB+tot}, E_{QB-tot}$	вар·ч	Формула, как для 2-х фазной сети
Общая реактивная энергия основной составляющей (потребляемая и отдаваемая)	$E_{Q1+tot}, E_{Q1-tot}$	вар·ч	Формула, как для 2-х фазной сети
Общая полная энергия	$E_{S tot}$	ВА·ч	где i-это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $S_e(i)$ представляет значение эффективной полной мощности $S_e$ , рассчитанной в i-м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность i-го окна измерения в часах,
Действующее значение нулевой симметричной составляющей напряжения	$U_0$	В	$U_0 = mag(\underline{U}_0)$ где $\underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1}$ векторы основных составляющих фазных напряжений $U_A, U_B, U_C$ , а оператор $mag(\underline{U}_0)$ обозначает модуль вектора
Действующее значение прямой симметричной составляющей напряжения	$U_1$	В	$U_1 = mag(\underline{U}_1)$ где $\underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1}$ векторы основных составляющих фазных напряжений $U_A, U_B, U_C$ , а оператор $mag(\underline{U}_1)$ обозначает модуль вектора
			$U_2 = mag(\underline{U}_2)$



Действующее значение обратной симметричной составляющей напряжения	$U_2$	В	где $\underline{U}_{A1}, \underline{U}_{B1}, \underline{U}_{C1}$ векторы основных составляющих фазных напряжений $U_A, U_B, U_C$ , а оператор $\text{mag}(\underline{U}_2)$ обозначает модуль вектора, $-\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_{A1} - U_{B1} - U_{C1}}{2}$
Коэффициент несимметрии напряжения нулевой последовательности	$u_0$	%	—
Коэффициент несимметрии напряжения обратной последовательности	$u_2$	%	—
Нулевая симметричная составляющая тока	$I_0$	А	$I_0 = \text{mag}(I_0)$ где $I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$ векторы основных составляющих токов фаз $I_A, I_B, I_C$ , оператор $\text{mag}(I_0)$ обозначает модуль вектора
Действующее значение прямой симметричной составляющей тока	$I_1$	А	$I_1 = \text{mag}(I_1)$ где $I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$ векторы основных составляющих токов фаз $I_A, I_B, I_C$ , оператор $\text{mag}(I_1)$ обозначает модуль вектора
Действующее значение обратной симметричной составляющей	$I_2$	А	$I_2 = \text{mag}(I_2)$ где $I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$ векторы основных составляющих токов фаз $I_A, I_B, I_C$ , оператор $\text{mag}(I_2)$ обозначает модуль вектора
Коэффициент несимметрии тока нулевой последовательности	$i_0$	%	—
Коэффициент несимметрии тока обратной последовательности	$i_2$	%	—

#### 4.4 Трехфазная сеть «треугольник» и «звезда» без N

**Таблица 11. Трехфазная сеть «треугольник» и «звезда» без N**

(параметры: действующие значения напряжения и тока, постоянные составляющие напряжений и токов, коэффициенты ТНД и К, симметричные составляющие и коэффициенты асимметрии, дозы фликера рассчитываются также как для однофазной сети, только вместо фазных напряжений используется линейные напряжения)

Параметр			Метод расчета
Название	Обозначение	Единицы	
Линейное напряжение $U_{CA}$	$U_{CA}$	В	$U_{CA} = -(U_{AB} + U_{BC})$
Ток $I_2$ (измерительные схемы Арона)	$I_2$	А	$I_2 = -(I_1 + I_3)$
Общая активная мощность	$P_{tot}$	Вт	— $U_{iAC}$ очередной отсчет напряжения $U_{A-C}$ $U_{iBC}$ очередной отсчет напряжения $U_{B-C}$

			$I_{iA}$ очередной отсчет тока $I_A$ $I_{iB}$ очередной отсчет тока $I_B$ $M=2048$ для сети 50 Гц и 60 Гц
Общая полная мощность	$S_e$	ВА	$S_e = 3U_e I_e$ , где _____ _____ _____
Общая реактивная мощность (Budeanu и IEEE 1459)	$Q_{Btot}$	вар	_____
Общая мощность искажения Budeanu	$D_{Btot}$	вар	$D_{Btot} = 0$
Эффективная полная мощность искажения	$S_{eN}$	ВА	_____ , где $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$ _____ _____ _____
Общий коэффициент мощности	$PF_{tot}$	—	_____
Активная энергия (потребляемая и отдаваемая)	$E_{p+tot}, E_{p-tot}$	Вт	Формула, как для 2-х фазной сети
Общая полная энергия	$E_{S tot}$	ВА·ч	где $i$ -это очередной номер окна измерения 10/12 периодов, $S_e(i)$ представляет значение общей полной мощности $S_e$ , рассчитанной в $i$ -м окне измерения, $T(i)$ представляет длительность $i$ -го окна измерения в часах,

## 5 РУКОВОДСТВО ПО ПАРАМЕТРАМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

### 5.1 Общая информация

Методика выполнения измерений в анализаторах качества электропитания указана в стандарте ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30:2011). Этот стандарт, введя строго определенные алгоритмы измерений, упорядочил рынок анализаторов, облегчая их сравнение, а также соответствие результатов измерений между анализаторами различных производителей. Ранее эти приборы использовали различные алгоритмы, поэтому результаты измерений одного и того же объекта разными устройствами часто давали диаметрально противоположные значения.

Факторами, которые привели к довольно значительному росту интереса к вопросам, связанным с качеством электроэнергии, были в том числе, распространение электронных регуляторов мощности, преобразователей постоянного тока и импульсных источников питания, энергосберегающих ламп и т.д., то есть, в широком смысле этого понятия, области преобразования электрической энергии. Все эти устройства имеют тенденцию к значительному изменению формы протекающего тока.

Импульсные источники питания (широко применяемые в быту и промышленности) часто устроены таким образом, что сетевое переменное напряжение выпрямляется и сглаживается с помощью конденсаторов, то есть, преобразуется в постоянное напряжение (DC), а затем преобразовывается с большой эффективностью на высокой частоте в выходное напряжение требуемой величины. Однако, такое решение имеет нежелательный побочный эффект. Зарядки сглаживающих конденсаторов происходят короткими импульсами тока в моменты, когда сетевое напряжение близко к максимальному значению. Из баланса мощности следует, что если ток потребляется только в короткие моменты времени, то и пиковое значение будет намного выше, чем для постоянного потребления. Большая величина отношения пикового значения тока к его действующему (среднеквадратичному) значению (так называемый пик-фактор), а также уменьшение коэффициента мощности (англ. Power Factor, PF) приводят к тому, что для получения определенной активной мощности в нагрузке (в Ваттах), производитель энергии вынужден поставлять большую мощность, чем активная мощность нагрузки (так называемую полную мощность, выраженную в вольт-амперах, В А). Малый коэффициент мощности ведет к увеличению нагрузки кабелей электропередачи и большим расходам на транспортировку электрической энергии. Возникающие при этом гармонические составляющие тока питания, являются причиной дополнительных проблем. В результате производители начали налагать финансовые санкции на потребителей, которые не обеспечивали достаточно высокого коэффициента мощности.

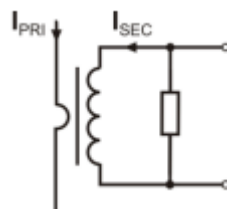
Потенциально заинтересованными в анализаторах качества электроэнергии могут быть, с одной стороны, энергетические предприятия, которые смогут с их помощью контролировать своих потребителей, с другой стороны потребители энергии, которым такой прибор может обнаружить, и они попытаются исправить ситуацию снижения коэффициента мощности и другие проблемы, связанные с понятием качества электроэнергии в широком смысле.

Качественные параметры источника питания, а также энергетические свойства у потребителей описываются различными значениями и показателями. Это исследование может пролить немного света на данную область.

Как уже упоминалось ранее, отсутствие стандартизации в методах измерения, вызвало значительные отличия в расчетных значениях отдельных параметров сети при использовании различных приборов. Созданный стараниями многих инженеров, стандарт PN-EN 61000-4-30 был первым таким документом, в котором представлены очень точные методы, математические зависимости и требуемая точность измерений анализаторов электрической энергии. Соответствие стандарту (в частности, классу А) имело цель дать гарантию повторяемых и практически одинаковых результатов измерений одних и тех же величин, измеряемых приборами различных производителей.

### **5.1.1 Жесткие клещи (СТ) для измерения переменного тока (АС)**

Жесткие токовые клещи типа СТ (англ. Current Transformer Clamps) - это просто трансформатор, преобразующий большой ток первичной обмотки в меньший ток вторичной обмотки. Губки типичных токовых клещей выполнены из материала с ферромагнитными свойствами (например, железо) с намотанной вокруг них вторичной обмоткой. Первичной обмоткой становится провод, вокруг которого зажаты губки клещей или, как правило, один единственный виток. Если сейчас через исследуемый кабель течет ток 1000 ампер, в обмотке из 1000 витков потечет ток 1А (если только контур замкнут). В клещах с выходом по напряжению, шунтирующий резистор находится в самих клещах.



**Рис.43. Жесткие клещи с выходом по напряжению.**

Этот тип трансформатора тока имеет несколько характерных особенностей. Им можно измерять очень большие токи, одновременно потребляя малую мощность. Ток намагничивания является причиной некоторого смещения фазы (десятые доли градуса), что может привести к небольшой погрешности измерения мощности (особенно при малом коэффициенте мощности). Недостатком этого типа клещей также является насыщение сердечника при измерениях очень больших токов (выше номинального диапазона). Насыщение сердечника в результате явления магнитного гистерезиса ведет к появлению больших ошибок измерений, которые могут быть устранены только путем его размагничивания. Также в ситуации, когда измеряемый ток содержит значительную постоянную составляющую (DC), сердечник подвергается насыщению. Несомненным недостатком жестких клещей является также значительный вес.

Несмотря на перечисленные недостатки, токовые клещи типа СТ в настоящее время являются, вероятно, наиболее распространенным неинвазивным методом измерения переменного тока (AC).

Вместе с анализатором можно использовать следующие клещи типа СТ для измерения переменного тока:

- С-4, с номинальным диапазоном 1000 А переменного тока(AC),
- С-6, с номинальным диапазоном 10 А переменного тока(AC),
- С-7, с номинальным диапазоном 100 А переменного тока(AC),

### 5.1.2 Токовые клещи для измерения переменного и постоянного токов (AC/DC)

В некоторых ситуациях требуется измерение постоянной составляющей тока. Для этого должны быть использованы клещи с другим принципом работы, чем традиционный трансформатор тока. Такие токовые клещи используют физическое явление называемое эффектом Холла и содержат в своей конструкции датчик Холла (так называемый Холлотрон). Вкратце, этот эффект заключается в появлении электрического напряжения на стенках проводника, находящегося в магнитном поле и кроме того через который течет электрический ток в направлении, поперечном к вектору индукции этого поля.

Токовые клещи, использующие это явление, могут измерять как переменный, так и постоянный ток. Проводник с током, помещенный внутри клещей создает магнитное поле, которое сосредоточено в железном сердечнике. В разрыве этого сердечника, в месте, где обе части губок соединяются, находится полупроводниковый датчик Холла, а выходное напряжение этого датчика усиливается электронной схемой, запитанной от батарейки.

Клещи этого типа, как правило, имеют ручку регулировки нуля тока. Чтобы ее выполнить, необходимо сомкнуть губки (без провода внутри) и поворачивать ручку регулятора до достижения нулевого показателя постоянного тока.

Клещами такого типа, которые сейчас предлагает Sonel S.A., являются клещи С-5 с номинальным диапазоном 1000 А переменного тока (AC)/ 1400 А постоянного тока (DC). Клещи имеют выход по напряжению и для номинального тока 1000 А выдают на нем напряжение 1 В (1 мВ/А).

### 5.1.3 Гибкие клещи Роговского

Гибкие токовые клещи (англ. Flexible Current Probes) работают совершенно по другому физическому принципу, чем трансформатор тока. Их наиболее важной частью является так называемая катушка Роговского, названная по имени немецкого физика Вальтера Роговского. Это воздушная (без сердечника) катушка, обвитая вокруг провода с током. Специальная конструкция катушки позволяет вывести оба ее конца с одной стороны, что позволяет легко замкнуть гибкие клещи вокруг провода (обратный конец размещен внутри катушки по всей ее длине). Ток, проходя по измеряемому проводу, создает концентрические линии магнитного поля и используя явление самоиндукции, наводит электродвижущую силу на концах катушки. Однако, это напряжение пропорционально скорости изменения тока в проводнике, а не самому току.

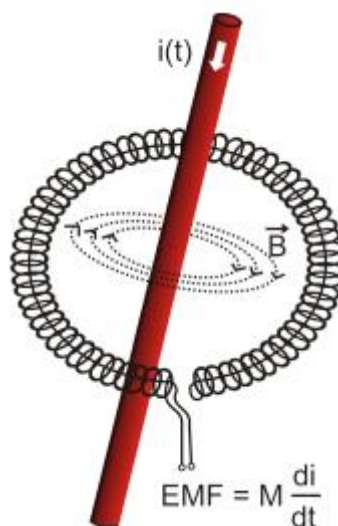


Рис. 44. Катушка Роговского.

Катушка Роговского имеет несколько неоспоримых преимуществ по сравнению с трансформаторами тока. Так как она не имеет сердечника, то не оказывает влияния явление его насыщения, следовательно, она имеет отличные возможности для измерения больших токов. Эта катушка также имеет превосходную линейность и широкую полосу пропускания, гораздо больше, чем у токовых трансформаторов, а в сравнении с ними также имеет гораздо меньший вес.

Однако до недавнего времени гибкие токовые клещи имели проблемы с расширением экспансии в области измерения тока. Потому что существуют определенные факторы, которые затрудняют практическую реализацию измерительной системы с катушкой Роговского. Одним из них является очень низкий уровень напряжения, которое индуцируется на клеммах (оно зависит от геометрических размеров катушки). Например, выходное напряжение на частоте 50 Гц для гибких клещей серии F (при использовании с анализатором) составляет около 45 мкВ/А. Такие низкие уровни напряжений требуют применения прецизионных и малошумящих усилителей, что, конечно, приводит к увеличению расходов.

Поскольку выходное напряжение пропорционально производной тока, необходимо применение интегрирующей цепи; обычно продаются гибкие токовые клещи, состоящие из катушки Роговского, соединенной со схемой аналогового интегратора (типичный модуль питается от батарейки). На выходе интегратора уже появляется сигнал напряжения, пропорциональный измеряемой силе тока  $i$ , кроме того, соответствующим образом откалиброванный (например, 1мВ/А).

Еще одна проблема, которая сопровождает катушку Роговского, это чувствительность к внешнему магнитному полю. Идеальная катушка должна быть чувствительна только к полю, ограниченному замкнутой площадью катушки и совершенно подавлять внешние магнитные поля. Оказывается, что это очень сложная задача. Единственным способом получения таких свойств является очень точное изготовление катушки, с идеальной однородностью намотки и как можно более низким импедансом. Именно высокая точность изготовления катушечной обмотки несет ответственность за относительно высокую стоимость таких гибких клещей.

Вместе с анализатором можно использовать следующие гибкие клещи, предлагаемые Sonel S.A:

- F-1, с длиной окружности равной 120 см,
- F-2, с длиной окружности 80 см,
- F-3, с длиной окружности 45 см.

Все перечисленные клещи имеют одинаковые электрические параметры. Максимально возможный измеряемый ток при подключении к анализатору составляет 10 кА (это ограничение из-за особенности входной токовой цепи, а не самих клещей).

## 5.2 Мерцание света (фликер)

Английское слово flicker означает мерцание. В отношении вопросов, связанных с качеством энергии, означает явление периодического изменения интенсивности света, в связи с изменением напряжения питания лампочки освещения.

Функция измерения этого мерцания появилась в анализаторе качества электроэнергии, когда выяснилось, что это явление приводит к ухудшению самочувствия, раздражению, иногда головной боли и т.д. Колебания интенсивности света, должны иметь вполне определенную частоту, они не могут быть слишком медленными, потому что тогда человеческий зрачок сможет адаптироваться к изменениям освещенности; не могут быть слишком быстрыми, потому что инерция нити лампочки накаливания почти полностью сглаживает эти изменения.

Исследования показали, что максимум неудобств возникает на частоте около 9 изменений в секунду. Наиболее чувствительными источниками освещения оказались традиционные лампы накаливания с вольфрамовой спиралью. Галогенные лампы, спирали которых имеют более высокую температуру, имеют также намного большую инерцию, которая снижает восприимчивость человеком изменений яркости. Лучшей «сопротивляемостью» к мерцанию характеризуются люминесцентные лампы, некоторые специфические свойства которых стабилизируют ток, протекающий через лампу при изменении напряжения и, тем самым, уменьшают колебания силы света.

Фликер измеряется в так называемых условных единицах восприятия и выделяют два их типа: кратковременный Pst (англ. short term), значение которого определяется один раз в 10 минут, и длительный Plt (англ. long term), значение которого определяется на основе следующих 12 значения Pst, то есть каждые 2 часа. Длительное время измерения вытекает непосредственно из медленно меняющегося характера явления – чтобы собрать достоверную выборку данных, измерение должно быть длительным. Pst равное 1 считается значением, которое лежит на границе восприятия - конечно чувствительность к мерцанию отличается у разных людей; принятие этого порога следует из тестов, проведенных на некоторой репрезентативной группе людей.

А что является причиной возникновения явления мерцания света? Чаще всего источником являются провалы напряжения в результате подключения и отключения нагрузки большой мощности и некоторый уровень мерцания присутствует в большинстве сети питания. Помимо выше описанного, неблагоприятное воздействие на людей не должно быть (и, обычно, не является) симптомом неполадок нашего оборудования. Но если в сети наблюдается довольно внезапное и необъяснимое повышение уровня мерцания света (то есть, рост значения коэффициентов Pst и Plt) ни в коем случае не надо этого игнорировать. Ибо может оказаться, что мерцание возникает из-за плохих соединений в системе – повышенное падение напряжения на соединениях в распределительном щитке (например), вызовут большие колебания напряжения на потребителях, таких как лампочки накаливания. Падение напряжения на соединениях одновременно способствуют их нагреву, заканчивающемуся искрением и возможно пожаром. Периодические проверки сети и описанные симптомы помогут привлечь внимание и найти источник угрозы.

## 5.3 Измерение мощности

Мощность является одним из наиболее важных параметров, определяющих свойства энергетических цепей. Основной величиной, лежащей в основе финансовых расчетов между поставщиком и получателем, является электрическая энергия, равная произведению мощности на время.

В электротехнике встречается несколько различными видами мощности:

- активная мощность (англ. *Active Power*) обозначена буквой  $P$  и измеряемая в ваттах,
- реактивная мощность (англ. *Reactive Power*) обозначена  $Q$ , единица вар,
- полная мощность (англ. *Apparent Power*)  $S$ , единица ВА.

Три выше перечисленные вида мощности являются наиболее известными, но это не означает, что список мощностей на этом заканчивается.

В школе учат, что эти вышеуказанные мощности образуют так называемый треугольник мощностей, свойства которого выражает уравнение:

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

Однако, это уравнение справедливо только для систем с синусоидальной формой токов и напряжений. Перед тем, как перейти к более подробному обсуждению вопросов, связанных с измерениями мощности, необходимо сначала определить различные мощности.

### 5.3.1 Активная мощность

Активная мощность  $P$  в строгом физическом смысле является величиной, выражающей способность системы для выполнения определенной работы. Эта мощность наиболее желательная для потребителей энергии и именно за поставляемую активную мощность в расчетном периоде получатель платит поставщику электроэнергии (отдельно обсуждается проблема дополнительной оплаты за реактивную мощность - смотри ниже). Именно активная мощность (и, следовательно, активная энергия) измеряется счетчиками электрической энергии в каждом домашнем хозяйстве.

Основная формула для расчета активной мощности следующая:

—

где:  $u(t)$  - мгновенное значение напряжения,  $i(t)$  - мгновенное значение тока,  $T$  - период, за который рассчитывается мощность.

В синусоидальных системах активную мощность можно рассчитать как:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

где:  $U$  – действующее (среднеквадратичное) значение напряжения,  $I$  – действующее (среднеквадратичное) значение тока, а  $\varphi$  – угол сдвига фазы между напряжением и током.

Анализатор вычисляет активную мощность непосредственно по формуле с интегралом, используя отсчеты сигналов напряжения и тока:

—

где  $M$  – число отсчетов в окне измерения 10/12-периодов и составляет 2048,  $U_i$  и  $I_i$  являются последовательными отсчетами выборки напряжения и тока.

### 5.3.2 Реактивная мощность

Наиболее известная формула для реактивной мощности действительна только для однофазных цепей с синусоидальной формой напряжения и тока:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Интерпретация этой мощности в таких системах заключается в следующем: это амплитуда переменной составляющей мгновенной мощности на зажимах источника. Существование некоторого ненулевого значения этой мощности свидетельствует о двухстороннем и колебательном перетоке энергии между источником и приемником.

Представим себе однофазную сеть с синусоидальным источником напряжения, нагрузкой которого является RC-цепь. Так как в таких условиях эти элементы ведут себя линейно, протекание тока источника будет иметь синусоидальный характер, но из-за свойств конденсатора, ток смещается относительно напряжения источника. В этой схеме реактивная мощность  $Q$  отлична от нуля и может быть интерпретирована как амплитуда колебаний энергии, которая попеременно накапливается в конденсаторе и отдается источнику. Активная мощность конденсатора равна нулю.

Но, как выясняется, явление колебания энергии только кажется эффектом, да и то происходящим в особых случаях цепей с синусоидальной формой токов и напряжений, а не причина появления реактивной мощности. Проведенные в этой области исследования, показывают, что реактивная мощность появляется также и в схемах, в которых не возникает никаких колебаний энергии. Это утверждение, которое может удивить многих инженеров. В новых публикациях, касающихся теории мощности, единственным физическим явлением, которое всегда сопровождается наличием реактивной мощности, является сдвиг фаз между током и напряжением.

Указанная выше формула для расчета реактивной мощности является правильной только для синусоидальных однофазных цепей. Возникает вопрос: как рассчитывается реактивная мощность в несинусоидальных системах? Этот вопрос открывает пресловутый „ящик Пандоры” в сфере электротехники. Оказывается, что определение реактивной мощности в реальных системах (а не только в идеализированных), является предметом споров и в настоящее время (в 2009 году) не существует единого и общепризнанного определения реактивной мощности в системах с несинусоидальной формой напряжения и тока, даже не говоря уже здесь о несбалансированных трехфазных цепях. В стандарте IEEE (Международной ассоциации инженеров по электротехнике и электронике) под номером 1459-2000 (с 2000 года) для несинусоидальной трехфазной цепи мы не найдем формулы для полной реактивной мощности – как три основные мощности перечислены: активная мощность, полная и, внимание, неактивная, обозначенная буквой  $N$ . Реактивную мощность ограничили только для основной гармоники тока и напряжения и обозначили  $Q_1$ .

Упомянутый стандарт является последним документом такого рода, выпущенным признанной организацией, который должен был упорядочить тематику, касающуюся определения мощности. Это было тем более необходимо, что в научной среде уже много лет раздаются голоса, что используемые до сих пор определения могут давать ошибочные результаты. Споры касались, прежде всего, определения реактивной мощности и полной (а также мощности искажений, о чем позже) в одно- и трехфазных цепях с несинусоидальной формой напряжения и тока.

В 1987 году профессор L. Czarnecki доказал ошибочность широко распространенного определения реактивной мощности по Budeanu, то есть определения, которое по сей день преподается во многих технических школах. Это определение было впервые представлено профессором Budeanu в 1927 году, и имеет следующий вид:

где  $U_n$  и  $I_n$  являются высшими гармониками напряжения и тока порядка  $n$ , а  $\varphi_n$  углами между этими компонентами.

Так как введение этой величины означало, что известное уравнение треугольника мощности не выполняется для цепей с несинусоидальными формами сигналов, Budeanu ввел новую величину, называемую мощностью искажений:



---

Мощность искажения должна была представлять в системе мощность, возникающую вследствие искажений формы напряжения и тока.

Реактивная мощность была течение многих лет связана с колебаниями энергии между источником и нагрузкой. Как видно из формулы, реактивная мощность по определению Budeanu, является суммой отдельных гармоник реактивной мощности. Из-за фактора  $\sin \varphi$  эти компоненты могут быть положительным или отрицательным в зависимости от угла между напряжением и током гармоники. Таким образом, возможна ситуация, когда общая реактивная мощность  $Q_B$  будет равна нулю при ненулевых компонентах гармоник. Наблюдение, что при ненулевых составляющих суммарная реактивная мощность по этому определению может быть равна нулю, является ключом для более глубокого анализа, который в конечном счете, позволил доказать, что величина  $Q_B$  может давать в некоторых ситуациях совершенно неожиданные результаты. Проведенные исследования ставят под сомнение широко распространенное убеждение, что есть какая-то связь между колебаниями энергии и реактивной мощностью Budeanu  $Q_B$ . Можно привести примеры цепей, в которых, несмотря на существование колебательного характера мгновенной мощности, реактивная мощность по определению Budeanu равна нулю. На протяжении многих лет ученые не могли связать с реактивной мощностью в соответствии с этим определением, никакого физического явления.

Перечисленные выше сомнения, в правильности этого определения мощности, конечно, бросают тень, на связанную с ней мощность искажения  $D_B$ . Начали искать ответ на вопрос, будет ли мощность искажения  $D_B$  на самом деле являться мерой искажений процессов в несинусоидальных цепях. Искажением мы называем ситуацию, когда форму сигнала напряжения не удастся «наложить» на форму протекающего тока с помощью двух операций: изменение амплитуды и сдвиг по времени. Другими словами, если выполнены следующие условия:

$$u(t) = A i(t - \tau)$$

то напряжение не искажено по отношению к току. В случае синусоидального напряжения и нагрузки, являющейся любой комбинацией элементов RLC, это условие всегда выполняется (для синусоидального процесса эти элементы сохраняют линейность). Однако, когда форма напряжения уже искажена, нагрузка RLC не обеспечивает неискаженного тока, относительно напряжения и уже не является линейной нагрузкой - необходимо выполнение некоторых дополнительных условий (соответственно с частотой меняются модуль и фаза импеданса нагрузки).

И поэтому, действительно ли мощность  $D_B$  является мерой искажений? К сожалению, в данном случае также оказалось, что теория мощности по Budeanu разочаровывает. Было доказано, что мощность искажения может быть равна нулю в ситуации, когда напряжение искажено относительно протекающего тока, и наоборот, мощность искажения может быть ненулевой при полном отсутствии искажений.

Практический аспект теории мощности, касающийся повышения коэффициента мощности цепей с реактивной мощностью, должен быть тем фактором, который больше всего выиграет от правильного определения реактивной мощности. Попытки компенсации, на основе реактивной мощности Budeanu и связанной с ней мощностью искажений не удались. Эти величины не позволяют даже правильно рассчитать компенсирующую емкость, дающую максимальный коэффициент мощности. Доходило даже до того, что такие попытки заканчивались дополнительным ухудшением этого показателя.

Можно задать вопрос: как стало возможным, что теория мощности Budeanu стала так популярна? Причин может быть несколько. Во-первых, привычка инженеров к старому определению и не изменяемая много лет программа обучения в школе. Это фактор часто недооценивается, но, как

оправдание можно отметить, что эта теория на протяжении 60 лет не дождалась опровержения. Во-вторых, в 20-х годах прошлого века не было измерительных приборов, которые давали представление об отдельных гармонических составляющих напряжения и тока, поэтому было трудно проверять новые теории. В-третьих, искажения формы токов и напряжений (и, следовательно, высокое содержание гармоник), это эффект революции в электроэнергетике, которая началась только во второй половине прошлого века. Начали крупномасштабно использовать тиристоры, управляемые выпрямители, преобразователи и т.д. Все эти действия сопровождались очень большими искажениями токов в сетях питания, а следовательно, повышением уровня гармонических искажений. Только тогда начали ощущать недостатки в теории мощности Budeanu. Наконец, в-четвертых, в связанной с энергетикой научной среде был осознан тот факт, что промышленные предприятия инвестировали целые состояния в инфраструктуру измерения (счетчики электроэнергии). Любые изменения в этом отношении могут иметь огромные финансовые последствия.

Тем не менее, медленные изменения в сознании инженеров-электриков стали видны. С течением лет, все чаще возникали нелинейные нагрузки и процессы с очень большими искажениями, невозможно было дальше терпеть ограничения в применяемых формулах.

Очень значимым событием стала публикация в 2000 году организацией IEEE стандарта 1459, название которого звучит так: „ Определения для измерений величин, связанных с электрической мощностью в синусоидальных, несинусоидальных, симметричных и несимметричных условиях ”. Впервые реактивная мощность по определению Budeanu оказалась в группе рекомендуемых определений, которые не должны использоваться в новых счетчиках мощности и реактивной энергии. Также видно было разделение многих величин на те, что связаны с основной составляющей тока и напряжения (первая гармоника) и другими высшими гармониками. В большинстве случаев считается, что полезная часть энергии передается только с помощью составляющих 50/60 Гц, при гораздо меньшем и часто вредном участии высших гармоник.

В стандарте также появилась новая величина – неактивная мощность  $N$ , которая представляет все неактивные компоненты мощности:

\_\_\_\_\_

Реактивная мощность является одной из составляющих неактивной мощности  $N$ . В однофазных цепях с синусоидальным напряжением и током,  $N$  равно  $Q$ , поэтому в неактивной мощности нет других составляющих. В трехфазных цепях такое свойство имеют только симметричные синусоидальные сети со сбалансированной чисто резистивной нагрузкой.

Следующие составляющие неактивной мощности связаны с конкретными физическими явлениями. По теории профессора Czarneckiego, одному из лучших объяснений физических явлений в трехфазных цепях, уравнение мощности в таких системах можно записать следующим образом:

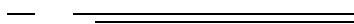
$D_s$  – это мощность рассеяния, которая появляется в системе, в результате изменения активной проводимости нагрузки вместе с изменением частоты. Таким образом, наличие в нагрузке реактивных элементов может привести к появлению мощности рассеяния.

Реактивная мощность  $Q$  в этом уравнении появляется при наличии фазового сдвига между гармониками напряжения и тока.

$D_u$  – обозначает мощность дисбаланса, которая является мерой несбалансированности трехфазной нагрузки. Эта составляющая объясняет ситуацию, при которой несбалансированная трехфазная нагрузка с чисто резистивным характером, приводит к коэффициенту мощности меньше единицы. Такой потребитель не имеет реактивной мощности  $Q$  и, несмотря на это, из треугольника мощности  $S$ ,  $P$ ,  $Q$  следует что-то совсем другое (теория мощности Budeanu со своей мощностью

искажений также не может объяснить эту ситуацию – для чисто резистивной нагрузки мощность искажения  $D$  в равна нулю).

Попытка соединения IEEE 1459-2000 с теорией мощности Czarneckiego приводит к выводу, что неактивная мощность скрывает в себе, по крайней мере, три отдельных физических явления, которые влияют на снижение эффективности передачи энергии от источника к приемнику, то есть уменьшение коэффициента мощности:



В стандарте IEEE 1459-2000 известная под буквой  $Q$  – реактивная мощность была ограничена основной гармоникой и это касается как однофазных систем, так и трехфазных.

В однофазных цепях: 
$$Q_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

В трехфазных системах учитываются только составляющие прямой последовательности этой мощности:

$$Q_{1^+} = 3U_{1^+} \cdot I_{1^+} \cdot \sin \varphi_{1^+}$$

Для правильного измерения этой мощности требуется соответствующая последовательность чередования фаз (задержка фазы L2 на  $120^\circ$  по отношению к L1, задержка фазы L3 на  $240^\circ$  по отношению к L1).

Концепция составляющих прямой последовательности будет более подробно рассмотрена при обсуждении асимметрии.

Значение основной составляющей реактивной мощности является основной величиной, которая позволяет оценить величину конденсатора корректирующего коэффициент DPF или сдвиг основной гармоники напряжения относительно этой же составляющей тока (то есть компенсатора реактивной мощности основной гармоники).

### 5.3.3 Реактивная мощность в 3-проводных схемах

Правильное измерение реактивной мощности невозможно в несимметричных приемниках, подключенных по 3-проводной схеме (типа «треугольник» и «звезда» без провода N). Это утверждение может многих удивить.

Приемник можно рассматривать как „черный ящик” с доступными только 3 зажимами. Мы не в состоянии определить внутренней структуры такого приемника. Чтобы вычислить реактивную мощность необходимо знать угол сдвига фаз между током и напряжением, возникающих в каждой ветви такого приемника. К сожалению, мы не знаем этого угла. В приемнике по схеме типа „треугольник” мы знаем напряжения, присутствующие на отдельных сопротивлениях, но не знаем ток; в таких системах измеряются линейные напряжения и линейные токи. Каждый из линейных токов является суммой двух токов фаз. В приемниках типа звезда без N мы знаем токи, проходящие по сопротивлению, однако не знаем напряжений (каждое из линейных напряжений является суммой двух фазных напряжений).

Нужно осознать тот факт, что при заданных напряжениях на зажимах и токах, входящих в такой „черный ящик” существует бесконечно много вариантов внутренней конструкции приемника, которые дадут нам одинаковые результаты измерений токов и напряжений, видимых снаружи такого " черного ящика".

Как же это возможно, что существуют счетчики реактивной мощности, предназначенные для измерений в 3-проводных сетях, и анализаторы электрических сетей, которые в таких условиях обеспечивают измерение реактивной мощности?

В обоих случаях производители прибегают к хитрости, которая заключается в искусственном создании опорной точки (виртуальный зажим нейтрали N). Такую точку очень легко можно создать, подключая к зажимам нашего „черного ящика” схему из трех резисторов одной и той же величины и соединенных звездой. Потенциал центральной точки схемы резисторов используется для расчета „фазных напряжений”. Конечно, кавычки здесь совершенно на месте – такой виртуальный ноль дает при измерении правильные результаты, только при минимальной асимметрии приемника. В любом другом случае к показаниям реактивной мощности такого прибора следует относиться с большой долей недоверия.

Измерительный прибор ни в коем случае не должен вводить пользователя в заблуждение, а такого рода приближение можно допустить лишь при условии, что отображаемое значение не является результатом фактического измерения, а лишь приблизительным значением.

### 5.3.4 Реактивная мощность и счетчики реактивной энергии

Счетчик реактивной энергии – это скорее всего, прибор неизвестный домашним пользователям, т.к. широко используются и являются основой для расчетов с поставщиком, счетчики активной энергии, измеряемой в Вт-ч или кВт-ч. Домашний пользователь, таким образом, находится в удобном положении – платит только за полезную энергию и не должен интересоваться какой коэффициент мощности в его сети.

Промышленные потребители – в отличие от той первой группы – обязаны, на основании подписанных договоров и часто под угрозой финансовых штрафов, поддерживать коэффициент мощности на должном уровне.

Например, в Польше, распоряжение министра экономики, касающееся конкретных условий функционирования энергетической системы, определяет качественные параметры, которые должны быть выполнены поставщиком энергии для различных так называемых групп подключения. Среди этих параметров находятся, например, частота сети, действующее значение напряжения, коэффициент гармонических искажений (THD) и допустимые уровни отдельных гармоник напряжения. Однако поставщик не обязан выполнять эти требования, если получатель энергии не обеспечивает значения коэффициента  $\operatorname{tg} \varphi$  ниже 0,4 (значение по договоренности, которое может быть изменено в договоре между поставщиком и потребителем электроэнергии) и/или превышает согласованный уровень потребляемой активной мощности.

Коэффициент  $\operatorname{tg} \varphi$  глубоко укоренился в энергетическом законодательстве и его определяют как результат отношения начисленной реактивной мощности к активной мощности в данный расчетный период. Если вернуться на некоторое время к треугольнику мощности в синусоидальных системах, то мы заметим, что тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением равен отношению реактивной мощности Q к активной мощности P. Таким образом, критерий удержания  $\operatorname{tg} \varphi$  ниже 0,4 не означает ничего другого, как только определение, что максимальный уровень подсчитанной реактивной энергии не может быть выше, чем 0,4 от значения полученной активной энергии. Любое потребление реактивной энергии выше договоренности подлежит дополнительной оплате.

Но дает ли знание рассчитываемого таким образом коэффициента  $\operatorname{tg} \varphi$  обеим заинтересованным сторонам реальную картину эффективности передачи энергии? Разве не было упомянуто выше, что реактивная мощность является только одной из составляющих неактивной мощности, которые тоже влияют на снижение коэффициента мощности?

Действительно, кажется, что вместо  $\operatorname{tg} \varphi$  следовало бы использовать коэффициент мощности PF, который также учитывает и другие факторы.

Нынешние правила, к сожалению, не дают другого выбора, поэтому точное измерение реактивной мощности является ключевым моментом. Теперь стоит поставить вопрос: с учетом описанных выше споров по определению реактивной мощности, обеспечивают ли счетчики этой энергии правильные показания? И что же в действительности измеряют обычно используемые счетчики реактивной мощности?

Ответы на эти вопросы можно попробовать получить в стандарте, представленном для этих счетчиков – PN-EN 62053-23. К сожалению и нашему разочарованию, в нем не найдется каких-либо ссылок для измерений в условиях не синусоидальности – расчетные формулы относятся к синусоидальным ситуациям (в стандарте можно прочитать, что из „практических” соображений ограничились исключительно синусоидальными процессами). В нем не указаны какие-либо критерии испытаний, которые бы позволили проверить характеристики счетчика при искаженных формах напряжений и токов. Также может удивить тот факт, что старая норма PN-EN 61268 (уже отменена) содержала тест, основанный на проверке точности измерений при 10% уровне третьей гармоники тока.

Нынешняя ситуация оставляет разработчикам счетчиков свободный выбор метода измерения, что, к сожалению, приводит к значительным различиям показаний реактивной энергии при наличии большого уровня гармонических искажений.

Счетчики старого типа, то есть, электромеханические, имеют характеристики, аналогичные фильтру нижних частот – высшие гармоники в нем подавлены, таким образом измерение реактивной мощности в присутствии гармоник очень близко к значению основной составляющей реактивной мощности.

Более распространенные электронные счетчики могут проводить измерение различными методами. Например, они могут измерять активную мощность и полную мощность и вычислить реактивную мощность из треугольника мощности (квадратный корень из суммы квадратов двух этих мощностей). Так действительно, в свете стандарта IEEE 1459-2000, они измеряют неактивную мощность, а не реактивную. Другой производитель может использовать метод со смещением фазы напряжения на 90°, что дает результат, приближенный к основной гармонике реактивной мощности.

Чем больше содержание гармоник, тем больше будет разница в показаниях, и конечно в результате будет другая плата за начисленную энергию.

Как уже указывалось ранее, измерение реактивной мощности в 3-проводных несбалансированных системах с помощью обычных счетчиков обременено дополнительной ошибкой, вызванной созданием внутри счетчика виртуального нуля, имеющего мало общего с реальным нулем нагрузки.

Что еще хуже, производители обычно не дают никакой информации о применяемом методе измерения.

Остается только с нетерпением ждать следующей версии стандарта, которая - будем надеяться - предложит гораздо более точный метод измерения и также метод исследования в несинусоидальных условиях.

### 5.3.5 Полная мощность

Полная мощность  $S$  выражается как произведение эффективных значений напряжения и тока:

$$S = U \cdot I$$

Как таковая мощность не имеет физической интерпретации; однако, используется при проектировании оборудования распределительных сетей. Она равна по величине максимальной активной мощности, которая может быть подана в нагрузку при данных эффективных значениях напряжения и тока. Таким образом, полная мощность определяет максимально возможную способность источника для доставки полезной энергии к приемнику.

Мерой эффективности использования подаваемой в приемник мощности является коэффициент мощности, другими словами отношение полной мощности к активной мощности.

В синусоидальных системах:

$$P = S \cdot \cos \phi$$

В несинусоидальных системах такое упрощение недопустимо и коэффициент мощности рассчитывается на основе реального соотношения активной и полной мощности:

$$P = S \cdot \text{PF}$$

В однофазных сетях полная мощность рассчитывается, так это как показано в приведенной выше формуле, и здесь нет никаких сюрпризов. Оказывается, однако, что в трехфазных сетях расчет этой мощности также вызывает серьезные проблемы, как и те, что связаны с реактивной мощностью. Разумеется, это относится к реальным сетям с несинусоидальными сигналами, которые также могут быть несимметричными.

Исследования показали, что формулы, используемые до сих пор, могут давать ошибочные результаты, если сеть не является сбалансированной. Так как полная мощность – это условная величина и не имеет физической интерпретации, выяснение, какое из предлагаемых определений полной мощности, является подходящим, может вызывать затруднения. Тем не менее, были предприняты попытки, опираясь на наблюдения, доказать, что полная мощность тесно связана с потерями при передаче и коэффициентом мощности. Зная потери передачи и коэффициент мощности можно косвенно определить правильное определение полной мощности.

До сих пор используются определения, среди прочих, арифметической полной мощности и геометрической полной мощности. Проведенные исследования показали, однако, что ни арифметическое, ни геометрическое определения не дают в результате правильного значения коэффициента мощности. Единственным, что удовлетворяло такой ситуации, оказалась определение, которое уже в 1922 году предложил немецкий физик Ф. Бухгольц (F. Buchholz):

$$S_e = 3U_e \cdot I_e$$

Оно основано на эффективных значениях напряжения и тока, а сама мощность называется эффективной полной мощностью (по этой причине, для трехфазных цепей в обозначение добавлен индекс „e”). Эти эффективные значения напряжения и тока – это такие теоретические значения, которые представляют напряжения и токи в сбалансированной энергетически симметричной трехфазной системе. Поэтому ключевыми являются определения величин  $U_e$  и  $I_e$ .

Стандарт IEEE 1459 дает следующие формулы. В трехпроводных сетях:

$$S_e = \sqrt{3} U_{ab} I_a = \sqrt{3} U_{bc} I_b = \sqrt{3} U_{ca} I_c$$

В четырехпроводных сетях:

$$S_e = U_a I_a + U_b I_b + U_c I_c + U_n I_n$$

где  $I_a, I_b, I_c$ , соответственно эффективные значения токов отдельных фаз (линейные и фазные),  $I_n$  – эффективное значение тока нулевого проводника,  $U_a, U_b, U_c$  – это эффективные значения фазных напряжений, а  $U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$  являются эффективными значениями линейных напряжений.

Таким образом, расчетная величина  $S_e$  учитывает как потери мощности в нулевом проводе (в четырехпроводных сетях), так и влияние несбалансированности.

### 5.3.6 Мощность искажения $D_v$ и эффективная полная мощность искажения $S_{eN}$

При обсуждении реактивной мощности было показано, что мощность искажения по определению  $V_{deapu}$  не может быть применима при больших искажениях напряжений и токов, а также асимметрии трехфазных цепей (парадокс мощности искажений, которая не является показателем реального искажения). Однако, несмотря на это, такая мощность часто используется специалистами, занимающимися анализом качества электроэнергии и производителями схем компенсации реактивной мощности.

Здесь необходимо четко указать, что опора на данный параметр давала приемлемые результаты только в условиях небольшого искажения формы процессов и малой асимметрии.

Стандарт IEEE 1459-2000 упоминает это определение мощности, однако, так же, как и в случае реактивной мощности  $V_{deapu}$ , она несет неустранимый недостаток и рекомендуется окончательно отказаться от ее использования.

В место мощности  $D_v$  предложена другая величина, которая намного лучшим способом характеризует общую мощность искажения в системе – полная мощность искажения  $S_{eN}$ . Мощность  $S_{eN}$  позволяет быстро определить, что нагрузка работает в условиях малых или больших гармонических искажений и является также основой для определения параметров пассивных или активных фильтров и компенсаторов.

Согласно определению (для трехфазных систем):

---

где:

Эффективный ток и эффективное напряжение основной гармоники (соответственно  $I_{e1}$  и  $U_{e1}$ ) рассчитываются так же, как  $I_e$  и  $U_e$ , с той лишь разницей, что вместо эффективных значений фазных или линейных напряжений и эффективных значений линейных токов подставляются эффективные значения их основных составляющих.

В однофазных системах для расчета полной мощности искажений можно использовать более простую формулу:

---

где  $U_1$  и  $I_1$  являются эффективными значениями основной составляющей фазового напряжения и тока.

### 5.3.7 Коэффициент мощности

Истинный коэффициент мощности, то есть тот, который принимает во внимание также наличие высших гармоник, называется просто коэффициентом мощности (англ. True Power Factor, TPF или PF). Для синусоидальных цепей он равняется так называемому коэффициенту фазового сдвига, то есть популярному  $\cos \varphi$  (англ. Displacement Power Factor, DPF).

Поэтому DPF является мерой сдвига фаз между основными составляющими напряжения и тока:

---

В случае чисто резистивной нагрузки (в однофазной сети) полная мощность равна значению активной мощности, а реактивная мощность равна нулю, таким образом, эта нагрузка в полной мере использует энергетический потенциал источника и коэффициент мощности равен 1. Появление реактивной составляющей неизбежно ведет к снижению эффективности передачи энергии – активная мощность тогда меньше полной мощности, а реактивная мощность растёт.

В трехфазных схемах на уменьшение коэффициента мощности также влияет несбалансированность приемника (смотри обсуждение реактивной мощности). В этих системах правильное значение коэффициента мощности получается при использовании эффективной полной мощности  $S_e$ , то есть величины, определенной в частности, в стандарте IEEE 1459-2000.

## 5.4 Гармоники

Разложение периодических сигналов на гармонические составляющие является очень популярной математической операцией, основанной на теореме Фурье, в которой говорится, что каждый периодический сигнал можно представить как сумму синусоидальных составляющих более высоких частот, которые являются кратными основной частоте такого сигнала. Непрерывные сигналы можно подвергнуть операции быстрого преобразования Фурье (сокращенно FFT), которая дает в результате амплитуды и фазы гармонических составляющих спектра частот.

В идеальной ситуации напряжение вырабатывается в генераторе, который дает на своем выходе неискаженный синусоидальный сигнал 50/60 Гц (отсутствие каких-либо высших гармоник). Если приемник является линейной системой, то в таких идеальных условиях ток также будет неискаженным синусоидальным сигналом. В реальных системах, сигналы, как напряжения, так и тока искажаются, поэтому должны содержать кроме основной составляющей также гармоники высших порядков.

Почему присутствие высших гармоник в сети, является нежелательным?

Одной из причин является скин-эффект, который основан на выталкивании электронов из центра проводника (провода) наружу с увеличением частоты тока. В результате, чем выше частота, тем меньше эффективного сечения проводника имеют в своем распоряжении электроны, что эквивалентно увеличению его сопротивления. В результате этого явления, чем выше порядок гармоники тока, тем больше эффективное сопротивление проводки для этой гармоники, а это, в свою очередь, неизбежно приводит к увеличению потерь мощности и нагреву проводов.

Классический пример, связанный с этим эффектом, касается нейтрального провода в трехфазных сетях. В сетях с низким уровнем искажений, малым дисбалансом и симметричной нагрузкой (или небольшой асимметрией) ток в нейтральном проводнике стремится к нулю (он намного меньше эффективных значений фазных токов). Это наблюдение спровоцировало многих конструкторов на экономию, основанную на установке в таких системах кабелей с нулевым проводом с меньшим сечением, чем фазные провода. И все очень хорошо работало до того момента, когда в сети появились гармоники нечетных рядов, являющиеся кратными 3 высшего порядка (третья, девятая, и т.д.). Вдруг нейтральный провод начинал перегреваться, а измерение тока указывало на его очень высокое эффективное значение. Объяснение этого явления, однако, довольно простое. Конструктор не учел в приведенном выше примере двух обстоятельств: в сетях с искажениями высшие гармоники могут не компенсироваться в нейтральном проводе, а наоборот – сложиться, и во-вторых, скин-эффект и высокие значения токов высших гармоник дополнительно увеличили его нагрев.

Попытаемся теперь ответить на два основных вопроса:

Что является причиной появления гармоник в напряжении?

Что является причиной появления гармоник в токе?

Казалось бы, эти два вопроса, выглядят почти идентично, однако разделение напряжения и тока является чрезвычайно важным для понимания сути вопроса.

Ответ на первый вопрос будет следующим: гармоники в напряжении являются следствием ненулевого импеданса распределительной сети, между генератором (принимая, что он генерирует чистую синусоиду) и приемником.

Однако гармоники тока являются результатом нелинейного характера импеданса приемника. Конечно, следует отметить, что если линейный приемник питается напряжением искаженной формы, то форма тока также искажается.



В литературе часто используются утверждения, что „приемник генерирует гармоники”. Следует помнить, что в этом случае приемник не является физическим источником энергии (как это предполагает слово „генерирует”). Единственным источником энергии в системе является распределительная сеть. Если приемник является пассивным устройством, то энергия, передаваемая от приемника в распределительную систему, происходит из этой же распределительной системы. Мы здесь имеем дело с вредным и бесполезным двусторонним потоком энергии. Как уже обсуждалось ранее в случае с коэффициентом мощности, такое явление приводит к ненужным потерям энергии, а ток „генерируемый” в приемнике вызывает дополнительную нагрузку на распределительную систему.

Рассмотрим следующий пример. Типичный нелинейный приемник, такой как, например, широко используемые импульсные источники питания (например, компьютерные), запитан от идеального генератора синусоидального напряжения. Теперь предположим, что импеданс соединений между генератором и приемником имеет нулевое значение. Напряжение, измеренное на клеммах приемника, будет иметь синусоидальную форму (отсутствие высших гармоник) – это просто напряжение генератора. Однако, форма тока в приемнике, уже будет содержать гармонические составляющие – нелинейный приемник часто потребляет ток только в определенные моменты времени всего периода синусоиды (например, максимальный ток может попадать на пики синусоиды напряжения).

Но приемник не создает этих гармонических составляющих тока, он просто потребляет ток не постоянно или прерывисто. Вся энергию поставляет только генератор.

На следующем этапе можно изменить схему, вставляя между генератором и приемником определенный импеданс, который представляет собой активное сопротивление проводов, обмоток трансформатора и т.д.

Измерения гармоник напряжения и тока приемника дадут немного другие результаты. Что изменится? Появятся небольшие составляющие гармоники напряжения, и, кроме того, немного изменится спектр частот тока.

При анализе формы напряжения в приемнике можно заметить, что первоначально синусоидальный сигнал слегка исказился. Если приемник потребляет ток в основном в моменты пиков напряжения – это будет выглядеть, как усеченные вершины. Большой потребляемый ток в эти моменты приводит к большому падению напряжения на импедансе сети. Часть идеального синусоидального сигнала накапливается сейчас на этом импедансе. Некоторое изменение в спектре тока следует из несколько иной формы напряжения питания.

Пример описанных здесь "плоских вершин" синусоидального напряжения - это очень часто наблюдаемая картинка в типичных сетях, к которым подключены широко распространенные конструкции импульсных блоков питания.

#### 5.4.1 Активная мощность гармоник

Разложение напряжения и тока в приемнике на гармонические составляющие позволяет более глубоко выяснить детали перетока энергии между поставщиком и получателем.

Предположим, что анализатор качества питания подключен между источником напряжения и приемником. Как напряжение, так и питающий ток подвергаются спектральному анализу с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT), в результате которого получаем амплитуды гармоник вместе с их фазовыми сдвигами.

Оказывается, что знание гармоник напряжения и тока и сдвига фаз между этими гармониками, позволяет рассчитать активную мощность действующих каждой гармоники в отдельности:

$$P_h = U_h \cdot I_h \cdot \cos \varphi_h$$

где:

$P_h$  – активная мощность гармоники  $h$ -го порядка,

$U_h$  – действующее значение гармоники напряжения  $h$ -го порядка,

$I_h$  – действующее значение гармоники тока  $h$ -го порядка,

$\varphi_h$  – угол фазового сдвига между гармониками напряжения и тока  $h$ -го порядка.

Если мощность  $P_h$  имеет положительный знак – это означает, что доминирующий источник энергии этой гармоники находится на стороне поставщика энергии. Если она отрицательная, то доминирующим источником является приемник. Следует отметить, что нельзя сказать на основании измеренной таким образом активной мощности гармоник, что только одна из сторон является единственным источником гармоник, так как измеренная мощность является результирующей для поставщика и получателя.

### Пример

Если поставщик генерирует активную мощность гармоник  $P_{hd} = 1$  кВт, а получатель „генерирует“ мощность этой гармоники величиной  $P_{ho} = 100$  Вт, то результирующая мощность, измеренная на клеммах между получателем и поставщиком, будет составлять  $P_h = P_{hd} - P_{ho} = 0,9$  кВт.

В случае с приведенным выше примером, мы имеем дело с двумя отдельными источниками потока энергии. К сожалению, на основе этого измерения не удастся прямо указать на фактическое распределение.

В реальных системах, однако, часто бывает достаточно определить доминирующий источник. Сгруппировав гармонические составляющие положительных знаков, получим выборку мощности, ответственную за поток энергии от источника к приемнику, то есть полезную энергию. В свою очередь совокупность гармоник с отрицательным знаком характеризует ту часть энергии, которая не выполняет полезной роли и "возвращается" обратно в распределительную систему.

Суммируя все компоненты гармонической активной мощности, получим активную мощность приемника. Мы видим таким образом, что существуют, по крайней мере, два альтернативных метода измерения активной мощности.

Первый метод заключается в расчете средних значений мгновенной активной мощности, которая рассчитывается на основе следующих отсчетов напряжения и тока:

—

где  $U_i$  является очередным отсчетом напряжения,  $I_i$  является очередным отсчетом тока, а  $M$ -число отсчетов в окне измерений.

Второй метод – это суммирование отдельных активных мощностей гармоник, которые получаем разложением по быстрому преобразованию Фурье (FFT):

## 5.4.2 Реактивная мощность гармоник

Таким же образом как активную, можно рассчитать реактивную мощности гармоник:

$$Q_h = U_h \cdot I_h \cdot \sin \varphi_h$$

Знание реактивной мощности гармоник является ценной информацией, используемой при разработке компенсаторов реактивной мощности на параллельных реактивных сопротивлениях. Такие компенсаторы состоят из LC-цепочек, настроенных на конкретные частоты гармоник.

Знак отдельных составляющих мощности говорит о характере нагрузки для этой составляющей. Если знак положительный, это свидетельствует об индуктивном характере, а если отрицательный, то о емкостном характере.

Реактивный ток источника можно уменьшить до нуля при выполнении условия для каждой гармоники <sup>2</sup>:

$$B_h + B_{kh} = 0$$

где:

$B_h$  – реактивная проводимость приемника для h-ой гармоники,

$B_{kh}$  – реактивная проводимость параллельного компенсатора для h-ой гармоники.

Поскольку сложность компенсатора растет пропорционально числу гармоник, подлежащих компенсации, как правило, компенсируется только основная составляющая и не более нескольких высших гармоник максимальной величины. Однако даже сама компенсация основной гармоники может уже дать значительное улучшение коэффициента мощности.

Примечание <sup>2</sup>:

Л.С. Чарнецкий: „ Мощности в электрических цепях с несинусоидальными токами и напряжениями”, Издательство Варшавского политехнического университета, Варшава, 2005, стр.109.

L.S. Czarniecki: „Moce w obwodach elektrycznych z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa

### 5.4.3 Характеристика гармоник в трехфазных системах

Гармоники определенного ряда в 3-фазных системах имеют некоторые специфические особенности, которые показывает нижеследующая таблица:

**Таблица 12.**

Ряд	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Частота (Гц)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Последовательность (+) прямая, (-) обратная, (0) нулевая	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Строка „Последовательность” относится к методу симметричных составляющих, который позволяет разложить любой из 3-х векторов на три набора векторов: прямой, обратной и нулевой последовательности (подробнее в разделе, посвященном проблеме асимметрии).

Воспользуемся примером. Предположим, что трехфазный двигатель запитан от симметричной 4- проводной сети (то есть эффективные значения фазных напряжений равны и углы между отдельными основными компонентами составляют по 120°).

Знак „+” в строке, определяющей последовательность для 1-гармоники, означает нормальное направление вращения вала двигателя. Гармоники напряжения, для которых этот знак также „+” приводят к возникновению крутящего момента совпадающего с направлением основной гармоники. Гармоники рядов 2, 5, 8, 11 являются гармониками обратной последовательности, то есть производят крутящий момент, который препятствует нормальному направлению вращения двигателя, что может

привести к нагреванию, ненужной потере энергии и снижению производительности. Последней группой являются гармоники нулевой последовательности, такие как, например, третья, шестая и девятая, которые не производят никакого крутящего момента, но протекая по обмотке двигателя, вызывают его дополнительный нагрев.

На основании данных таблицы легко можно увидеть, что последовательность +, -, 0 повторяется для всех последующих рядов гармоник. Формулу, связывающую тип последовательности с рядом очень прост и для k, который является любым целым числом:

**Таблица 13.**

Последовательность	Гармонический ряд
прямая „+”	$3k + 1$
обратная „-”	$3k - 1$
нулевая „0”	$3k$

Гармоники четных рядов отсутствуют, когда данный процесс является симметричным относительно линии его среднего значения, а такое свойство имеют сигналы в большинство систем питания. В типичной ситуации измеренные уровни гармоник четных рядов имеют минимальные значения. Если учесть это свойство то окажется, что группы гармоник с самыми нежелательными качествами – это 3-я, 9-я, 15-я (нулевая последовательность), а также 5-я, 11-я, 17-я (обратная последовательность).

Гармоники тока, которые кратны числу 3 создают дополнительные проблемы в некоторых системах. В 4-проводных системах они имеют очень нежелательную особенность суммироваться в нулевом проводе. Оказывается, что в отличие от гармоник других рядов, где сумма значений мгновенных фазных токов компенсируется, процессы этих гармоник совпадают по фазе, что приводит к добавлению фазных токов этой составляющей в нулевом проводе. Это может привести к перегреву этого провода (в частности, в распределительных системах, в которых использовано меньшее сечение этого провода, чем фазовых, а до недавнего времени это еще было распространенной практикой). По этой причине, в сетях с нелинейными нагрузками и большими искажениями тока, в настоящее время рекомендуется, чтобы сечение нейтрального провода было больше сечения фазных проводов.

В системах типа "треугольник" гармоники этих рядов отсутствуют в линейных токах (с оговоркой, что речь идет о симметричных системах), в то время как они циркулируют в ветвях нагрузки, также вызывая ненужные потери мощности.

Такой характер отдельных гармоник, как это показано в таблице, сохраняется с полной точностью только в трехфазных симметричных системах. Только в таких системах основная гармоника имеет характер исключительно прямой последовательности. В реальных системах, в которых есть определенная степень асимметрии напряжения питания и дисбаланс нагрузки, появляются не нулевые составляющие обратной и нулевой последовательности. Мерой этой асимметрии являются так называемые коэффициенты несимметрии. И именно из-за этой асимметрии основной гармоники, и, кроме того, разницы в амплитудах и фазах высших гармоник в каждой из фаз - эти гармоники также будут иметь компоненты прямой, обратной и нулевой последовательности. Чем больше асимметрия, тем больше будут также доли остальных составляющих.

Стандарт PN-EN 61000-4-30 рекомендует, чтобы в анализаторах сети применялся метод подгрупп гармонических составляющих.

#### 5.4.4 Коэффициент гармонических искажений (THD)

Коэффициент гармонических искажений THD (англ. Total Harmonic Distortion) является наиболее распространенным показателем искажения сигналов. На практике используются две разновидности этого коэффициента:

- $THD_F$  (THD-F или просто THD) - коэффициент гармонических искажений, относительно основной гармоники сигнала (от англ. fundamental),
- $THD_R$  (THD-R) - коэффициент гармонических искажений относительно среднеквадратичного значения (RMS) сигнала.

В обоих случаях THD измеряется в процентах. Ниже приведены определения:

где:  $A_h$  – действующее значение гармоники  $h$ -го ряда,  
 $A_1$  – действующее значение основной гармоники,  
 $A_{RMS}$  – действующее значение сигнала.

Ограничение числа гармоник, учитываемых при расчете THD, имеет условный характер и связано, прежде всего, с ограничениями измерительного устройства. Поскольку анализатор позволяет измерять гармоники до 50-го порядка, при расчете THD учитываются гармоники 50-го или 40-го порядка.

Следует иметь в виду, что два упомянутых определения будут давать значительно отличающиеся друг от друга значения при сильно искаженных сигналах.  $THD_R$  не может превышать 100%, а  $THD_F$  такого предела не имеет и может принимать значения, даже 200% и более. Такой случай может наблюдаться при измерении значительно искаженного тока. Гармонические искажения напряжения, как правило, не превышают нескольких процентов (как  $THD_F$ , так и  $THD_R$ ); например, стандарт EN 50160 за предел принимает значение 8% ( $THD_F$ ).

#### 5.4.5 Коэффициент К

Коэффициент К, также называемый коэффициентом потерь в трансформаторе (К-фактор) – это величина, которая используется при определении требований к трансформаторам питания. Высшие гармоники в токе приводит к увеличению тепловых потерь в обмотках и металлических элементах трансформатора. Главной причиной являются вихревые токи, генерируемые составляющими тока на более высоких частотах, а также скин-эффект.

Повышение температуры трансформатора прямо пропорционально квадрату частоты составляющих тока, поэтому величина называется коэффициентом потерь в трансформаторе или иначе коэффициентом К, учитывая этот факт, он рассчитывается по следующей формуле:

где:  $I_{hr}$  – относительное значение гармоник тока  $h$ -го ряда (по отношению к основной гармонике),  
 $I_h$  – амплитуда гармоники тока  $h$ -го ряда,  
 $I_1$  – амплитуда основной составляющей тока,  
 $h$  – гармонический ряд.

Этот параметр, поэтому придает гораздо больший вес высшим гармоникам, чем низшим – каждая гармоника умножается на квадрат ее ряда.

Коэффициент К полезен при определении требований к трансформаторам, которые должны работать в условиях значительных искажений тока. Предполагается, что трансформатор, работающий в

условиях, для которых коэффициент  $K$  составляет  $x$ , будет генерировать в  $x$  раз больше тепла, чем в ситуации чисто синусоидального тока ( $K$  равно 1).

## 5.5 Интергармоники

Интергармоники - это такие составляющие частотного спектра напряжения или тока, частота которых не будет кратной основной частоте сети (50 или 60 Гц). Причиной возникновения интергармоник могут быть, в частности, несинхронные и переходные процессы, сопутствующие подключениям, преобразователи частоты, которые создают выходную частоту отличную от частоты питающей сети, добавляя в систему спектральные интергармонические составляющие, дуговые печи и индукционные двигатели, а также приводы с переменной нагрузкой. Сигналы управления, то есть сигналы строго определенной частоты, которые генерируются в цепях управления и попадают в электросети, также следует рассматривать как интергармонические составляющие. Интергармоники с частотой, меньшей основной частоты сети, называются субгармоники.

Эффекты присутствия интергармоник могут быть следующие:

- рост потерь в механических двигателях, повышение температуры; в частности, вредны субгармоники, поскольку потери мощности возрастают с уменьшением частоты,
- мерцание света; в этом случае также особенно неприятны субгармоники. Например, субгармоника с частотой 8,8Гц приводит к модуляции напряжения сети в диапазоне, в котором человеческий глаз наиболее чувствителен к этому явлению (смотри также главу **Ошибка! Источник ссылки не найден.**),
- низкочастотные колебания в механических системах,
- помехи в работе систем управления и безопасности,
- помехи в телекоммуникациях и акустические,
- магнитное насыщение сердечника от субгармоник (трансформаторы, электродвигатели и т.д.).

Взаимодействие высших гармоник и интергармоник также может привести к нежелательным явлениям, таким как биения на низких частотах. Например, 9-я гармоника (450Гц) вместе с интергармоникой частоты 460Гц приводит к возникновению эффекта биения частотой 10 Гц, несмотря на то, что в частотном спектре нет составляющей этой частоты. Человеческий глаз очень чувствителен в этом диапазоне и такое взаимодействие приводит к значительному эффекту мерцания света. Форма напряжения 230В/50Гц в этой ситуации показана на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** (установлен гораздо больший уровень интергармоники чем обычно, чтобы показать эффект на рисунке).

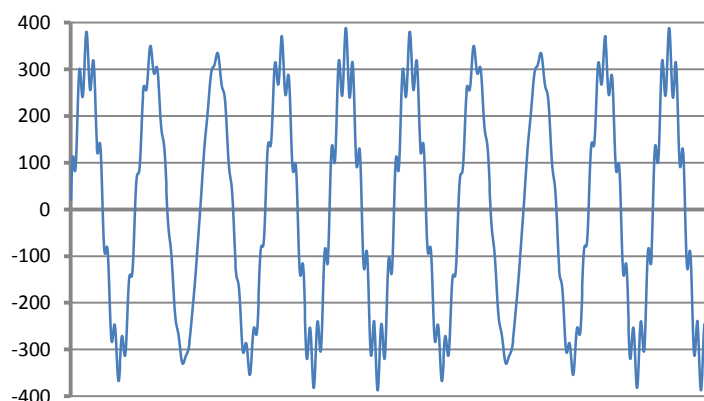


Рис. 45. Эффект взаимодействия 9-й гармоники (450Гц, 10%  $U_{ном}$ ) и интергармоники 460Гц (10%  $U_{ном}$ ). Видимые изменения формы напряжения с частотой 10Гц, которые могут создать эффект мерцания света ( $U_{ном} = 230В\ RMS, 50Гц$ ).

### 5.5.1 Коэффициент интергармонических искажений (TID)

Общей мерой присутствия интергармоник в сигнале является коэффициент содержания интергармоник, который определяется как:

$$\frac{\sum_{h=2}^n A_{ih}^2}{A_1^2} \quad \text{или} \quad \frac{\sum_{h=2}^n A_{ih}^2}{A_{RMS}^2}$$

где:  $TID_F$  – коэффициент содержания интергармоник по отношению к основной составляющей,  
 $TID_R$  – коэффициент содержания интергармоник по отношению к действующему значению RMS,  
 $A_{ih}$  – действующее значение интергармоники  $ih$ -го ряда (подгруппы интергармоник),  
 $A_1$  – действующее значение основной составляющей,  
 $A_{RMS}$  – действующее значение сигнала,  
 $n$  – в случае с PQM-702T и PQM-703 равно 50.

TID является отношением действующего значения всех интергармоник к основной составляющей (для  $TID_F$ ) или к действующему значению RMS (для  $TID_R$ ).

Приемлемый уровень помех интергармоник в напряжении – это вопрос дискуссий в кругах, связанных с качеством электроэнергии. Некоторые источники утверждают, что суммарный коэффициент интергармонических искажений по напряжению не должен превышать 0,2%.

### 5.6 Сигналы управления

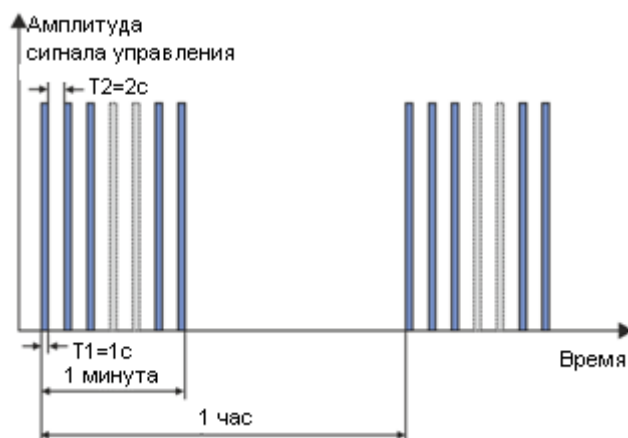
Управляющими сигналами (англ. *mains signalling*) называются сигналы, которые вводятся в электрическую цепь для дистанционного управления и контроля над устройствами, подключенными к той же сети. Таким образом, распределительная сеть кроме передачи электроэнергии, в данном случае используется в качестве среды передачи для связи между устройствами. В стандарте EN 50160 различают три типа сигналов:

- сигналы низкой частоты от 110 до 3000 Гц, называемые по-английски *ripple control signals* (дословно: пульсирующие управляющие сигналы),
- сигналы, использующих несущую частоту, англ. *Power Line Carrier Communication, PLCC*, диапазон частот от 3 до 148,5 кГц,
- маркерные сигналы (англ. *marking signals*), короткие транзиенты, наложенные в определенной точке на сигнал напряжения.

Поскольку введение таких сигналов в сеть электропитания может иметь негативные последствия для некоторых устройств, подобно влиянию, которое оказывают гармоники или интергармоники, то стандарт EN 50160 устанавливает лимиты на 3-х секундные средние значения для таких сигналов, как показано на Рис. . За время измерения, 99% средних 3-х секундных значений сигналов управления должны быть ниже указанного лимита.

Сигналы низкой частоты (до 3 кГц) используются для включения и выключения нагрузки, фильтров, устройств безопасности. Одним из применений является управление уличным освещением или дистанционное управление отопительными устройствами и кондиционерами, используемое в некоторых странах. Часто сигналы этого типа используются при обслуживании клиентов с двумя тарифами (например, при более дешевом ночном тарифе поставщик энергии автоматически отключает определенную нагрузку). Этот тип связи обычно однонаправленный. Из-за характера затухания в распределительной сети, которое увеличивается с ростом частоты, связь по этому методу позволяет получить большую дальности передачи (даже сотни километров). В процессе передачи

управляющий сигнал отправляется несколькими пакетами и повторяется через определенное время. Само время, в течение которого сигнал активен, может быть очень продолжительным, например, 2 секунды сигнал включен, 2 секунды – выключен и несколько раз повторяться. Известны случаи, когда такой тип передачи приводил к появлению нежелательного эффекта мерцания света. Пример передачи сигнала такого типа показан на Рис. .



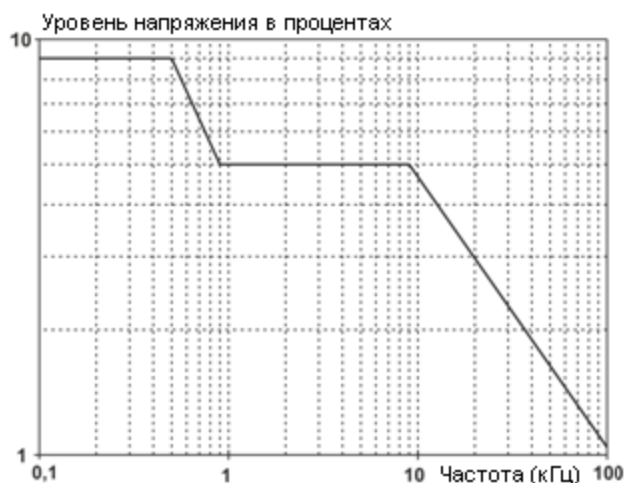
**Рис. 46. Пример передачи управляющего сигнала низкой частоты.**

Более высокие частоты передачи (следовательно, также более высокие скорости передачи) являются областью связи типа PLCC. Этот тип связи использует амплитудную или частотную модуляцию несущей (возможно, и другие методы модуляции). В современных методах применяются сложные алгоритмы обработки сигналов, для получения наибольшей помехоустойчивости и скорости передачи данных. Передача сигнала типа PLCC все время приобретает популярность, увеличивая область своего применения. Связь между точками сети может быть двусторонней. Концепция интеллектуальной сети, т.н. *smart grid*, широко использует PLCC, которая является одним из основных методов связи между счетчиками электроэнергии и координационным центром. Основные области применения – это телеметрия, оптимизация потребления электроэнергии, дистанционное управление нагрузкой. Затухание в распределительной сети ограничивает максимальную дальность передачи. Максимальная дальность может составлять несколько километров, причем существует сильная зависимость между типом модуляции, скоростью передачи данных и достигаемой дальностью.

Одновременно ведутся работы по стандартизации использования более высоких диапазонов частот (свыше 148,5 кГц и до нескольких десятков МГц) для передачи данных на короткие дистанции.

В сетях со значительным содержанием гармоник, где для снижения уровня помех применяются дополнительные фильтры, вследствие их использования может возникнуть дополнительное затухание в диапазоне частот, используемых для нужд сигнализации. Как наличие фильтров, так и высокий уровень гармонических и интергармонических искажений, значительно ограничивают возможность эффективного использования распределительной сети для связи низкочастотным методом или PLCC.





**Рис. 47. Допустимые уровни управляющих сигналов, содержащиеся в стандарте EN 50160.**

Стандарт PN-EN 61000-4-30 дает следующий метод измерения сигналов управления:

- если частота сигнала управления кратна 5 Гц (то есть, совпадает с выходной полоской частотного анализа по быстрого преобразования Фурье), тогда следует учитывать только одну эту полоску и ее действующее значение,
- если частота сигнала управления не кратна 5 Гц, то рассчитываются действующие значения четырех полосок по быстрому преобразованию Фурье, наиболее близких этой частоте.

## 5.7 Асимметрия

Асимметрия является понятием, связанным с трехфазными сетями и может относиться к:

- асимметрии напряжений питания,
- асимметрии токов нагрузки,
- асимметрии приемника.

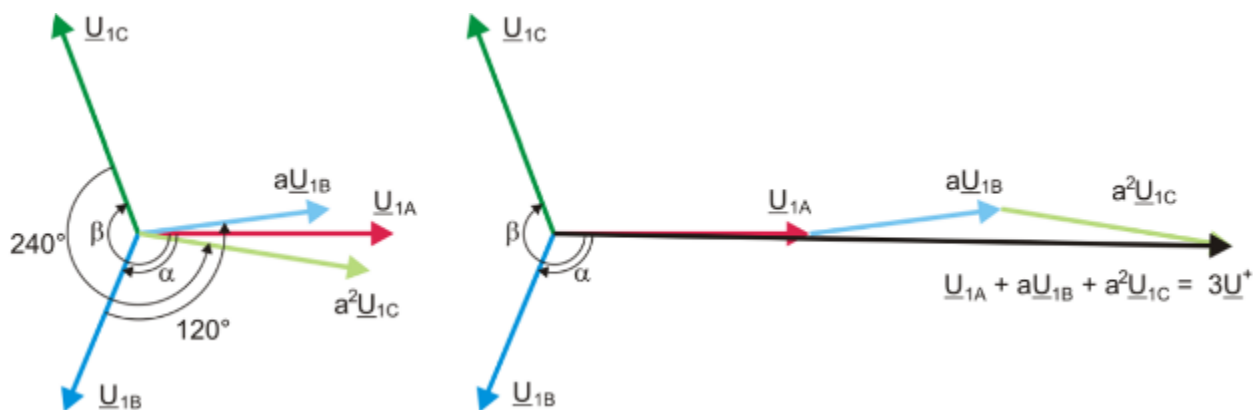
Асимметрия напряжений (токов) происходит в трехфазных сетях, когда значения трех составляющих напряжений (токов) различаются между собой и/или углы между отдельными фазами отличаются от  $120^\circ$ .

Асимметрия приемника возникает тогда, когда импедансы в отдельных ветвях приемника не равны между собой.

Эти явления особенно вредны для трехфазных двигателей, в которых даже небольшая асимметрия напряжения может привести к многократно большей асимметрии токов. В таких условиях крутящий момент двигателя уменьшается, и появляются увеличенные потери тепла в обмотках и механический износ. Асимметрия также негативно отражается на силовых трансформаторах.

Наиболее распространенным источником асимметрии является неравномерность нагрузки отдельных фаз. Хорошим примером является подключение к сети трехфазного переменного тока однофазных нагрузок, таких, как железнодорожные тяговые двигатели.

Анализатор позволяет измерять асимметрии напряжений и токов методом симметричных составляющих. Этот метод основан на предположении, что каждый набор в составе трех неуравновешенных векторов, можно разложить на сумму трех групп векторов: прямой, обратной и нулевой последовательности.



**Рис. 48. Пример определения симметричной составляющей прямой последовательности**

В качестве примера представлен способ расчета напряжения составляющей прямой последовательности. По определению:

где:  $\underline{U}^+$  – является вектором прямой последовательности,

$\underline{U}_{1A}$ ,  $\underline{U}_{1B}$ ,  $\underline{U}_{1C}$  являются векторами основных составляющих фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ,

На Рис. 98 представлен графический способ определения этой составляющей. Как видно из данного определения, вектор соответствующей составляющей равен одной трети суммы компонентов:  $\underline{U}_{1A}$ ,  $a\underline{U}_{1B}$ ,  $a^2\underline{U}_{1C}$ . Параметр  $a$  и  $a^2$  – это единичные векторы с углами  $120^\circ$  и  $240^\circ$ . Процедура следующая: вектор напряжения  $\underline{U}_{1B}$  нужно повернуть на угол  $120^\circ$  против часовой стрелки (умножение на  $a$ ) и добавить к вектору  $\underline{U}_{1A}$ . Затем вектор  $\underline{U}_{1C}$  нужно повернуть на угол  $240^\circ$  и добавить к предыдущей сумме векторов. В результате получится вектор  $3\underline{U}^+$ . Вектор  $\underline{U}^+$  является искомой симметричной составляющей прямой последовательности. Отметим, что в случае идеальной симметрии (равные напряжения и углы) составляющие прямой последовательности будут равны по величине фазным напряжениям.

Аналогично, обратная составляющая является мерой подобия симметричного набора трехфазных векторов обратной последовательности.

Нулевая последовательность существует в системах, в которых сумма трех напряжений (или токов) не равна нулю.

Широко используемой в энергетике величинами, характеризующими асимметрию сети, являются коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательности (формулы для напряжения):

где:  $u_0$  – коэффициент несимметрии по нулевой последовательности,

$u_2$  – коэффициент несимметрии по обратной последовательности,

$U_0$  – нулевая симметричная составляющая,

$U_1$  – прямая симметричная составляющая,

$U_2$  – обратная симметричная составляющая.

Наиболее удобный метод для расчета симметрических составляющих и коэффициентов несимметрии – это использование в расчетах комплексных чисел. Параметрами векторов являются амплитуда основной гармоники напряжения (тока) и ее абсолютный угол фазового сдвига. Оба эти значения получаются из быстрого преобразования Фурье (FFT).

## 5.8 Провалы, перенапряжения и прерывания напряжения

Провалы, перенапряжения и прерывания напряжения являются нарушениями в сети, в течение которых действующее значение напряжения значительно отличается от номинального значения. Каждое из этих трех состояний может быть обнаружено анализатором после включения обнаружения событий и определения пользователем значения порогов.

Провал напряжения – это состояние, в котором действующее значение напряжения ниже заданного порога провала. Основой измерения провала является значение  $U_{RMS(1/2)}$ , то есть действующее значение, периодически обновляемое каждую половину периода.

Определение провала (ГОСТ 30804.4.30-2013): провал напряжения начинается в тот момент, когда напряжение  $U_{RMS(1/2)}$  уменьшится ниже порогового значения провала, и заканчивается в тот момент, когда значение напряжения  $U_{RMS(1/2)}$  станет равным или превысит порог провала с гистерезисом напряжения.

Как правило, порог провала устанавливают на уровне 90%  $U_{nom}$ . Во время провала анализатор записывает минимальное зарегистрированное значение напряжения (эта величина называется остаточным напряжением  $U_{res}$  и является одним из параметров, характеризующих провал) и среднее значение напряжения.

Прерывание питания – это состояние, в котором напряжение  $U_{RMS(1/2)}$  ниже установленного порога прерывания. Как правило, порог прерывания устанавливается значительно ниже порога провала, на уровне около 1..10%  $U_{nom}$ .

Прерывание начинается в тот момент, когда напряжение  $U_{RMS(1/2)}$  уменьшится ниже порогового значения прерывания и заканчивается в тот момент, когда значение напряжения  $U_{RMS(1/2)}$  станет равным или превысит порог прерывания с гистерезисом напряжения.

Во время прерывания анализатор сохраняет минимальное зарегистрированное значение напряжения и среднее значение напряжения.

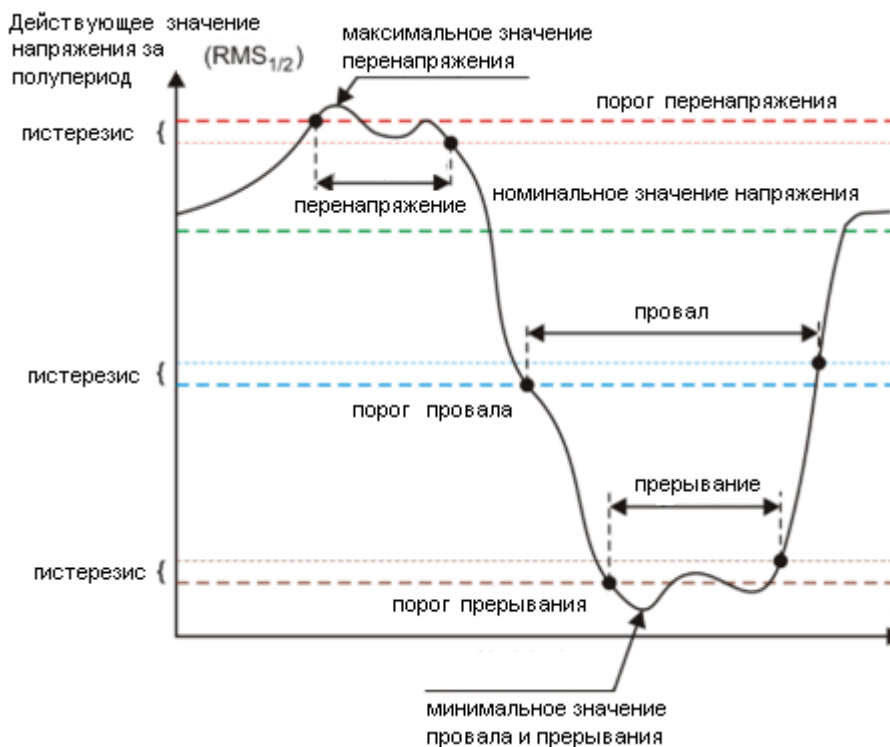


Рис. 49. Перенапряжения, провалы и прерывания напряжения.

Перенапряжение – это состояние повышенного значения напряжения. Порог напряжения, как правило, устанавливается на уровне, близком к 110%  $U_{ном}$ .

Превышение напряжения начинается в тот момент, когда напряжение  $U_{RMS(1/2)}$  превысит значение порога перенапряжения, а заканчивается в тот момент, когда значение напряжения  $U_{RMS(1/2)}$  станет равным или меньше порога перенапряжения уменьшенного на гистерезис напряжения.

Во время перенапряжения анализатор сохраняет максимальное зарегистрированное значение напряжения, а также среднее значение напряжения.

Значение гистерезиса для этих трех состояний то же самое и выражается, как установленное пользователем значение в процентах от номинального напряжения (параметр **Гистерезис обнаружения событий**).

Анализатор фиксирует время начала и окончания события (с точностью до половины периода).

Минимальная продолжительность события провала, прерывания и перенапряжения составляет половину периода.

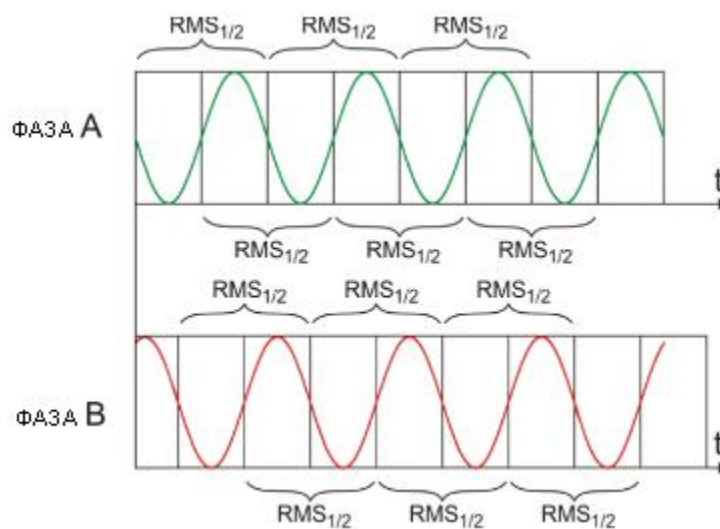


Рис. 50. Определение значения  $U_{RMS(1/2)}$

Значения  $U_{RMS(1/2)}$  определяются в течение 1 периода в момент перехода через ноль основной гармоники напряжения и обновляются каждые полпериода независимо для каждого канала напряжения. Это означает, что эти значения были получены в разное время для разных каналов. Рис. 50 иллюстрирует метод определения значения  $RMS_{1/2}$  на примере двух фаз напряжения. Информация о переходе через ноль основной гармоники получена путем быстрого преобразования Фурье (FFT).

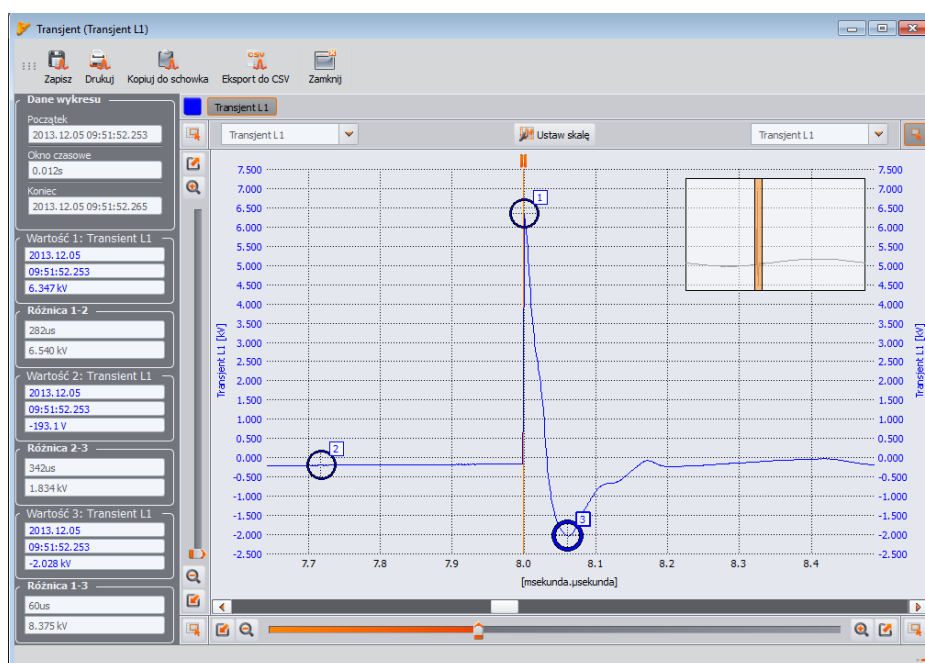
## 5.9 Транзиенты и скачки напряжения

Транзиенты – это нежелательные быстрые и кратковременные помехи в электрической сети. Их сопровождает резкое изменение напряжения и силы тока. Длительность помехи, как правило, составляет от нескольких наносекунд до нескольких миллисекунд. Часто для них используют термины, такие как всплески, пики напряжения, броски, импульсы, колебания, однако все это упрощающие определения. Транзиент характеризует искажение сигнала во временной области и в качестве такового включает в себя смысл всех перечисленных определений. Их можно классифицировать по длительности и скорости нарастания, амплитуде, частотному спектру, передаваемой энергии, источнику происхождения и т.д. Наиболее опасные для электрических устройств – это транзиенты, вызывающие значительный рост напряжения в линии электропитания (скачки напряжения). По источнику происхождения транзиенты часто делят на следующие группы:

- перенапряжения от молнии, возникающие в результате атмосферных разрядов,

- перенапряжения колебательного характера, чаще всего вызванные переключением батареи конденсаторов,
- другие коммутационные перенапряжения (в том числе феррорезонанс).

Перенапряжения, вызванные атмосферными разрядами, могут иметь разрушительные последствия из-за очень большой энергии, высвобождаемой при разряде. Большинство наблюдаемых в сетях перенапряжений такого типа – это последствия индуцированного в проводах сети электропитания скачка напряжения в результате близкого, но не прямого попадания молнии. В окрестностях удара создается очень сильное электромагнитное поле и в длинной воздушной линии или подземном кабеле наводятся большие напряжения, проникающие в распределительную сеть. Эти перенапряжения имеют импульсный характер, а время нарастания фронта импульса порядка микросекунд. На Рис. показан пример грозового импульса с амплитудой около 6,6 кВ, зарегистрированного анализатором PQM-703.

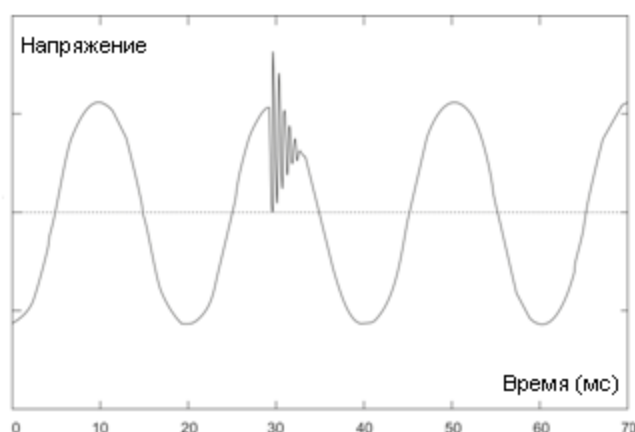


**Рис. 51. Пример скачка напряжения от молнии.**

В рамках испытаний телекоммуникационных устройств, прежде чем допустить их к продаже, требуется проведение тестов на устойчивость к импульсам, имитирующим перенапряжение от молнии. Присоединители питания переменного тока испытывают импульсами  $\pm 2$  кВ, подаваемыми между линией питания и заземлением и  $\pm 1$  кВ непосредственно между питающими линиями. Стандартизированный импульс имеет время нарастания напряжения 1,2 мкс и время спада 50 мкс. Для измерительных приборов, которые можно подключить напрямую к электрической сети в распределительном щите или понижающем трансформаторе, определяют измерительную категорию (по перенапряжению) прибора, которая говорит о степени защиты от перенапряжения. Например, для измерительной категории IV 600 В (такой, какую имеют анализаторы PQM-702T), требуется устойчивость к импульсам 1,2 мкс/50 мкс с амплитудой 8 кВ, подаваемым непосредственно между измерительными зажимами, при импедансе источника 2 Ом. Пиковый ток при коротком замыкании источника, таким образом, может составить 4 кА.

Основным средством защиты от такого рода скачков напряжения, является установка элементов, ограничивающих максимальное напряжение, таких как разрядники и варисторы. Их конструкция должна выдержать энергию импульса и ограничить до безопасного уровня напряжение, поступающее на дальнейшие цепи устройства.

Транзиенты, вызванные переключением компенсационных конденсаторов, в отличие от транзиентов вызванных ударом молнии, имеют свой источник внутри распределительной электрической сети. Компенсация применяется для повышения коэффициента мощности и эффективности передачи энергии получателю. В момент подключения конденсатор эквивалентен короткому замыканию для электросети, поэтому в первое мгновение происходит резкое снижение напряжения почти до нуля, после чего следует так называемый скачок напряжения значительно выше номинального (как правило, не более чем 2-х кратное пиковое напряжение в нормальных условиях), а затем колебательное затухание процесса. Колебательный характер явления вызван взаимодействием емкости конденсатора с индуктивностью сети и возникновением явления резонанса. Частота колебаний обычно составляет несколько сотен Герц. В результате имеющегося сопротивления в цепи, эти колебания постепенно затухают. Весь транзистент обычно длится не более чем несколько единиц или несколько десятков миллисекунд. Пример такого транзистента показан на Рис. .



**Рис. 52. Пример транзистента после включения батареи конденсаторов.**

Помимо перечисленных причин, транзиенты возникают в сети в результате включения и выключения емкостной или индуктивной нагрузки, при срабатывании защиты (предохранителей) и коротком замыкании в цепи. Включение нагрузки (линии), подключенной к обмотке трансформатора, часто приводит к появлению феррорезонанса или переходного процесса колебательного характера, вызванного резонансом между емкостью в цепи и нелинейной индуктивностью трансформатора с ферромагнитным сердечником. Отключению индуктивной нагрузки часто сопутствует явление искрения контактов. Напряжение, появляющееся на контактах переключателя, превышает предельное напряжение диэлектрика и возникает искрение, которое может повторяться до тех пор, пока зазор достаточно велик.

Также транзиенты могут различными способами распространяться между сегментами сети, например, удар молнии в сети среднего напряжения может частично проникнуть через трансформатор в подсеть низкого напряжения. Демпфирующие свойства трансформатора обычно значительно уменьшают амплитуду перенапряжения, а также изменяют его временные параметры.

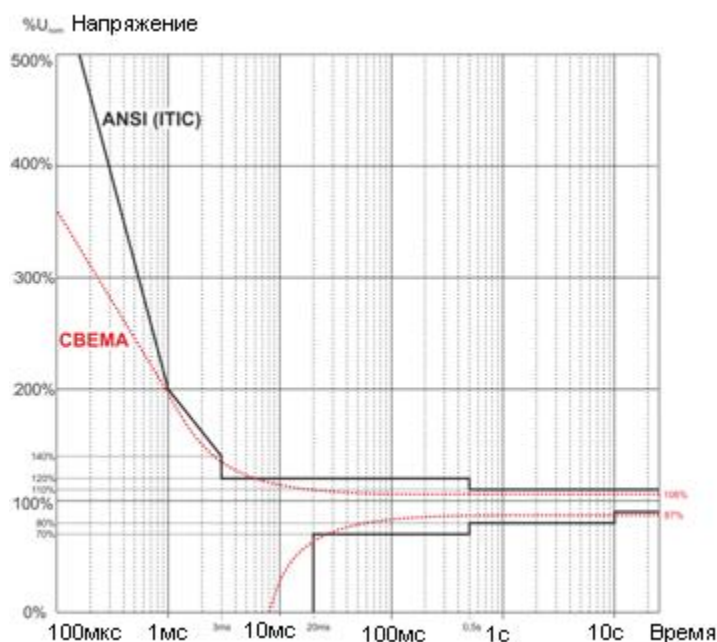
## 5.10 Линии CBEMA и ANSI

Кривая CBEMA была впервые предложена в 70-х годах прошлого века организацией, от которой произошло название кривой - *Computer and Business Equipment Manufacturers Association* (сегодня – это организация ITI, *Information Technology Industry*), которая объединяет производителей компьютерной и офисной техники. Кривая должна была служить подсказкой при конструировании сетевых блоков питания и первоначально представляла собой график устойчивости оборудования к величине и продолжительности нарушений в электрической сети. В более поздний период кривую использовали



при проектировании оборудования, чувствительного к колебаниям напряжения, как эталонный диапазон, в котором оборудование должно правильно работать. В конце концов, кривая стала широко использоваться при анализе качества питания, касающихся неполадок в сети типа перенапряжения, провала и прерывания напряжения.

На графике по вертикальной оси напряжение указано в процентах от номинального значения, а на горизонтальной оси единицей измерения является время (по логарифмической шкале). Средняя часть графика (между кривыми) представляет собой область правильной работы устройства. Область выше кривой указывает на состояние повышенного напряжения, которое может привести к повреждению или срабатыванию защиты от перенапряжения, а область под кривыми соответствует ситуации пониженного напряжения в сети, что может привести к выключению питания или временной нехватке энергии, вызывающей неправильную работу устройства.



**Рис. 53. Линии допустимого диапазона напряжения питания ANSI (ITIC) и CBEMA.**

Как показано на графике, существует взаимозависимость между значением напряжения и временем, на которое возникает нарушение. Например, увеличение напряжения до уровня  $200\%U_{ном}$  продолжительностью 1 мс в типичных случаях не приводит к аварии или неправильному функционированию (точка между кривыми), но нарушение с такой амплитудой, длящееся полпериода сети может иметь катастрофические последствия (точка выше обеих кривых). Принято считать, что в типичной ситуации, происходящие в электрической сети события, если речь идет о величине сетевого напряжения, должны заключаться в средней части графика (между кривыми) и не должны тогда привести к сбоям в работе или повреждению подключенных устройств. Производители устройств (в частности, сетевых блоков питания) часто руководствуются этим графиком при проектировании, для того, чтобы в этой области обеспечить их безаварийную работу и поддержание нужного выходного напряжения. Следует, однако, помнить, что кривая представляет типичные случаи и не может быть гарантией правильной работы каждого устройства, поскольку устойчивость к нарушениям различная.

Кривая ITIC является преемником кривой CBEMA, разработанной ITI в 1994 году, а потом усовершенствованной до нынешнего вида в 2000 году. Эта кривая имеет вид двух ломаных линий и также известна под названием кривой ANSI, после того, как была адаптирована американским институтом стандартизации ANSI (англ. *American National Standards Institute*). Обе кривые изображены на **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Программа Sonel Analiza предоставляет возможность изменить характерные точки кривых и позволяет соответствовать индивидуальным требованиям пользователя.

## 5.11 Усреднение результатов измерений

Мониторинг сети в течение длительного периода времени означает сбор огромного количества данных. Для того, чтобы проведение последующего анализа этих данных вообще было возможно, необходимо введение механизма, который уменьшит размер данных до величины, приемлемой как для машины, так и человека.

Примером пусть послужит проверка сети на соответствие стандарту качества электроэнергии ГОСТ 32144-2013 (EN 50160). Основным периодом тестирования сети составляет неделю. Если запоминать все 200-миллисекундные действующие значения напряжения, получим 3,024 млн. измерений. Обработка такого количества данных может занять много времени и затруднительна.

Поэтому введено понятие усреднения, заключающееся в сохранении для целей анализа по одному значению на определенный интервал времени. Для стандарта ГОСТ 32144-2013 (EN 50160) он составляет 10 минут. В этом случае анализатор вычисляет среднее 10-минутное значение по примерно 3000 значений 200-миллисекундных отсчетов (приблизительно, так как условное 200-миллисекундное значение, это на самом деле 10/12-периодное значение, синхронизированное с частотой сети). Каждые 10 минут записывается следующее среднее значение напряжения, что приводит к сбору „только” 1008 результатов измерений.

На Рис. 54 показан способ определения анализатором средних значений за время усреднения большее или равное 10 секундам, на примере интервала усреднения 10 минут. Этот метод соответствует требованиям для класса А стандарта ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30:2011).

Средние значения синхронизируются с часами реального времени следующим образом. Когда часы отмерят очередной общий кратный периоду интервал усреднения, происходят два процесса:

- текущий 10/12-периодный отрезок ( $k$ -е измерение на **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) отмечается как последний в интервале усреднения ( $x$ ),
- одновременно запускается первый 10/12-периодный отрезок следующего интервала усреднения ( $x+1$ ).

Такой метод ресинхронизации приводит к появлению *Наложения 1* (смотри Рис. 54). Данные из этой области, обрабатываются дважды, потому что каждый из 10/12-периодных отрезков анализируется независимо. Цель такого способа ресинхронизации заключается в обеспечении одинаковых результатов измерений для двух анализатора класса А, подключенных к одной и той же цепи и синхронизированных с универсальным временем UTC. В анализаторе ресинхронизация интервалов по описанному выше способу выполняется для времени усреднения: 10 секунд, 15 секунд, 30 секунд, 1 минута, 3 минуты, 5 минут, 10 минут, 15 минут, 30 минут, 60 минут, 120 минут.

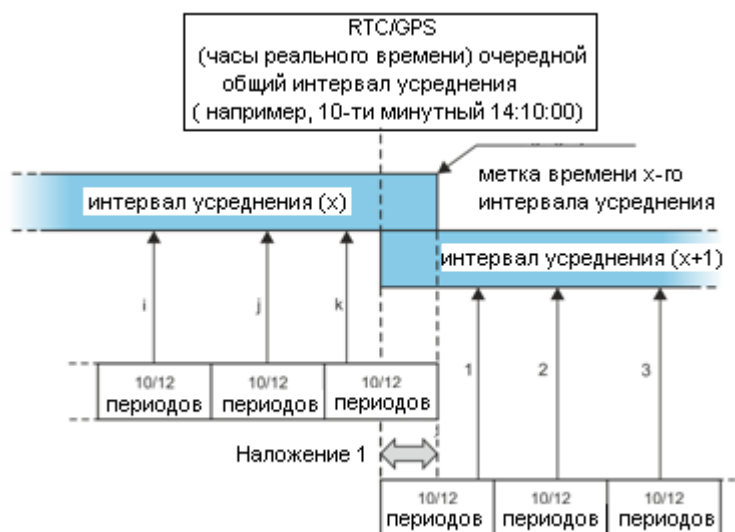
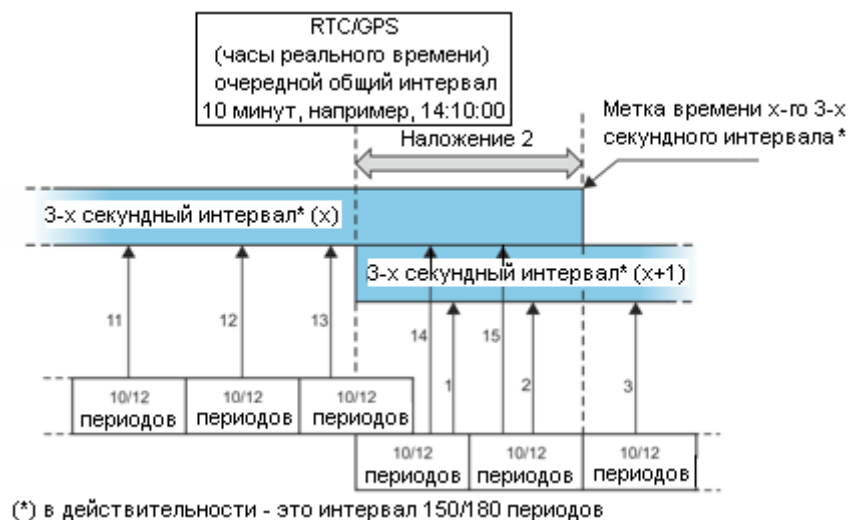


Рис. 54. Определение интервалов усреднения больших (или равных) 10 секундам (на примере усреднения по 10 минут)





**Рис. 55. Определение интервалов усреднения менее 10 секунд  
(на примере 3-секундного усреднения)**

Несколько иначе выглядит усреднение при времени меньше 10 секунд. Несмотря на то, что все интервалы выражены единицами времени (200 мс, 1 с, 3 с, 5 с), на самом деле, они отмерены в кратностях периода сети. Например, выбор времени усреднения 3 секунды, означает усреднение по времени 150/180 периодов сети (15 измерений по 10/12 периодов).

Способ определения среднего значения для этих периодов иллюстрирует Рис. 55. Здесь также выполняется ресинхронизация интервалов 10/12-периодов, она выполняется всегда через каждые 10 минут по общему времени часов. Когда часы отмеряют очередное общее время, кратное периоду 10 минут, ресинхронизируется очередной интервал усреднения и начинается следующий интервал, причем интервал усреднения (x) завершается нормально, пока не наберется определенное множество отрезков 10/12-периодов (например, в случае 3-секундного усреднения всегда собирается 15 таких отрезков). Результатом ресинхронизации является появление *Наложения 2* (смотри **Ошибка! Источник ссылки не найден.**), где параллельно обрабатываются данные двух интервалов усреднения (интервал (x) заканчивается, интервал (x+1) начинается). Размер наложения зависит от колебаний частоты сети.

Метка времени соответствует окончанию интервала усреднения.

Усреднение результатов измерений приводит к потере экстремальных значений (сглаживание результатов). В случаях, когда важна информация о предельных значениях измеряемого параметра, пользователь может применить возможность измерения минимального, максимального и мгновенного значений в периоде усреднения. Если данный параметр измерен во время 10/12 периодов, то максимальное и минимальное значение является соответственно наибольшим и наименьшим значением отрезка 10/12-периодов, измеренным в данном интервале усреднения. В свою очередь, мгновенное значение является последним значением 10/12-периодов в данный период усреднения.

В случае действующих значений токов и напряжений, метод поиска минимального и максимального значений является более гибким и контролируется параметром **Период определения мин./макс.** В распоряжении пользователя имеются следующие настройки: половина периода, 200 мс, 1 с, 3 с и 5 с. Выбор параметра - половина периода - задает поиск минимального и максимального значения с наивысшей чувствительностью, с точностью до величины  $U_{RMS(1/2)}$ . С ростом этого времени вводится дополнительное сглаживание, например, при 5-ти секундах сначала вычисляется средняя 5-секундная величина, которая затем используется для поиска минимального и максимального значения. Это дает меньшую чувствительность к мгновенным изменениям измеряемого значения.

Примечание: как и в случае с периодами усреднения меньше 10 секунд, интервалы 200 мс, 1 с, 3 с и 5 с в действительности выражены в кратностях периодов сети – соответственно 10/12, 50/60, 150/180 и 250/300 периодов сети.

Выбор правильного времени усреднения, не является простым делом. В значительной степени он обусловлен типом нарушений, присутствующих в сети и ожиданиями пользователя по окончательному анализу данных. Часто возникает ситуация, когда известен единственно сам факт появления некоторых неполадок в сети электропитания и только измерения анализатора помогут указать точную причину. В такой ситуации лучше использовать более короткое время усреднения (например, 10 секунд), и включить запись минимального и максимального значений (для напряжений и токов в такой ситуации рекомендуется выбрать периодом определения минимального и максимального значения самый короткий возможный срок, то есть, половину периода). Короткое время усреднения позволит построить точные графики изменений параметров во времени, а минимумы и максимумы будут обнаружены и сохранены. Как правило, регистрация с коротким временем усреднения выполняется довольно ограниченное время, прежде всего из-за быстрого роста числа данных; поскольку целью такой регистрации, является выявление возможных причин аномалии, а не долгосрочный анализ.

Регистрации с коротким временем усреднения может быть достаточно для оценки работы сети и происходящих в ней нарушениях. Тем не менее, подробную информацию, вероятно, можно будет получить в течение длительного времени (порядка минут), но с включенной регистрацией минимального и максимального значения и активным выявлением событий. Важным преимуществом такой ситуации является гораздо меньший объем данных регистрации, что означает быстрое считывание и анализ данных.

В свою очередь, исследование качества питания принято выполнять в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 32144-2013 (PN-EN 50160). В этом случае анализ проводится в течение более продолжительного времени (например, 7 дней), поэтому выбранное время усреднения также длительное – 10 минут.

Имейте в виду, что не существует одной наилучшей настройки, как времени усреднения, так и других параметров или порогов событий. Каждая сеть индивидуальна и задачи исследования сетей различные. В связи с этим оптимальная конфигурация анализатора может потребовать нескольких подходов, и также будет зависеть от опыта оператора.

## 6 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Технические характеристики могут быть изменены изготовителем без предварительного уведомления. Последние выпуски технической документации доступны на странице [www.sonel.pl](http://www.sonel.pl).
- Основная погрешность является основной погрешностью измерительного прибора для условий, приведенных в Таблице 16.
- Указанные значения погрешностей применимы только к анализатору без дополнительных трансформаторов и токоизмерительных клещей.
- Сокращения:
  - и.в. – измеренная величина,
  - е.м.р – единиц младшего разряда,
  - $U_{nom}$  – номинальная величина напряжения,
  - $I_{nom}$  – диапазон номинального тока (клещей),
  - RMS – действующее (среднеквадратичное) значение,
  - $n$  – ряд гармоник,
  - $\delta_{ph}$  – дополнительная погрешность измерения фазы между гармониками напряжения и тока

## 6.1 Входы

Таблица 14.

Входы по напряжению	
Количество входов	5 (L1, L2, L3, N, PE – 4 измерительных канала) гальванически не изолированные
Максимальное входное напряжение	760 Вольт <sub>RMS</sub>
Пиковое значение входного напряжения (без срезки)	1500 В (высоковольтный диапазон) 450 В (низковольтный диапазон)
Диапазон измерения постоянного напряжения	±1500 В (высоковольтный диапазон) ±450 В (низковольтный диапазон)
Аналоговая полоса пропускания (– 3дБ)	20 кГц
Трансформаторы	по решению пользователя
Полное входное сопротивление (импеданс) измерительных входов	10МОм (дифференциально)
Коэффициент ослабления синфазного сигнала (англ. CMRR)	>70 дБ (50Гц)
Токовые входы	
Количество входов	4 (3 фазы + нейтраль) гальванически не изолированные
Номинальное входное напряжение (жесткие клещи)	1 Вольт <sub>RMS</sub>
Пиковое значение входного напряжения (жесткие клещи)	3,6 В
Аналоговая полоса пропускания (– 3дБ)	20 кГц
Полное входное сопротивление	Канал жестких клещей: 100 кОм Канал гибких клещей: 12,4 кОм
Диапазон измерения (без трансформаторов)	Гибкие клещи F-1/F-2/F-3: 1..3000А (10000А пиковое значение, 50 Гц) Клещи жесткие С-4, С-5: 1..1000А (3600 А пиковое значение) Клещи жесткие С-6: 0,01..10А (36А пиковое значение) Клещи жесткие С-7: 0..100А (360А пиковое значение)
Трансформаторы	по решению пользователя
Коэффициент ослабления синфазного сигнала (англ. CMRR)	60 дБ (50Гц)

## 6.2 Дискретизация и часы реального времени RTC

Таблица 15

Дискретизация и часы реального времени RTC	
АЦП (аналогово-цифровой преобразователь)	16-битный
Частота дискретизации	10,24 кГц для 50 Гц и 60 Гц Одновременная дискретизация по всем каналам
Количество отсчетов за период	204,8 для 50 Гц; 170,67 для 60 Гц
Синхронизация ФАПЧ (PLL)	40..70 Гц
Опорный канал для системы ФАПЧ	L1
Часы реального времени	± 3,5 пропромилле макс. (около ± 9 секунд/месяц) в диапазоне температур -20°С...+55°С

## 6.3 Модуль транзиентов **PQM-703** **PQM-711**

Таблица 16

Модуль обнаружения транзиентов	
Количество измерительных каналов	4 (L1-PE, L2-PE, L3-PE, N-PE) гальванически не изолированные
Максимальное входное напряжение	760 V <sub>RMS</sub>
Пиковое значение входного напряжения (без срезки)	8000 В
Диапазон измерения постоянных напряжений	±6000 В
Аналоговая полоса пропускания (– 3дБ)	>5 МГц
Аналогово-цифровой преобразователь	4-х канальный, 12-битный, одновременная дискретизация по всем каналам
Частота дискретизации	10 МГц, 5 МГц, 1 МГц, 500 кГц, 100 кГц (выбирает пользователь)
Время записи осциллограмм	от 2000 до 20000 отсчетов (от 200 мкс до 200 мс в зависимости от конфигурации)
Время опережения (pretrigger)	от 10% до 90% времени записи
Метод обнаружения	– по амплитуде сигнала (50 В...5000 В) – по скорости возрастания (dV/dt; от 100 В/500 мкс до 100 В/5 мкс)
«Мертвое» время	3 с

## 6.4 Измеряемые параметры – точности, разрешения и диапазоны

### 6.4.1 Условия для поверки

Таблица 17. Условия для поверки.

Условия для поверки	
Температура окружающей среды	0°C...+45°C
Относительная влажность	40...60%
Асимметрия напряжения	≤ 0,1% для коэффициента несимметрии по обратной последовательности (относится только к трехфазным сетям)
Внешнее магнитное поле	≤ 40А/м (постоянное) ≤ 3А/м (переменное) для частоты 50/60Гц
Постоянная составляющая напряжения и тока	нулевая
Форма сигнала	синусоидальный
Частота	50 Гц ±0,2% или 60 Гц ±0,2%

### 6.4.2 Погрешность измерения в зависимости от температуры окружающей среды

Основная погрешность, указанная в технических данных, гарантирована в диапазоне температур окружающей среды 0°C...+45°C. За пределами этого диапазона необходимо использовать дополнительный множитель (M), который увеличивает указанную основную погрешность до фактической погрешности измерения. Рис. показывает график множителя M в зависимости от температуры окружающей среды, в диапазоне номинальных рабочих температур. Множитель принимает значение 1,0 в диапазоне температур 0°C...+45°C. Выше +45°C и до +55°C множитель увеличивается линейно до значения 2,0. Ниже температуры 0°C (до -20°C) множитель линейно увеличивается до величины 1,8.

Пример: Основная погрешность измерения напряжения RMS составляет ±0,1% U<sub>ном</sub> в диапазоне температур 0°C...+45°C.

- при -20°C погрешность измерения составит ±0,18% U<sub>ном</sub> (множитель 1,8)

- при  $-10^{\circ}\text{C}$  погрешность измерения составит  $\pm 0,14\% U_{\text{ном}}$  (множитель 1,4)
- при  $0^{\circ}\text{C}$  погрешность измерения составит  $\pm 0,1\% U_{\text{ном}}$  (множитель 1,0)
- при  $+45^{\circ}\text{C}$  погрешность измерения составит  $\pm 0,1\% U_{\text{ном}}$  (множитель 1,0)
- при  $+55^{\circ}\text{C}$  погрешность измерения составит  $\pm 0,2\% U_{\text{ном}}$  (множитель 2,0)

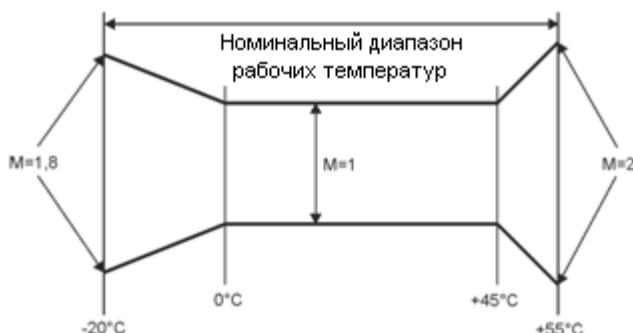


Рис. 56. Множитель основной погрешности в зависимости от температуры среды.

### 6.4.3 Напряжение

Таблица 18.

Напряжение	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
$U_{\text{RMS}}$ (переменное и постоянное)	$10\% U_{\text{ном}} \leq U_{\text{RMS}} \leq 150\% U_{\text{ном}}$ для $U_{\text{ном}} \geq 64\text{В}$	$0,01\% U_{\text{ном}}$	$\pm 0,1\% U_{\text{ном}}$
Пик-фактор	1...10 (1...1,65 для напряжения 690 В) для $U_{\text{RMS}} \geq 10\% U_{\text{ном}}$	0,01	$\pm 5\%$

### 6.4.4 Ток

Таблица 19.

Ток	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
$I_{\text{RMS}}$ (переменный и постоянный)	<b>Входной канал без клещей</b>		
	0..1В (0..3,6 В <sub>p-p</sub> )	$0,01\% I_{\text{ном}}$	$\pm 0,1\% I_{\text{ном}}$
	<b>Клещи гибкие F-1/F-2/F-3</b>		
	0..3000 А (10 кА <sub>p-p</sub> )	$0,01\% I_{\text{ном}}$	<b>Дополнительная погрешность</b> $\pm 1\%$ ( $\pm 2\%$ с учетом дополнительной погрешности от положения)
	<b>Клещи жесткие С-4</b>		
	0..1000 А (3600 А <sub>p-p</sub> )	$0,01\% I_{\text{ном}}$	<b>Дополнительная погрешность</b> 0,1..10 А: $\pm (3\% + 0,1\text{А})$ 10 А: $\pm 3\%$ 50 А: $\pm 1,5\%$ 200 А: $\pm 0,75\%$ 1000..1200 А: $\pm 0,5\%$
<b>Клещи жесткие С-6</b>			
0..10 А (36 А <sub>p-p</sub> )	$0,01\% I_{\text{ном}}$	<b>Дополнительная погрешность</b> 0,01..0,1А: $\pm (3\% + 1\text{мА})$ 0,1..1А: $\pm 2,5\%$ 1..12А: $\pm 1\%$	

	Клещи жесткие С-7		
	0..100 А (360 А <sub>p-p</sub> )	0,01% I <sub>ном</sub>	<b>Дополнительная погрешность</b> 0..100А: ± (0,5% + 0,02А) (45..65 Гц) 0..100А: ± (1,0% + 0,04А) (40..1000Гц)
Пик-фактор	1..10 (1..3,6 для I <sub>ном</sub> ) для I <sub>RMS</sub> ≥ 1% I <sub>ном</sub>	0,01	±5%

#### 6.4.5 Частота

Таблица 20.

Частота	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
f	40..70 Гц 10% U <sub>ном</sub> ≤ U <sub>RMS</sub> ≤ 200% U <sub>ном</sub>	0,01 Гц	±0,01 Гц

#### 6.4.6 Гармоники

Таблица 21.

Гармоники	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
Гармонический ряд (n)	Постоянный ток, 1..50, группирование: подгруппы гармоник по PN-EN 61000-4-7		
Амплитуда U <sub>RMS</sub>	0.. 200% U <sub>ном</sub>	0,01% U <sub>ном</sub>	±0,05% U <sub>ном</sub> при и.в.<1% U <sub>ном</sub> ±5% и.в. при и.в.≥ 1% U <sub>ном</sub> (согласно PN-EN 61000-4-7 класс I)
Амплитуда I <sub>RMS</sub>	В зависимости от использованных клещей (смотри характеристики I <sub>RMS</sub> )	0,01% I <sub>ном</sub>	±0,15% U <sub>ном</sub> при и.в.<3% I <sub>ном</sub> ±5% и.в. если и.в.≥ 3% I <sub>ном</sub> (согласно PN-EN 61000-4-7 класс I)
Коэффициент гармонических искажений (THD-R) по напряжению (n = 2..50)	0,0...100,0% для U <sub>RMS</sub> ≥ 1% U <sub>ном</sub>	0,1%	±5%
Коэффициент гармонических искажений (THD-R) по току (n = 2..50)	0,0...100,0% для I <sub>RMS</sub> ≥ 1% I <sub>ном</sub>	0,1%	±5%
К-фактор	1,0...50,0 для I <sub>RMS</sub> ≥ 1% I <sub>ном</sub>	0,1	±10%
Угол сдвига фаз (напряжение)	-180°...+180°	0,1°	±(n × 1°)
Угол сдвига фаз (ток)	-180°...+180°	0,1°	±(n × 1°)

#### 6.4.7 Интергармоники

Таблица 22.

Интергармоники	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
Интергармонический ряд (n)	0..50, группирование: по подгруппам интергармоник по PN-EN 61000-4-7 (субгармоники также с учетом полосы 5 Гц)		
Амплитуда U <sub>RMS</sub>	0.. 200% U <sub>ном</sub>	0,01% U <sub>ном</sub>	±0,05% U <sub>ном</sub> при и.в.<1% U <sub>ном</sub> ±5% и.в. при и.в.≥ 1% U <sub>ном</sub> (согласно PN-EN 61000-4-7 класс I)
Амплитуда I <sub>RMS</sub>	В зависимости от использованных клещей (смотри характеристики I <sub>RMS</sub> )	0,01% I <sub>ном</sub>	±0,15% U <sub>ном</sub> при и.в.<3% I <sub>ном</sub> ±5% и.в. если и.в.≥ 3% I <sub>ном</sub> (согласно PN-EN 61000-4-7 класс I)

Коэффициент интергармонических искажений (TID-R) по напряжению ( $n = 0..50$ )	0,0...100,0% для $U_{RMS} \geq 1\% U_{nom}$	0,1%	$\pm 5\%$
Коэффициент интергармонических искажений (TID-R) по току ( $n = 0..50$ )	0,0...100,0% для $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,1%	$\pm 5\%$

#### 6.4.8 Мощность гармоник

Таблица 23.

Мощности гармоник	Условия	Разрешение	Основная погрешность <sup>(1)</sup>
Активная и реактивная мощность гармоник	$80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$ $5\% I_{nom} \leq I_{RMS} \leq I_{nom}$	зависит от $U_{nom}$ и $I_{nom}$	%, где: $\delta_{Uh}$ – основная погрешность измерения амплитуды гармоник напряжения, $\delta_{Ih}$ – основная погрешность измерения амплитуды гармоник тока, $\delta_{ph}$ – основная погрешность измерения фазы между гармониками напряжения и тока

Примечание <sup>(1)</sup> смотри главу 6.4.10. Оценка погрешности измерения мощности и энергии.

#### 6.4.9 Мощность и энергия

Таблица 24.

Мощность и энергия	Условия (для мощности и энергии $80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 120\% U_{nom}$ )	Разрешение	Основная погрешность <sup>(1)</sup>
Активная мощность Активная энергия	$1\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$ $\cos\varphi = 1$	зависит от $U_{nom}$ и $I_{nom}$	_____ %
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} \leq I_{nom}$ $\cos\varphi = 1$		$\pm$ _____ %
	$2\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 10\% I_{nom}$ $\cos\varphi = 0,5$		$\pm$ _____ %
	$10\% I_{nom} \leq I_{RMS} \leq I_{nom}$ $\cos\varphi = 0,5$		$\pm$ _____ %
Реактивная мощность Реактивная энергия	$2\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$ $\sin\varphi = 1$	зависит от $U_{nom}$ и $I_{nom}$	$\pm$ _____ %
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\sin\varphi = 1$		$\pm$ _____ %
	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 10\% I_{nom}$ $\sin\varphi = 0,5$		$\pm$ _____ %
	$10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\sin\varphi = 0,5$		$\pm$ _____ %
	$10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$ $\sin\varphi = 0,25$		$\pm$ _____ %

Полная мощность	$2\% I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$	зависит от $U_{nom}$ и $I_{nom}$	$\pm 1,0\%$
Полная энергия	$5\% I_{nom} \leq I_{RMS} \leq I_{nom}$		$\pm 0,5\%$
Коэффициент мощности (PF)	0...1 $50\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$ $10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$	0,01	$\pm 0,03$
Коэффициент сдвига фаз (cosφ/DPF)	0...1 $50\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$ $10\% I_{nom} \leq I_{RMS} < I_{nom}$	0,01	$\pm 0,03$

**Примечание** <sup>(1)</sup> смотри главу 6.4.10. Оценка погрешности измерения мощности и энергии.

#### 6.4.10 Оценка погрешности измерения мощности и энергии

Общая погрешность измерения активной и реактивной мощности (основной гармоники) и мощности гармоник, в целом основывается на следующей зависимости (для энергии игнорируется дополнительная погрешность, связанная с измерением времени, как много меньшая, чем остальные погрешности):

где:  $\delta_{p,q}$  – погрешность измерения активной или реактивной мощности,  
 $\delta_{uh}$  – суммарная погрешность измерения амплитуды гармоники напряжения (анализатор, трансформаторы, клещи),  
 $\delta_{Ih}$  – суммарная погрешность измерения амплитуды гармоники тока (анализатор, трансформаторы, клещи),  
 $\delta_{ph}$  – дополнительная погрешность в результате ошибки измерения фазы между гармониками напряжения и тока.

Погрешность  $\delta_{ph}$  можно определить, если известен угол фазового сдвига для интересующей нас области частот. В табл. 25 приведена ошибка разности фаз между гармониками напряжения и тока для анализаторов (без токовых клещей и трансформаторов).

**Таблица 25. Ошибка фазы анализаторов PQM-702T/703/710/711 в зависимости от частоты.**

Ошибка разности фаз						
Диапазон частот	40..70 Гц	70..200 Гц	200..500 Гц	500Гц..1 кГц	1..2 кГц	2..3 кГц
Ошибка	$\leq 0,5^\circ$	$\leq 1^\circ$	$\leq 2,5^\circ$	$\leq 4^\circ$	$\leq 7^\circ$	$\leq 10^\circ$

Ошибку фазы, вносимую при использовании трансформаторов и клещей, как правило, можно найти их в технической документации. В этом случае следует оценить для интересующей нас частоты полученную ошибку фазы между напряжением и током, вводимую всеми элементами цепи измерения: трансформаторы тока и напряжения, клещи, а также анализатор.

Погрешность измерения, вытекающая из ошибки фазы для активной мощности гармоник можно определить по соотношению:

В свою очередь, неопределенность измерения реактивной мощности гармоник можно определить из соотношения:



В обеих этих формулах  $\varphi$  означает фактический угол сдвига между гармониками тока и напряжения, а  $\Delta\varphi$  суммарную ошибку фазы для данной частоты. Из представленных зависимостей можно сделать вывод, что погрешность измерения мощности для той же самой ошибки фазы, явно зависит от коэффициента фазового сдвига между током и напряжением. Это показано на Рис. 57.

**Пример**

Расчет погрешности измерения активной мощности основной гармоники.  
 Условия:  $\varphi = 60^\circ$ ,  $U_{RMS} \cong U_{nom}$ ,  $I_{RMS} = 5\% I_{nom}$ .

Основная погрешность составляет: \_\_\_\_\_ .

В диапазоне частот 40..70 Гц ошибка фазы анализатора составляет меньше чем  $0,5^\circ$ .  
 После подстановки в соотношение: \_\_\_\_\_

Таким образом, погрешность измерения составит: \_\_\_\_\_

В тех же самых условиях, но при сдвиге фазы  $\varphi = 10^\circ$ , получим: \_\_\_\_\_

А погрешность измерения составит: \_\_\_\_\_

Приведенные выше расчеты не учитывают дополнительные ошибки, вносимые при использовании токовых клещей и трансформаторов.

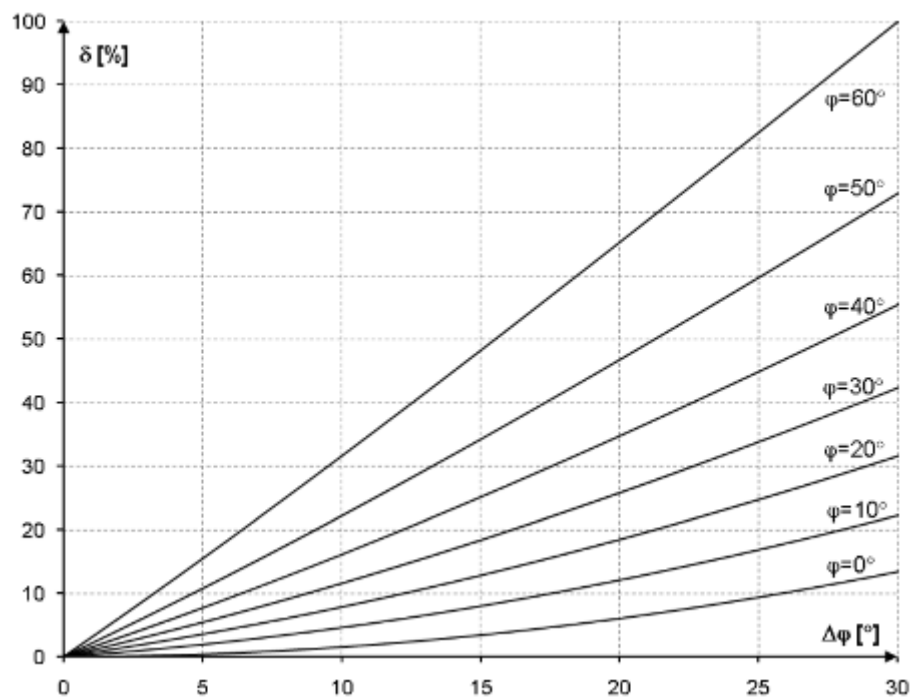


Рис. 57. Дополнительная погрешность от ошибки фазы в зависимости от угла сдвига фаз

### 6.4.11 Мерцание света (фликер)

Таблица 26.

Мерцание света (фликер)	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
$P_{st}$ (10мин.) $P_{lt}$ (2часа)	0,2...10 для $U_{RMS} \geq 80\% U_{nom}$	0,01	$\pm 5\%$ в пределах табличных значений стандарта ГОСТ Р 51317.4.15 (PN-EN 61000-4-15)

### 6.4.12 Асимметрия

Таблица 27.

Асимметрия (напряжение и ток)	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
Коэффициент несимметрии прямой, обратной и нулевой последовательности	0,0%...20,0% для $80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$	0,1%	$\pm 0,15\%$ (абсолютная погрешность)

### 6.4.13 Сигналы управления

Таблица 28.

Параметр	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
Метод измерения	В соответствии с ГОСТ 30804.30-2013 (PN-EN 61000-4-30:2011)		
Частота	5,00...3000,00 Гц	0,01 Гц	не применимо
Амплитуда сигнала управления UR1, UR2	$< 1\% U_{nom}$	0,01% $U_{nom}$	не указано
	$1..3\% U_{nom}$		$\pm 0,15\% U_{nom}$
	$3..15\% U_{nom}$		$\pm 5\%$

### 6.4.14 Транзиенты PQM-703 PQM-711

Таблица 29.

Параметр	Диапазон и условия	Разрешение	Основная погрешность
Транзиенты напряжения	$\pm 8000$ В	5 В	$\pm (5\% + 25$ В)

## 6.5 Регистрация событий – действующие значения напряжения и тока

Таблица 30.

Напряжение $U_{RMS}$ (провалы, пропадания и перенапряжение)	Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
$U_{RMS(1/2)}$	0,0%...150,0% $U_{nom}$	0,01% $U_{nom}$	$\pm 0,2\% U_{nom}$
Пороги обнаружения	Устанавливаются пользователем в процентах либо в абсолютных значениях. Обнаружение события основано на измерении $U_{RMS(1/2)}$ (действующее значение за 1 период, обновляемое каждые $\frac{1}{2}$ периода).		
Продолжительность	часы: минуты: секунды, миллисекунды	$\frac{1}{2}$ периода	Один период
Запись осциллограммы	Максимально 1 секунда записи и 960 мс опережения события, дискретизация 10,24 кГц, 8-битное разрешение		
Ток $I_{RMS}$ (минимум, максимум)	Диапазон	Разрешение	Основная погрешность
$I_{RMS(1/2)}$	0,0%...100,0% $I_{nom}$	0,01% $I_{nom}$	$\pm 0,2\% I_{nom}$
Пороги обнаружения	Устанавливаются пользователем в процентах либо в абсолютных значениях. Выявление события основано на измерении $I_{RMS(1/2)}$ (действующее значение за 1 период, обновляемое каждые $\frac{1}{2}$ периода).		
Продолжительность	часы: минуты: секунды, миллисекунды	$\frac{1}{2}$ периода	Один период
Запись осциллограммы	Максимально 1 секунда записи и 960 мс опережения события,		

**6.6 Регистрация событий – дополнительные параметры**

Таблица 31.

Параметр	Диапазон	Метод обнаружения
Частота (мин., макс.)	40...70Гц (в процентах или абсолютных величинах)	Обнаружение события основано на 10 секундном измерении, согласно ГОСТ 30804.4.30(PN-EN 61000-4-30)
Пик-фактор напряжения (мин., макс.)	1,0...10,0	На основе значения 10/12-периодов
Пик-фактор тока (мин., макс.)	1,0...10,0	На основе значения 10/12-периодов
Коэффициент несимметрии по обратной последовательности напряжения (макс.)	0,0...20,0%	На основе значения 10/12-периодов
Коэффициент несимметрии по обратной последовательности тока (макс.)	0,0...20,0%	На основе значения 10/12-периодов
Кратковременная доза фликера $P_{st}$ (макс.)	0..20	На основе 10-минутного значения
Длительная доза фликера $P_{lt}$ (макс)	0..20	На основе 2-часового значения
Активная мощность $P$ (мин., макс.)	В зависимости от настройки	На основе значения 10/12-периодов (для потребляемой и отдаваемой)
Реактивная мощность $Q$ (мин., макс.)	В зависимости от настройки	На основе значения 10/12-периодов (для потребляемой и отдаваемой)
Полная мощность $S$ (мин., макс.)	В зависимости от настройки	На основе значения 10/12-периодов
Мощность искажения $D$ / Полная мощность искажения $S_N$ (мин., макс.)	В зависимости от настройки	На основе значения 10/12-периодов
Коэффициент мощности $PF$ (мин, макс)	0...1	На основе значения 10/12-периодов
Коэффициент сдвига фаз $\cos\varphi/DPF$ (мин., макс.)	0...1	На основе значения 10/12-периодов
$tg\varphi$ (мин., макс.)	0...10	На основе значения 10/12-периодов
Активная энергия $E_p$ (макс.)	В зависимости от настройки	Проверка превышения каждые 10/12-периодов (для потребляемой и отдаваемой)
Реактивная энергия $E_Q$ (макс.)	В зависимости от настройки	Проверка превышения каждые 10/12-периодов (для потребляемой и отдаваемой)
Полная энергия $E_s$ (макс.)	В зависимости от настройки	Проверка превышения каждые 10/12-периодов
Коэффициент гармонических искажений THD-F напряжения (макс)	0...100%	На основе значения 10/12-периодов
Коэффициент гармонических искажений THD-F тока (макс.)	0...200%	На основе значения 10/12-периодов
Амплитуды гармоник напряжения (макс.)	0...100%, или абсолютные значения	На основе значения 10/12-периодов; Независимые пороги для всех гармоник в диапазоне 2...50
Амплитуды гармоник тока (макс.)	0...200% , или абсолютные значения	На основе значения 10/12-периодов; Независимые пороги для всех гармоник в диапазоне 2...50
Коэффициент интергармонических искажений TID-F напряжения (макс)	0...100%	На основе значения 10/12-периодов
Коэффициент интергармонических	0...100%	На основе значения 10/12-периодов

искажений TID-F тока (макс.)		
Амплитуды интергармоник напряжения (макс.)	0...100%, или абсолютные значения	На основе значения 10/12-периодов; Независимые пороги для всех интергармоник в диапазоне 0...50
Амплитуды интергармоник тока (макс.)	0...100%, или абсолютные значения	На основе значения 10/12-периодов; Независимые пороги для всех интергармоник в диапазоне 0...50
Коэффициент К (К-фактор) (макс.)	1,0..50,0	На основе значения 10/12-периодов
Сигналы управления (макс.)	0...U <sub>nom</sub>	На основе значения 10/12-периодов
<b>PQM-703 PQM-711</b> Транзиенты напряжения	50...5000В или dV/dt	Независимый модуль определения транзиентов. Методы: амплитудный или по скорости нарастания

### 6.6.1 Гистерезис обнаружения событий

Таблица 32.

Гистерезис обнаружения событий	Диапазон	Метод обнаружения
Гистерезис	0..10%	Для каждого из параметров рассчитывается, как процент от максимального значения порога (исключения – смотри п. <b>Ошибка! Источник ссылки не найден.</b> )

## 6.7 Регистрация

Таблица 33.

Регистратор	
Время усреднения <sup>(1)</sup>	200мс, 1с, 3с, 5с, 10с, 15с, 30с, 1мин, 3мин, 5мин, 10мин, 15мин, 30мин, 60мин, 120мин. Специальный режим: ½ периода (запись только U <sub>RMS(1/2)</sub> и I <sub>RMS(1/2)</sub> ) <sup>(2)</sup>
Усреднение мин/макс для U <sub>RMS</sub>	½ периода, период, 200мс, 1с, 3с, 5с <sup>(3)</sup>
Усреднение мин/макс для I <sub>RMS</sub>	½ периода, период, 200мс, 1с, 3с, 5с <sup>(3)</sup>
Запись осциллограмм	Возможность записи 3 периодов осциллограмм активных каналов после каждого периода усреднения
Режимы запуска регистрации	Ручной, После первого обнаруженного события, По расписанию (четыре заданных интервала времени)
Точки измерения	4 независимых конфигурации пользователя, распределение пространства на карте памяти, возможность выделения всего объема памяти для выбранной точки измерения.
Время регистрации	Зависит от конфигурации
Память	Встроенная карта памяти 8 Гб (стандартно), возможность расширения до 32 Гб (опционально)
Модель памяти	Линейная
Безопасность	Возможность блокировки клавиатуры от несанкционированного доступа, блокировка считывания данных с помощью PIN кода

- (1) Время усреднения меньше 10 с в действительности равно кратному от периода сети: 200 мс – 10/12 периодов, 1 с – 50/60 периодов, 3 с – 150/180 периодов, 5 с – 250/300 периодов.
- (2) U<sub>RMS(1/2)</sub> и I<sub>RMS(1/2)</sub> являются действующими значениями за 1 период с обновлением каждые ½ периода
- (3) Периоды усреднения мин./макс. 200 мс, 1 с, 3 с, 5 с в действительности равны кратному от периода частоты сети:

200 мс – 10/12 периодов, 1 с – 50/60 периодов, 3 с – 150/180 периодов, 5 с – 250/300 периодов.

Таблица 34.

Регистрируемые параметры	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Мгновенное значение
Действующее значение фазного/линейного напряжения $U_{RMS}$ (в зависимости от типа схемы сети)	•	•	•	•
Действующее значение линейного напряжения (только в 3-фазной схеме «звезда» с N и в 2-фазной сети) $U_{RMS}$	•			
Постоянная составляющая напряжения	•	•	•	•
Действующее значение тока $I_{RMS}$	•	•	•	•
Постоянная составляющая тока <sup>(1)</sup>	•	•	•	•
Частота $f$	•	•	•	•
Пик-фактор напряжения CF U	•	•	•	•
Пик-фактор тока CF I	•	•	•	•
Коэффициенты несимметрии по обратной и прямой последовательности, симметричные составляющие: прямой, обратной и нулевой последовательности (напряжение) $U_0, U_1, U_2, u_0, u_2$	•	•	•	•
Коэффициенты несимметрии по обратной и прямой последовательности, симметричные составляющие: прямой, обратной и нулевой последовательности (ток) $I_0, I_1, I_2, i_0, i_2$	•	•	•	•
Дозы фликера $P_{st}$ и $P_{lt}$	•	•	•	•
Активная мощность (потребляемая и отдаваемая) $P_+, P_-$	•	•	•	•
Реактивная мощность (потребляемая и отдаваемая) $Q_{1+}, Q_{1-} / Q_{B+}, Q_{B-}$	•	•	•	•
Полная мощность S	•	•	•	•
Мощность искажения D/ Полная мощность искажения $S_N$	•	•	•	•
Коэффициент мощности PF	•	•	•	•
Коэффициент сдвига фаз $\cos\varphi$ /DPF	•	•	•	•
$\tan \varphi$	•	•	•	•
Активная энергия (потребляемая и отдаваемая) $E_{P+}, E_{P-}$				•
Реактивная энергия (потребляемая и отдаваемая) $E_{Q+}, E_{Q-}$				•
Полная энергия $E_S$				•
Коэффициент гармонических искажений THD-F напряжения	•	•	•	•
Коэффициент гармонических искажений THD-F тока	•	•	•	•

Амплитуды гармоник напряжения $U_{h1...U_{h50}}$	•	•	•	•
Амплитуды гармоник тока $I_{h1...I_{h50}}$	•	•	•	•
Коэффициент интергармонических искажений TID-F по напряжению	•	•	•	•
Коэффициент интергармонических искажений TID-F по току	•	•	•	•
Амплитуды интергармоник напряжения $U_{h0...U_{h50}}$	•	•	•	•
Амплитуды интергармоник тока $I_{h0...I_{h50}}$	•	•	•	•
Коэффициент К (К-фактор)	•	•	•	•
Активные мощности гармоник (1...50) $P_{h1...P_{h50}}$	•	•	•	•
Реактивные мощности гармоник (1...50) $Q_{h1...Q_{h50}}$	•	•	•	•
Углы между гармониками напряжения и тока $\varphi_{1...}\varphi_{50}$	•	•	•	•
Сигналы управления UR1, UR2	• <sup>(2)</sup>		•	

**Примечания:** <sup>(1)</sup> Только при использовании клещей С-5

<sup>(2)</sup> При регистрации в соответствии со стандартом EN 50160 также записываются средние 3-х секундные значения.

## 6.8 Питание и нагреватель

Таблица 35.

Питание	
Диапазон входных напряжений	90...760 В переменного тока, 127...760 В постоянного тока
Категория электробезопасности	CAT IV/600В
Потребляемая мощность	макс. 30 ВА
Аккумулятор	Li-Ion 4,5 А·ч
Время работы с питанием от аккумулятора	> 2 часов
Время зарядки аккумулятора (полностью разряженного)	8 часов
Потребляемый от аккумулятора ток в режиме выключенного анализатора (при отсутствии сетевого питания, не относится к режиму защиты от кражи)	< 1мА

Таблица 36.

Нагреватель	
Порог температуры включения нагревателя	+5°C
Питание нагревателя	Встроенный источник питания от сети
Мощность нагревателя	макс. 10 Вт

## 6.9 Поддерживаемые сети

Таблица 37.

Типы поддерживаемых сетей (косвенно или напрямую)	
1-фазная	Однофазная, с нейтральным проводом (разъемы L1, N)
2-фазная (с расщепленной фазой)	Двухфазная, с нейтральным проводом (разъемы L1, L2, N)
3-фазная "звезда" с N	Трехфазная, типа "звезда" с нейтралью (разъемы L1, L2, L3, N)
3-фазная "треугольник"	Трехфазная типа "треугольник" (разъемы L1, L2, L3, N замкнута на L3)

3-фазная "треугольник", схема Арона	Трехфазная, типа "треугольник" (разъемы L1, L2, L3, N замкнута на L3), с двумя токовыми клещами
3-фазная "звезда" без N	Трехфазная, типа "звезда" без нейтрального провода (зажимы L1, L2, L3, N замкнута на L3)
3-фазная "звезда" без N, схема Арона	Трехфазная, типа "звезда" без нейтрального провода (зажимы L1, L2, L3, N замкнута на L3), с двумя токовыми клещами

## 6.10 Поддерживаемые токовые клещи

Таблица 38.

Типы поддерживаемых токовых клещей	
F-1	Клещи гибкие (пояс Роговского), длина окружности 120 см, диапазон измерения 3000 A <sub>RMS</sub>
F-2	Клещи гибкие (пояс Роговского), длина окружности 80 см, диапазон измерения 3000 A <sub>RMS</sub>
F-3	Клещи гибкие (пояс Роговского), длина окружности 45 см, диапазон измерения 3000 A <sub>RMS</sub>
C-4	Клещи типа СТ, переменного тока, диапазон измерения 1000A <sub>RMS</sub> , 1мВ/А
C-5	Клещи типа СТ с датчиком Холла, переменного/постоянного тока, диапазон измерения 1000A <sub>RMS</sub> , 1мВ/А
C-6	Клещи типа СТ, переменного тока, для малых токов, диапазон измерения 10A <sub>RMS</sub> , 1мВ/10мА
C-7	Клещи типа СТ, переменного тока, диапазон измерения 100A <sub>RMS</sub> , 5мВ/А

## 6.11 Интерфейс

Таблица 39.

Тип соединения	
USB	Оптически изолированный интерфейс, максимальная скорость передачи: 921,6 кбит/с, режим чтения данных из памяти со скоростью порядка несколько Мбит/с, совместим с USB 2.0.
<b>PQM-702 PQM-703</b> Беспроводной	Встроенный радио модуль 433 МГц, связь осуществляется при помощи радио адаптера OR-1, максимальная скорость передачи: 57,6 кбит/с, радиус действия до 5 м.
<b>PQM-710 PQM-711</b> Беспроводной Wi-Fi	Встроенный модуль Wi-Fi IEEE 802.11b/g/n, максимальная эффективная скорость передачи 300 кбит/с (на расстоянии до 10м) Стандарт «b/g» и «n» для одного потока данных. Шифрование (точка доступа на планшете): только WPA2-PSK Шифрование (внешняя точка доступа): WPA/WPA2-PSK или отсутствует
GSM	Встроенный GSM модем (стандарт UMTS), максимальная скорость обмена данными 5,76/7.2 Мбит/с

## 6.12 Условия окружающей среды и другие технические данные

Таблица 40.

Условия окружающей среды	
Диапазон рабочих температур	-20°C...+55°C
Диапазон температур при хранении	-30°C...+60°C
Влажность	10...90% с возможной конденсацией
Влагонепроницаемость (согласно PN-EN 60529)	IP 65
Нормальные условия для поверки	Температура окружающей среды: 0°C... +40°C

	Влажность: 40...60%
Размеры	200 x 180 x 77мм (без проводов)
Масса	около 1,6 кг
Дисплей	Цветной ЖКИ TFT, 320x240 пиксель, диагональ 3,5"
Память для хранения данных	Встроенная карта памяти 8Гб (стандартно), с возможностью расширения до 32 Гб (опционально)

## 6.13 Безопасность и электромагнитная совместимость

Таблица 41.

Безопасность и электромагнитная совместимость	
Соответствие	ГОСТ IEC 61010-1
Измерительная категория	III 1000В/IV 600В, класс загрязнения 2, по ГОСТ IEC 61010-1
Изоляция	Двойная, согласно ГОСТ IEC 61010-1
Электромагнитная совместимость	ГОСТ МЭК 61326
Устойчивость к помехам на радиочастотах	ГОСТ IEC 61000-4-3 синусоидальная модуляция 80% АМ, 1кГц 80...1000 МГц, 10 В/м 1,4...2,0 ГГц, 3 В/м 2,0...2,7 ГГц, 1 В/м
Устойчивость к электростатическим разрядам	ГОСТ 30804.4.2-2013(PN-EN 61000-4-2) Разряд в воздухе: 8 кВ Разряд контактный: 4 кВ
Устойчивость к наведенным помехам, индуцированным радиочастотным полем	ГОСТ Р 51317.4.6 (PN-EN 61000-4-6) Синусоидальная модуляция 80% АМ, 1кГц 0,15...80 МГц, 10 В
Устойчивость к серии быстрых электрических переходных состояний	ГОСТ 30804.4.2-2013 (PN-EN 61000-4-4) Амплитуда 2 кВ, 5 кГц
Устойчивость к ударным импульсам	ГОСТ Р 51317.4.5 (PN-EN 61000-4-5) Амплитуда 2 кВ (L-L), 4 кВ (L-PE)
Эмиссия излучаемых помех на радиочастотах	ГОСТ 30804.6.3-2013 (PN-EN 61000-6-3) RQM-702T, RQM-710, класс В: 30...230 МГц, 30дБ (мкВ/м) на расстоянии 10м 230...1000 МГц, 37дБ (мкВ/м) на расстоянии 10м RQM-703, RQM-711, класс А: 30...230 МГц, 40дБ (мкВ/м) на расстоянии 10м 230...1000 МГц, 47дБ (мкВ/м) на расстоянии 10м
Эмиссия кондуктивных помех	ГОСТ 30804.6.3-2013 (PN-EN 61000-6-3) Уровни для квазипикового детектора: 0,15 кГц...0,5 МГц: 66 дБмкВ...56 дБмкВ 0,5 МГц ...5 МГц: 56 дБмкВ 5 МГц ...30 МГц: 60 дБмкВ

### Примечание к EN55022:

RQM-703 и RQM-711 - это приборы класса А. В бытовой среде это изделие может вызвать радиопомехи, что потребует от пользователя принятия соответствующих мер по исправлению положения.

## 6.14 Стандарты

Таблица 42.



Стандарты	
Методы измерения	ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30 класс A)
Точность измерений	ГОСТ 30804.4.30-2013 (PN-EN 61000-4-30 класс A)
Качество энергии	ГОСТ 32144-2013 (PN-EN 50160)
Мерцание света	ГОСТ Р 51317.4.15 (PN-EN 61000-4-15)
Гармоники	ГОСТ 30804.4.7-2013 (PN-EN 61000-4-7)
Безопасность	ГОСТ IEC 61010
ЭМС	ГОСТ Р МЭК 61326
Стандарт качества	разработка, проектирование и производство согласно ISO 9001

## 7 КОМПЛЕКТАЦИЯ

### 7.1 Стандартная комплектация

Наименование	Индекс	Количество
Анализатор параметров качества электрической энергии PQM-7xx	WMPLPQM7xx	1 шт.
Руководство по эксплуатации		1 шт.
Зажим «Крокодил» изолированный черный K01	WAKROBL20K01	3 шт.
Зажим «Крокодил» изолированный голубой K02	WAKROBU20K02	1 шт.
Зажим «Крокодил» изолированный жёлтый K02	WAKROYE20K02	1 шт.
Зажим «Крокодил» изолированный красный K02	WAKRORE20K02	2 шт.
Адаптер для подключения к однофазной сети AZ-1	WAADAAZ1	1 шт.
Соединитель электрический - адаптер AC-16	WAADAAAC16	1 шт.
Соединитель электрический - адаптер магнитный модель AM-4	WAADAUMAGKPL	1 комплект
Соединитель электрический - адаптер с резьбой M4/M6, модель AR-1	WAADAM4M6	1 комплект
Кабель последовательного интерфейса USB	WAPRZUSB	1 шт.
Беспроводной интерфейс OR-1 (USB) <b>PQM-702</b> <b>PQM-703</b>	WAADAUSBOR1	1 шт.
Набор для монтажа на DIN-рейке	WAPOZUCH3	1 шт.
Ремни для крепежа на столбе (2 шт.)	WAPOZOPAKPL	1 шт.
Крепление для ремней	WAPOZUCH4	1 шт.
Антенна GPS		1 шт.
Футляр пластиковый XL2 <b>PQM-702</b> <b>PQM-703</b>	WAWALXL2	1 шт.
Планшет <b>PQM-710</b> <b>PQM-711</b>		1шт.
Чехол для планшета <b>PQM-710</b> <b>PQM-711</b>		1шт.
Рюкзак <b>PQM-710</b> <b>PQM-711</b>	WAFUTL8	1шт.

### 7.2 Дополнительная комплектация

Наименование	Индекс
Клещи гибкие F-1	WACEGF1OKR
Клещи гибкие F-2	WACEGF2OKR
Клещи гибкие F-3	WACEGF3OKR
Клещи измерительные C-4	WACEGC4OKR
Клещи измерительные C-6	WACEGC6OKR

### 7.3 Внешняя активная антенна GPS



Рис. 65. Внешняя антенна GPS

Таблица 59. Технические характеристики внешней антенны GPS

Технические характеристики	
Частота	1575,42 ГГц
Поляризация	правая круговая поляризация (RHCP)
Усиление	26 дБ (3В)
Коэффициент стоячей волны по напряжению (VSWR)	<1,2:1
Размеры (без кабеля)	14,0 × 34,2 × 38,2 мм
Рабочая температура	-40°C...+85°C
Степень защиты, согласно PN-EN 60529	IP67
Длина кабеля	10 м
Потребление тока	15...25 мА
Крепление	магнитное, на любую поверхность

## 8 ОБСЛУЖИВАНИЕ ПРИБОРА

### Внимание!

Следует применять только методы технического обслуживания, указанные изготовителем в руководстве по эксплуатации.

Корпус анализатора можно чистить мягкой влажной тканью, используя общедоступные моющие средства. Не используйте никакие растворители и чистящие средства, которые могут поцарапать корпус (порошки, пасты и т.д.). При очистке проводов можно использовать воду с добавлением моющих средств, затем насухо вытереть.

Электронная схема анализатора не требует технического обслуживания.

## 9 ХРАНЕНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ

При хранении прибора необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- отключить от измерителя все провода,
- тщательно очистить прибор, и все аксессуары,
- чтобы избежать полного разряда аккумуляторов при длинном хранении их необходимо периодически заряжать.

Измеритель, предназначенный для утилизации, следует передать Производителю. В случае самостоятельной утилизации ее следует производить в соответствии с действующими правовыми нормами. Утилизацию электрического и электронного оборудования необходимо производить отдельно, не смешивая с отходами другого рода. Перед доставкой оборудования в пункт сбора не пытайтесь самостоятельно разбирать какие-либо части данного оборудования.

## **10 СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗГОТОВИТЕЛЕ**

SONEL S.A., Poland, 58-100 Swidnica, ul. Wokulskiego 11  
tel. (0-74) 858 38 78 (Dział Handlowy)  
(0-74) 858 38 79 (Serwis)  
fax (0-74) 858 38 08  
E-mail: [dh@sonel.pl](mailto:dh@sonel.pl)  
Internet: [www.sonel.pl](http://www.sonel.pl)

## **11 СВЕДЕНИЯ О ПОСТАВЩИКЕ**

ООО «СОНЭЛ», Россия  
142714, Московская область, Ленинский район, Мисайлово, Первомайская ул., дом 158А  
тел./факс +7(495) 287-43-53;  
E-mail: [info@sonel.ru](mailto:info@sonel.ru),  
Internet: [www.sonel.ru](http://www.sonel.ru)

## **12 СВЕДЕНИЯ О СЕРВИСНОМ ЦЕНТРЕ**

Гарантийный и послегарантийный ремонт прибора осуществляют авторизованные Сервисные центры. Обслуживанием Пользователей в России занимается Сервисный центр в г. Москва, расположенный по адресу:

15533 г. Москва, проспект Андропова, д. 22, БЦ «Нагатинский»  
тел./факс +7(495) 995-20-65;  
E-mail: [standart@sonel.ru](mailto:standart@sonel.ru)  
Internet: [www.poverka.ru](http://www.poverka.ru)