



TMTG - 3

Интеллектуальный
мультифункциональный
преобразователь
*Руководство по
эксплуатации
ТУ E07010000*

Техническое описание семейства преобразователей TMTG 3F

Содержание

1	ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ	4
1.1	ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ	4
1.2	НАЗНАЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА.....	4
2	ОПИСАНИЕ РАБОТЫ.....	7
2.1	ПОСТРОЕНИЕ УСТРОЙСТВА.....	7
2.1.1	<i>Входные трансформаторы</i>	7
2.1.2	<i>Схема DSP</i>	8
2.1.3	<i>Генераторы тока</i>	8
2.1.4	<i>Выход RS485</i>	8
2.1.5	<i>Цифровые входы и выходы</i>	8
2.2	СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ.....	9
2.2.1	<i>Включение при трёхфазном измерении</i>	10
2.2.2	<i>Включение при измерении схемой Арона</i>	10
2.3	ПЕРЕДНЯЯ ПАНЕЛЬ.....	10
2.3.1	<i>Светодиоды для сигнализации состояния</i>	11
2.3.2	<i>LCD, кнопки</i>	11
2.3	ЛОГИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ.....	13
2.4.1	<i>Таблица параметров</i>	14
2.4.2	<i>Аналоговые входы, калибровка</i>	14
2.4.3	<i>Цифровые входы, фильтры импульсов, цифровая выборка</i>	15
2.4.4	<i>Логические импульсы, программные импульсы</i>	16
2.4.5	<i>Измерение</i>	16
2.3.2	<i>Трёхфазное измерение</i>	18
2.4.6	<i>Внутренние часы</i>	21
2.4.7	<i>Генератор синхроимпульсов</i>	21
2.4.8	<i>Счетчики импульсов</i>	22
2.4.9	<i>Архив, массивы измерений, события напряжения</i>	22
2.4.10	<i>Регистрация формы сигнала</i>	23
2.4.11	<i>Формирователи импульсов</i>	24
2.4.12	<i>Отслеживание пороговых значений (компаратор)</i>	25
2.4.13	<i>Ограничитель мощности</i>	25
2.4.14	<i>Цифровые выходы</i>	29
2.4.15	<i>Формирователи аналоговых выходных характеристик</i>	29
2.4.16	<i>Аналоговые выходы</i>	30
2.4.17	<i>Канал связи RS485 и RS232 интерфейса, управление ModBus</i>	30
2.5	ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ.....	31
3	КАНАЛ СВЯЗИ.....	33
3.1	КАНАЛ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ АСИНХРОННОЙ СВЯЗИ.....	33
3.2	ПРОТОКОЛ.....	33
3.2.1	<i>Используемые команды</i>	33
3.2.2	<i>Построение дейтаграммы</i>	34
4	MODBUS, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ HOLDING РЕГИСТРОВ.....	37
2.4	ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ РЕГИСТРОВ.....	37
4.2.1	<i>ЭЛЕКТРОННАЯ ТАБЛИЦА ДАННЫХ</i>	38
4.2.2	<i>РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ</i>	38
4.2.2.1	<i>Коэффициенты тока, напряжения и мощности</i>	38
4.2.2.2	<i>Значения основных измеряемых величин</i>	39
4.2.2.3	<i>Промежуточные значения энергии</i>	40
4.2.2.4	<i>Суммарные значения энергии</i>	40

4.2.2.5	Значения счетчиков импульсов	40
4.2.2.6	Счетчик миллисекунд	40
4.2.2.7	Регистры состояния измерения	40
4.2.2.8	Сигналы состояния аналоговых входов	41
4.2.2.9	Значения гармонических составляющих	42
4.2.3	ОПРОС ЦИФРОВЫХ ВХОДОВ	42
4.2.4	РЕГИСТР ОШИБОК	43
4.2.5	РЕГИСТРЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫХОДАМИ	44
4.2.5.1	Управление командами порогов срабатывания	44
4.2.5.2	Управление формирователем импульсов	44
4.2.5.3	Управление аналоговыми выходами	44
4.2.5.4	УПРАВЛЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОМ ПРОГРАММНЫХ ИМПУЛЬСОВ	44
4.2.5.5	ПОВТОРНЫЙ ПУСК УСТРОЙСТВА	44
4.2.5.6	Управление цифровыми выходами	44
4.2.6	ВНУТРЕННИЕ ЧАСЫ	45
4.2.7	Регистры команд таблицы параметров	46
4.2.8	Регистры данных таблицы параметров	46
4.2.9	АРХИВ	55
4.2.9.1	Значения счетчиков энергии и счётчиков импульсов перед обнулением	55
4.2.9.2	Информация архива	56
4.2.9.3	Регистры команд и состояния архива, буфера массивов	56
4.2.9.4	Архив, буфер массивов	56
4.2.9.5	Массив событий напряжения	59
4.2.9.6	Массив измерений	60
4.2.10	БУФЕР ФОРМЫ СИГНАЛА	62
4.2.10.1	Регистры команд, типов, состояния	62
4.2.10.2	Регистры данных	63
4.3	РЕГИСТРЫ TMT- G С ПОСТОЯННЫМ БАЗОВЫМ АДРЕСОМ	63
4.5	ПЕРЕРАСЧЕТ НОРМИРОВАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	65
4.5.1	Значение коэффициентов	65
4.5.2	Фазное и линейное напряжение, симметричные составляющие напряжения	65
4.5.3	Фазовый ток, ток в нулевом проводе, симметричные составляющие тока	65
4.5.4	RMS значения гармонических составляющих	65
4.5.5	Коэффициент гармонического искажения	65
4.5.6	Коэффициент формы тока (Кресс-фактор)	66
4.5.7	Мощности, коэффициент мощности,	66
4.5.7.1	Мощность по фазам:	66
4.5.8	Потребленная энергия	66
4.5.9	Количество энергии, соответствующей одному импульсу	66
4.6	ОБЩИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПОСТОЯННЫЕ	67
4.6.1	CLogicTime	67
4.6.2	CImpulseSrc	67
4.6.3	CmeasSrc	68
4.6.4	CDigiSrc	69
ПРИЛОЖЕНИЯ		70
5.1 ВЫБОРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ		70
5.2 РАСЧЕТ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ..		72
5.3 ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, ПРИМЕР		73

1 Общее описание

2.1 Правила безопасности

ВНИМАНИЕ! ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ!

Удаление крышки устройства, подключённого к сети, ЗАПРЕЩЕНО И ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ!

В устройстве платы печатных схем, включая плату процессора, гальванически подключены к напряжению сети. Поэтому удаление крышки устройства допускается лишь строго в обесточенном состоянии!

При установке устройства измеряемая сеть строго должна быть обесточена! Установка устройства производится квалифицированным персоналом!

Устройство должно быть установлено в месте, не доступном для посторонних лиц!

Обслуживание установленного устройства разрешено только для персонала, имеющего квалификацию для работы под напряжением!



2.2 Назначение устройства

Датчик TMTG 3F, подключенное к трехфазной сети напряжением 0.4 кВ, применяется для измерения, регистрации и передачи результатов измерения в форме аналоговых (генератор тока) и цифровых (RS485, ModBus) сигналов ниже перечисленных величин:

- ◆ Напряжение:
 - Среднеквадратичное значение (True RMS) фазовых напряжений (U_{LN})
 - Среднеквадратичное значение линейного напряжения (U_{LL})
 - Симметричные составляющие фазового напряжения (U_{SYM})
 - Степень искажения сигналов напряжения (THD_U)
 - 1...31 гармонические составляющие фазового напряжения ($U_{H1}...U_{H31}$)
 - События в сети напряжения
 - Частота
 - Форма сигнала за 8 периодов

- ◆ Ток:
 - Среднеквадратичное значение фазовых токов (I_L)
 - Среднеквадратичное значение в нулевом проводе (рассчитанное; I_N)
 - Симметричные составляющие фазовых токов (I_{SYM})
 - Степень искажения фазовых токов (THD_I)
 - 1...31 гармонические составляющие фазовых токов ($I_{H1}...I_{H31}$)
 - Коэффициент формы (кресс фактор) (CF_I)
 - Форма сигнала за 8 периодов
- ◆ Мощность:
 - Активная мощность в каждой фазе и общая ($P_L, \Sigma P$)
 - Реактивная мощность в каждой фазе и общая ($Q_L, \Sigma Q$)
 - Полная мощность в каждой фазе и общая ($S_L, \Sigma S$)
 - Коэффициент мощности в каждой фазе и общий (PF_L, PF_Σ)
- ◆ Потребленная и генерируемая активная, индуктивная и емкостная энергия ($E_{P+}, E_{P-}, E_{Q+}, E_{Q-}$)

Расчет перечисленных параметров производится процессором DSP, заложенный математический алгоритм позволяет точно делать измерения не зависимо от формы входных сигналов.

По определенному сигналу (триггер) возможна запись формы сигнала в течении 8 периодов всех 6 входных сигналов. Эти данные сохраняются в памяти RAM до следующего сигнала регистрации или выключения устройства.

К каждому из 4 видов энергии относится по 2 счетчика. В случае измерения номинальной мощности счетчики переполняются примерно через 5,7 лет. Прибор также содержит промежуточные счетчики энергии, которые обнуляются по приходу синхроимпульса (см. ниже), переполняются по истечении 1 часа в случае измерения номинальной мощности.

Устройство имеет 6 цифровых портов через опторазвязки. Они могут быть использованы как входы или выходы в следующих вариантах:

- 2 выхода – 4 входа
- 3 выхода – 3 входа
- 4 выхода – 2 входа

Нужный вариант определяется при производстве устройства. Каждый вход снабжается фильтром дребезга программным путём. Состояние входов опрашивается устанавливаемой частотой. Последние 16 измерений могут быть считаны через линию связи.

Три цифровых входа могут быть использованы как счетчики импульсов. Таким образом, устройство может принимать сигналы измерительных датчиков, имеющих импульсный выход.

Цифровые входы могут быть использованы для синхронизации внутренних часов. В этом случае по входному импульсу внутренние часы устанавливаются на ближайшую минуту и 00 секунд.

Цифровые выходы (открытый коллектор) могут работать по порогу срабатывания с гистерезисом. В этом случае состояние выхода меняется при пересечении заданного уровня, относящегося к любому измеряемому или

вычисленному сигналу или в случае счетчиков импульсов при достижении заданного числа импульсов. Цифровые выходы могут работать как импульсные выходы энергии, при этом их частота пропорциональна потребляемой энергии, или как источник синхроимпульсов для синхронизации, например, других TMTG.

В устройстве работает также три звена контроля превышения допустимого предела. Эти звенья на основе актуальных значений промежуточных энергосчётчиков или импульсных счётчиков рассчитывают прогноз на конец заданного интервала времени. Если прогноз превышает заданное предельное значение, то выдаётся сигнал на выбранный цифровой выход. Звенья контроля превышения могут быть включены в каскад и работать в трёхкаскадном режиме контроля превышения.

По синхроимпульсу усредненные, максимальные и минимальные значения выбранных параметров, промежуточные значения потребленной энергии, состояния счетчиков импульсов записываются в архив FLASH, величина которого 2MB. Количество записей зависит от архивируемых значений. При выборе всех опций возможно 6500 записей, что означает регистрацию значений с 15 минутным интервалом за 70 дней. Если, например, не требуется регистрация мин. и макс. значений, то возможно 15500 записей, что означает минутные значения за 11 дней. При переполнении памяти новые значения записываются на места самых старых.

При выходе измеряемого напряжения за интервал $0,9 \cdot U_N \dots 1,1 \cdot U_N$ (U_N – номинальное напряжение), т.е. произошло событие в сети, устройство делает запись в специальный отдел памяти. Эта запись содержит время события, его продолжительность и значение напряжения. Всего возможно 3072 подобных записей. При переполнении памяти новые значения записываются на места самых старых.

Источником синхроимпульса, по которому происходит регистрация измеренных и вычисленных параметров, а также обнуление счетчиков импульсов, может быть любой цифровой вход или внутренние часы устройства (в интервале 1 – 60 минут с точностью минута) или может быть осуществлено через линию связи по команде записи регистров ModBus.

2 Описание работы

2.1 Построение устройства

Далее приведено описание основных частей устройства. Структурная схема прибора приведена на рис. 2.1.

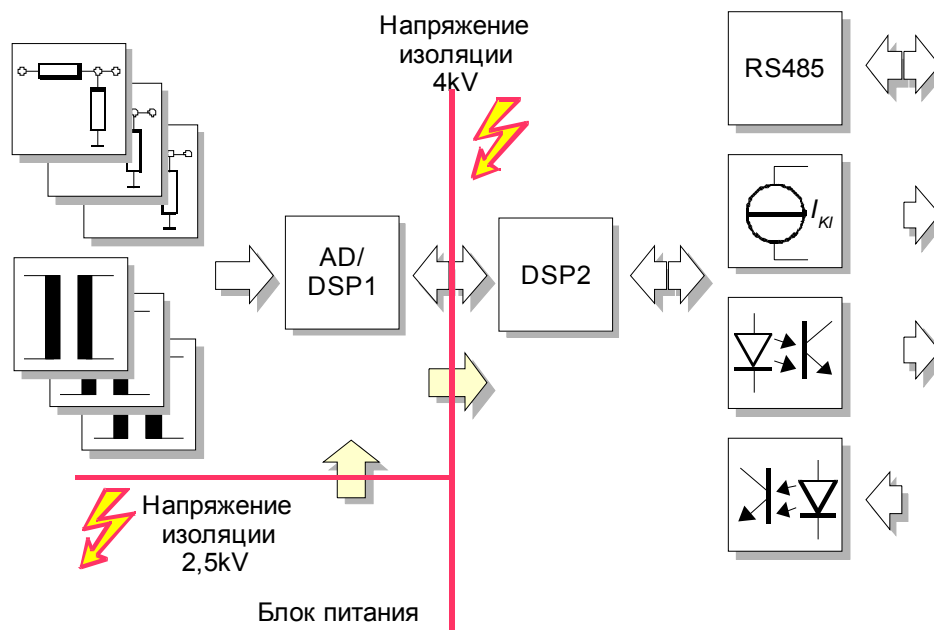


Рис. 2.1: Структурная схема TMTG 3F

2.1.1 Входные трансформаторы

Устройство содержит трансформаторы тока. Задачей входных трансформаторов является преобразование входных сигналов для последующей обработки АЦП процессора DSP. Тип трансформатора зависит от величины измеряемого сигнала. Номинальные величины входных сигналов приведены в следующей таблице:

Таблица 2.1: Типы входных трансформаторов TMTG 3F

Измерение напряжения [В]	Измерение тока [А]
57,732	1/5
100	
115,74	
200	
230,94	

Обозначение 1/5 в таблице означает, что на входе стоит трансформатор с двумя выходами для измерения номинального значения тока в 1А и 5А. У преобразователя с таким типом трансформатора 3 клеммы подключения: общая, 1А, 5А (см. подключение в разделе 2.2). Однако для получения правильного результата измерения в таблицу параметров необходимо занести, актуально в каком диапазоне работает устройство (смотри раздел 2.4).

2.1.2 Схема DSP

Как видно на рисунке выше, в устройстве имеется даже два процессора DSP. Первый из них [DSP1] служит для управления аналого-цифрового преобразователя (далее АЦП). Его задача – преобразование и калибровка сигнала. Так как АЦП с помощью делителя напряжения непосредственно подключён к измеряемой сети, два DSP связаны друг с другом через оптические преобразователи. DSP1 передаёт для DSP2 фильтрованные и калиброванные выборки.

Главными комплектующими схемы DSP2 является DSP (*Digital Signal Processor*) процессор, память FLASH и часы реального времени на интегральной схеме. Программа управления работой устройства заложена в DSP процессоре. Описание логических блоков программы представлено в разделе 2.4

2.1.3 Генераторы тока

Устройство содержит 3 генератора тока, которые способны выдавать ток величиной $-24...24\text{mA}$ на нагрузку с максимальным сопротивлением $R_T=500\Omega$. Каждый выход программируется отдельно и служит для вывода любого измеряемого значения. Характеристика линейная с любой крутизной, программируемым начальным и конечным значением. Т.о. возможна установка 0-20ма, 4-20ма и пр. (подробности в подразделе 2.4)

2.1.4 Выход RS485

Устройство содержит стандартный выход последовательной связи RS485, протокол ModBus RTU. Прибор работает в режиме *slave*. Через выход RS485 возможно считывание измеряемых значений, параметров из таблицы данных, установка и считывание параметров генераторов тока, цифровых входов и выходов. Подробности описаны в разделе 3 и 4.

2.1.5 Цифровые входы и выходы

Преобразователь TMTG-3 оснащен 6 цифровыми портами, используемыми следующими вариантами входами и выходами: 2/4, 3/3 или 4/2 (входа/выхода). Установка определяется при производстве.

Выход: эмиттер-коллектор транзистора NPN опторазвязки.

Вход: анод-катод диода опторазвязки (параллельно включено ограничивающее сопротивление).

ВНИМАНИЕ! Опторазвязки гарантируют изоляцию (макс. на 500В), служащую лишь для устранения помех, возникающих из-за гальванической связи (например, от земельной петли). Это не соответствует защите от поражения электрическим током!

2.2 Схема подключения

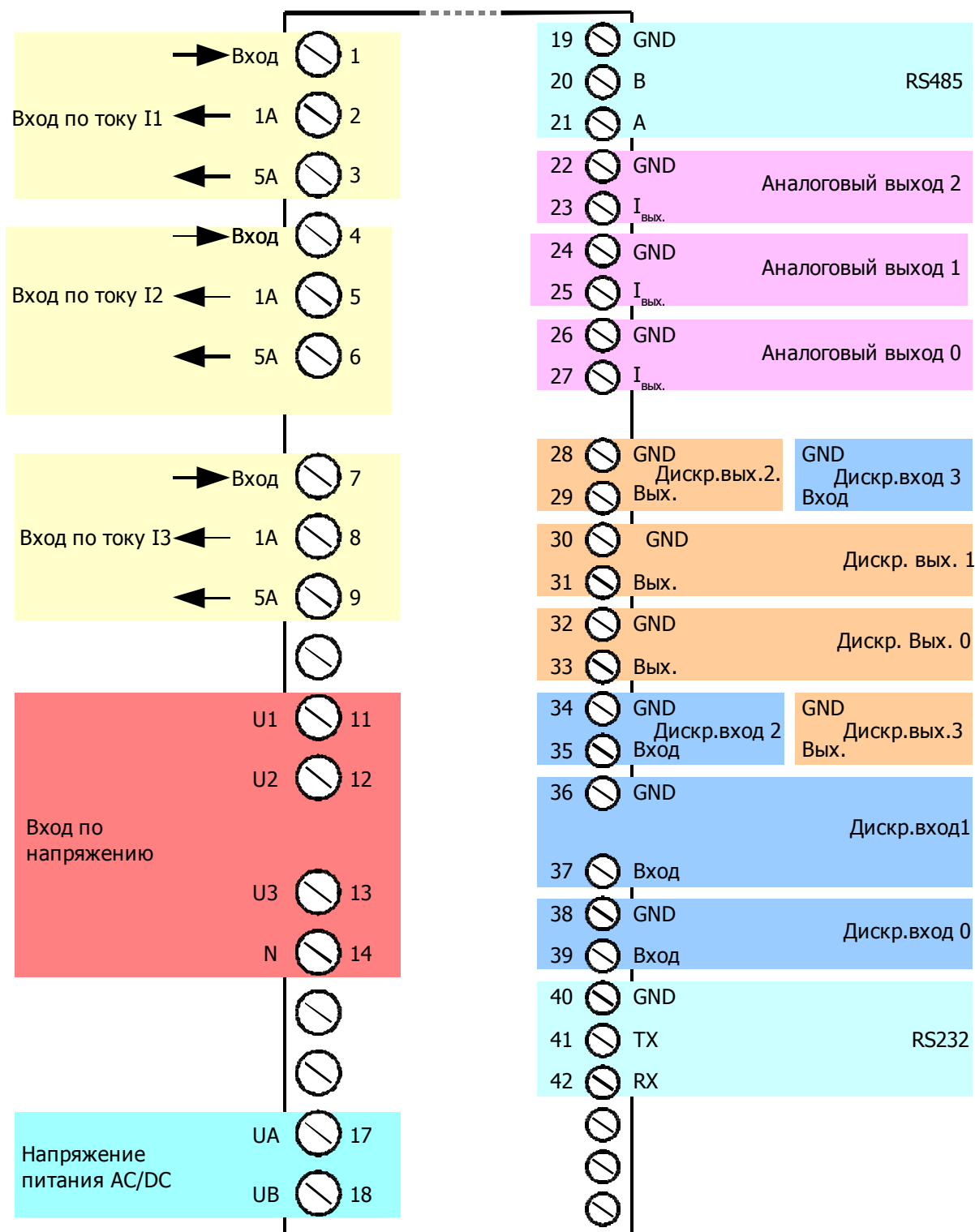


Рис. 2.2: Распределение клемм

2.2.1 Включение при трёхфазном измерении

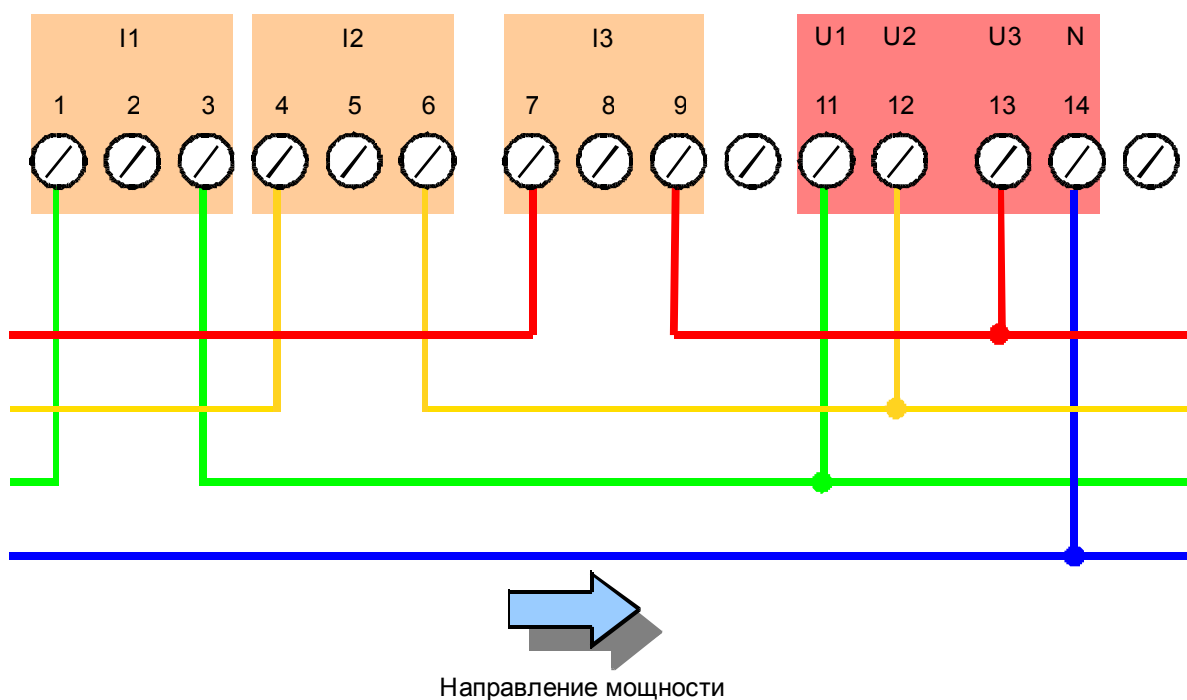


Рис. 2.3: Включение при трёхфазном измерении

2.2.2 Включение при измерении схемой Арона.

Подробное описание измерения схемой Арона см. в подразделе 2.4.5.2

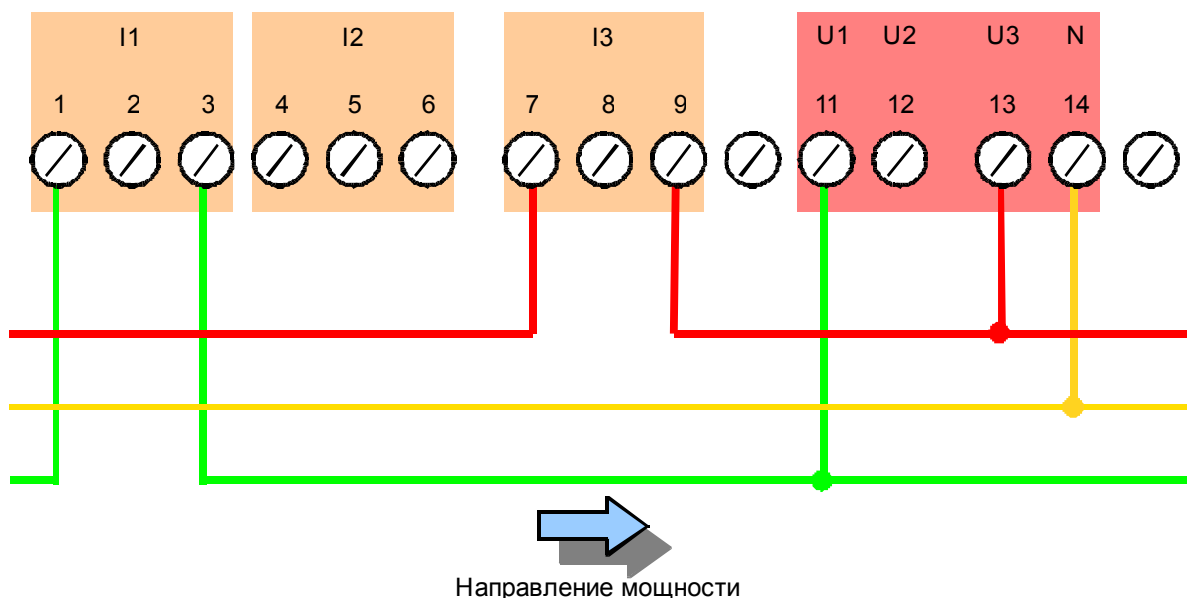


Рис. 2.4: Включение при измерении схемой Арона.

2.3 Передняя панель

На передней панели устройств TMTG 3F во всех случаях имеется 4 светодиода, дающие информацию о состояниях работы устройства. Опционально возможно

исполнение с поверхностью пользователя, состоящей из LCD индикатора и шести кнопок.

2.3.1 Светодиоды для сигнализации состояния

Значения светодиодов представлены в следующей таблице:

Таблица 2.2: Светодиоды

Цвет	Обозначение	Значения
Зеленый	PWR	<ul style="list-style-type: none"> Постоянно горит при наличии напряжения питания и исправном блоке питания.
Желтый	SYNC OUT	<ul style="list-style-type: none"> Постоянно горит, если выборка не синхронизирована с частотой входного сигнала. Если хотя бы один входной сигнал больше $0.05U_n$ и частота входного сигнала 47.5...52.5Гц, то устройство синхронизируется за пару секунд. При скачках напряжения возможно рассинхронизация.
Зеленый	COMM	<ul style="list-style-type: none"> Мигание светодиода происходит при приеме/передаче информации.
Красный	ERR	<ul style="list-style-type: none"> При включении питания мигает быстро короткое время, потом гаснет. Это означает установку основных параметров (INI) Медленное мигание: программа работает, но обнаружена ошибка. Код ошибки можно считать из регистра ошибок (см. подраздел 4.2.4) Постоянно горит: программа не работает, необходим ремонт.

2.3.2 LCD, кнопки

Индикатор LCD и 6 кнопок служат для отображения измеренных устройством величин и для установки некоторых параметров работы и часов устройства.

- Индикация измеренных величин

После включения питания на индикаторе появляется *основная картина*, показывающая актуальную дату и время, соответствующие часам устройства, а также суммарную потребленную активную энергию (положительного знака). С помощью кнопок \uparrow (вверх) и \downarrow вниз можно выбрать актуальные значения остальных измеренных величин, по порядку, одного за другим. Кнопками же \leftarrow (налево) и \rightarrow направо можно выбрать один из двух способов индикации. Первый из них является основным, когда относительно большими цифрами показана одна измеренная величина. При втором способе - небольшими цифрами, в одном или двух столбцах, в трёх или четырёх строчках - показано несколько измеренных величин. В этом случае кнопками \uparrow и \downarrow выбираются группы.

Мгновенные значения (U , I , P , Q ...и т.п.) показаны всегда с фиксированной запятой, точностью 4 знака, с использованием обычных префиксов SI [р, п, м, т, к, М, G]. Формат (префикс SI, место запятой) определяется номинальным значением, измеренным устройством (входы и трансформаторы).

Например, в случае 230,94В и 25А:

- Формат напряжения: **230,9**
- Формат тока: **25,00**
- Формат мощности ($S_{ном} = 3 \cdot 230,94В \cdot 25А = 17\,320,5ВА$): **17,32к**

Эти значения - в случае индикации единственной величины - показываются цифрами высотой 7 мм, а при групповой индикации – в двух столбцах.

Суммарные значения энергии показаны в формате с фиксированной запятой, точностью 9 знаков. Число знаков после запятой и префикс SI совпадают с форматом номинальной мощности.

Например, при непрерывном измерении 230,94В и 25А в течение 100 часов:

Формат энергии ($E = 17,3205\text{kVA} \cdot 100\text{ч} = 1,732050\text{MVAч}$): 1732,05к

Такие значения из-за большого числа цифр - в случае отображения единственной величины - показываются цифрами высотой 5 мм, а при групповом отображении – в одном столбце.

ВНИМАНИЕ! Показанная энергия из-за внутреннего изображения чисел переполняется на нуль не после 999...999, а после измерения номинальной энергии в течение 50 000 часов.

$E_{\text{max}} = 50000\text{ч} \cdot 3 \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{НОМ}}$. То есть в случае примера, указанного выше, после 866,025 МВАч. (См. ещё подразделы 4.2.2 и 4.5).

- Установка параметров работы

Пока на индикаторе видна основная картина, нажатием кнопки ОК можно вступить в иерархическую систему меню. Переход между пунктами меню осуществляется кнопками \uparrow и \downarrow . Отдельные пункты меню могут содержать подпункты, функции или картины ввода данных. Их активизация производится кнопкой ОК. Переход на более высокий уровень меню возможен кнопкой ESC.

Имеется три различных картины ввода данных:

- *Оди́нарный выбо́р* (например, скорость коммуникации). Возможности выбора перечислены и видны друг под другом. Из них всегда выбирается только один. Перед каждой строчкой изображён круг. Заполненный круг указывает на выбранный вариант. (Выбирается кнопками \uparrow , \downarrow и ОК.) Если имеется больше возможностей, чем одновременно может уместиться на LCD, то при заходе за верхний или нижний элемент, лист катится дальше и становятся доступными остальные элементы.
- *Многokraтный выбо́р*. Возможности выбора указаны друг под другом. Здесь каждый элемент может быть выбран, не зависимо друг от друга. Перед каждой строчкой можно видеть квадратик. Заполненный квадратик указывает на актуально выбранный элемент. (Выбирается кнопками \uparrow , \downarrow и ОК.) Если имеется больше возможностей, чем одновременно может уместиться на LCD, то при заходе за верхний или нижний элемент, лист катится дальше и становятся доступными остальные элементы.
- *Цифровой ввод данных*. (например коэффициент трансформаторов). На картине можно видеть одно или несколько полей ввода. Из них только одно является активным, указанное мигающим курсором.

Если ни одно из полей не является активным, то под действием кнопки ESC индикатор выходит из картины ввода данных. Кнопками → и ↓ активируется верхнее поле, а кнопками ← и ↑ - нижнее.

Если любое поле является активным, то курсор передвигается кнопками → и ← . Кнопками же ↑ и ↓ выбирается знак (-), цифра, запятая или префикс SI [p, n, μ, m, k, M, G]. Если курсор стоит на пустом поле после последнего символа, то нажатием кнопки → активируется следующее поле редактирования. Кнопкой ESC редактирование прерывается, поле деактивируется.

Иерархия меню и примечания к отдельным возможностям установки указаны в таблице ниже.

Таблица 2.3 Система меню

Меню			Примечание
Главное меню	Коммуникация	Адрес	Адрес устройства может быть установлен в области 1...250. В случае установки значения, меньше 1, адрес будет 1, а при значении больше 250, адрес будет 250. Для актуализации установки необходим повторный пуск устройства!
		Скорость	Для актуализации установки необходим повторный пуск устройства!
	Входы	Трансформаторы	Согласно индикации нужно установить первичные значения трансформаторов. Например, 300A/5A. Точнее говоря, входное значение, на которое устройство отвечает его номинальным уровнем сигнала.
		вариант 1A/5A	В случае входа 1A/5A необходимо выбрать актуально использованный вход. При другом типе входа установка не оказывает влияния.
	Часы		Установка часов (даты и времени)
	Reset устройства		Повторный пуск устройства

2.4 Логическое построение

Задачей программы устройства является: измерение, хранение измеренных значений, управление цифровыми входами и выходами, коммуникация по каналу RS485. Логическое построение программы представлено на рис. 2.5. Далее следует описание отдельных логических частей. Описание регистров и полная информация о передаче данных находятся в разделе 4. Полная информация о работе отдельных элементов устройства даётся совместно в настоящем подразделе и разделе 4.

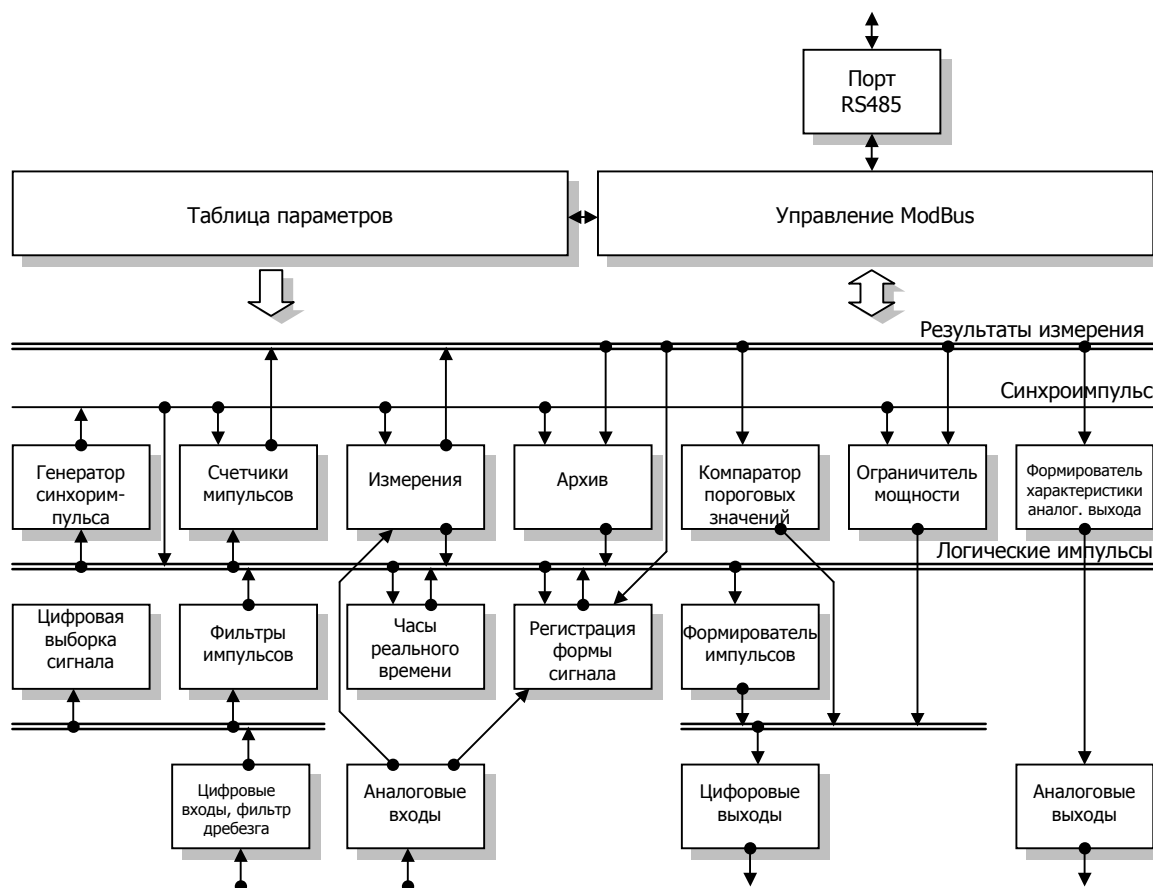


Рис. 2.5: Логическая блок-схема

2.4.1 Таблица параметров

Как показано в дальнейшем описании, работа отдельных логических частей может быть установлена по-разному. Установки и калибровочные коэффициенты хранятся в таблице параметров. Таблицы параметров находится в энергонезависимой памяти FLASH, т.о. ее содержание не теряется при отключении устройства от сети питания. Подробное содержание таблицы представлено в разделе 4.2.7.

2.4.2 Аналоговые входы, калибровка

Задачей блока «аналоговые входы» (рис. 2.5) является выборка мгновенных значений входных сигналов и умножение входной величины на калибровочные константы (калибровка).

Выборка входных сигналов синхронизирована с сигналами напряжения с помощью PLL (петли, замкнутой на фазу). Таким образом, обеспечивается целое число проб (64 шт.) за период входного сигнала. Это особо важно при вычислении гармонических составляющих. (Подробности работы устройства, связанные с выборкой входных сигналов, приводятся в Приложении 5.1).

Постоянная погрешность входных цепей и АЦП компенсируется коэффициентами калибровки каждого канала. Коэффициенты калибровки входных каналов тока и напряжения устанавливаются при настройке устройства, изменить их пользователь не может. Блок аналоговых входов,

после калибровки измеренных величин с помощью этих коэффициентов, передает данные на блок «Измерение».

2.4.3 Цифровые входы, фильтры импульсов, цифровая выборка

Блок-схема программы обработки цифровых входов представлена на рис. 0.

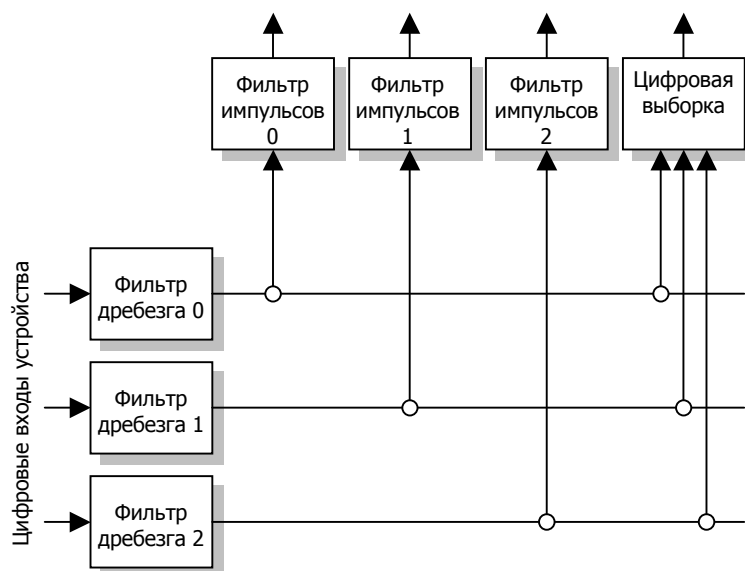


Рис. 2.6: Цифровые входы и их обработка

Непосредственно на входе установлены фильтры дребезга, которые отфильтровывают переходные процессы внешних механических элементов. Эти фильтры каждую миллисекунду опрашивают цифровые входы. Уровень считается стабильным, когда одно и тоже значение было измерено за последние N_{PR} мсек. (рис. 2.7). Значение N хранится в таблице параметров.

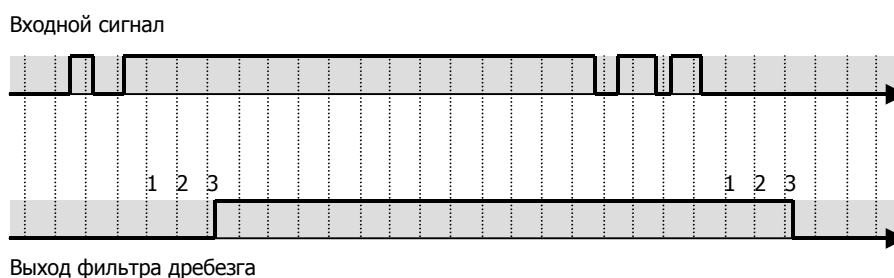


Рис. 2.7: Фильтр дребезга при $N_{PR}=3$

Блок цифровой выборки производит опрос выходов фильтров дребезга с устанавливаемой периодичностью в T_{SDIG} . Результат опроса каждого канала записывается в свой 16 битный регистр сдвига, содержание которых можно считать через канал RS485. Так, например, при $T_{SDIG}=100$ мс можно считать значения за последние 16×100 мс=1,6с.

Выходы фильтров дребезга с периодом в 1 мс опрашиваются фильтром импульсов, которые при каждом переходе $1 \rightarrow 0$ выдают логический импульс (информация о логическом импульсе находится в следующем разделе), если до этого уровень 1 продолжался не менее минимального и не более максимального установленного времени. Слежение за продолжительностью может быть выключено, при этом устройство не следит за продолжительностью

уровня 1. Если установленное максимальное время меньше минимального, то устройство не принимает во внимание это максимальное время (рис. 2.8).

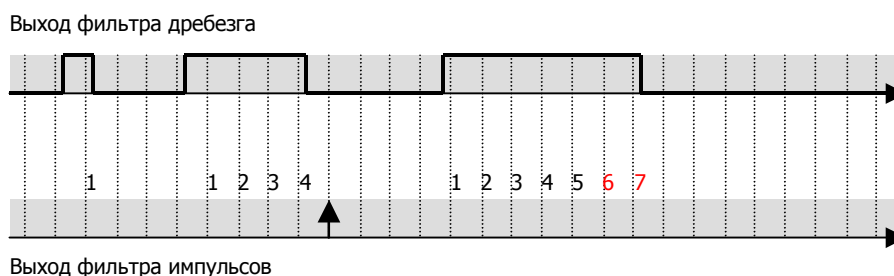


Рис. 2.8: Работа фильтра импульсов в случае $T_{MIN}=2мс$ и $T_{MAX}=5мс$

2.4.4 Логические импульсы, программные импульсы

Логические импульсы являются внутренними сигналами программы управления и генерируются некоторыми частями устройства и используются как источники сигнала другими частями. Источники логических импульсов представлены на рис. 2.9. Дальнейшую информацию см. в подразделах, где рассмотрена работа частей, показанных на рисунке.

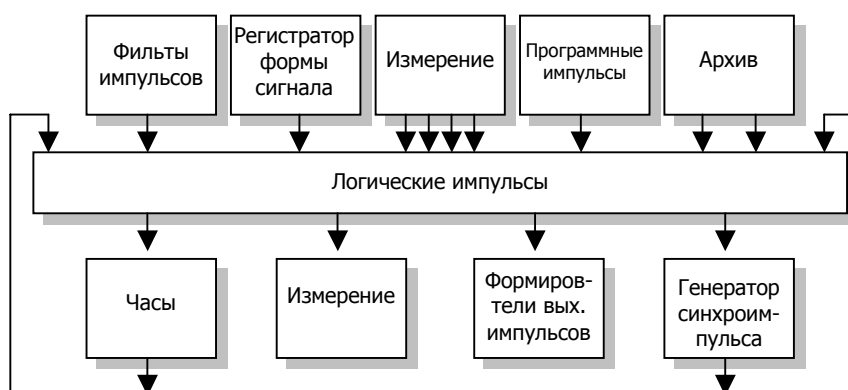


Рис. 2.9: Логические импульсы

Логические импульсы можно заменить командами в определенных регистрах ModBus (см. подраздел 4.2.5). Это программные импульсы. С их помощью устройство можно синхронизировать к дейтограмме ModBus.

2.4.5 Измерение

Сигналы с АЦП поступают в блок измерения, где каждые $T_{MEAS}=20мс$ происходит вычисление действующего значения токов и напряжения, вычисление мощности, коэффициента мощности, энергии и т.п. за последние 2 периода (40мс). На входы устройства в результате выборки поступает 3 сигнала тока и 3 сигнала напряжения. Из них по схемам, изображенным на рис. 2.10 и 2.11 образуются результаты измерений. На основе рисунков возможна интерпретация физического значения отдельных результатов измерения в случае трёхфазной схемы или при схеме Арона. Их краткое описание даётся в последующих подразделах.

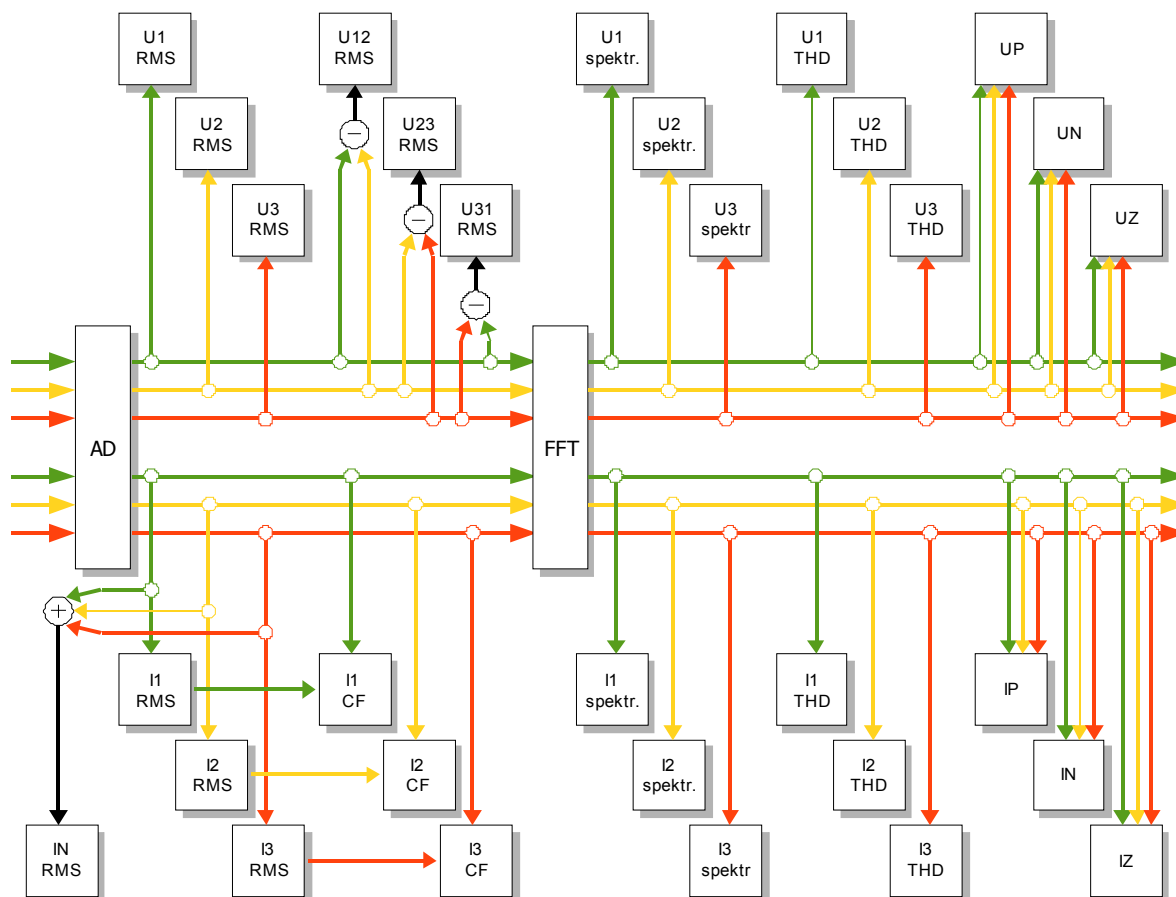


Рис. 2.10: Измерение I.

Преобразователь суммирует отдельно потребленную и рекуперированную активную (E_{P+} , E_{P-}), индуктивную и емкостную энергию (E_{Q+} , E_{Q-}). К каждому из видов энергии относится по два счетчика, которые не обнуляются. Встроенной памяти достаточно на 5.7 лет при постоянном измерении номинальной мощности. После этого происходит переполнение счетчика с последующим обнулением. Временные счетчики энергии обнуляются синхроимпульсом. Значения счетчиков перед обнулением могут быть считаны из специальных регистров. Если синхроимпульс не поступает, то в случае измерения номинальных значений мощности счетчики переполняются через час. (Это означает, что при поступлении синхроимпульсов через каждые 15 мин. - переполнений не происходит.) О переполнении информирует специальный бит состояния.

Значения энергии сохраняются в памяти, защищенной литиевой батареей, поэтому они не теряются даже при выключении питания.

Модуль измерения генерирует логические импульсы, число которых пропорционально четырём измеренным значениям энергии. Эти импульсы могут поступать на счётчики импульсов или вход формирователей выходных импульсов. Значение энергии, относящейся к одному импульсу, записано в таблице параметров.

К модулю измерений относятся специальные биты состояния, которые информируют о работе модуля. Содержание битов стирается синхроимпульсом. Перечень битов состояния приведен в разделе 4.2.2.7.

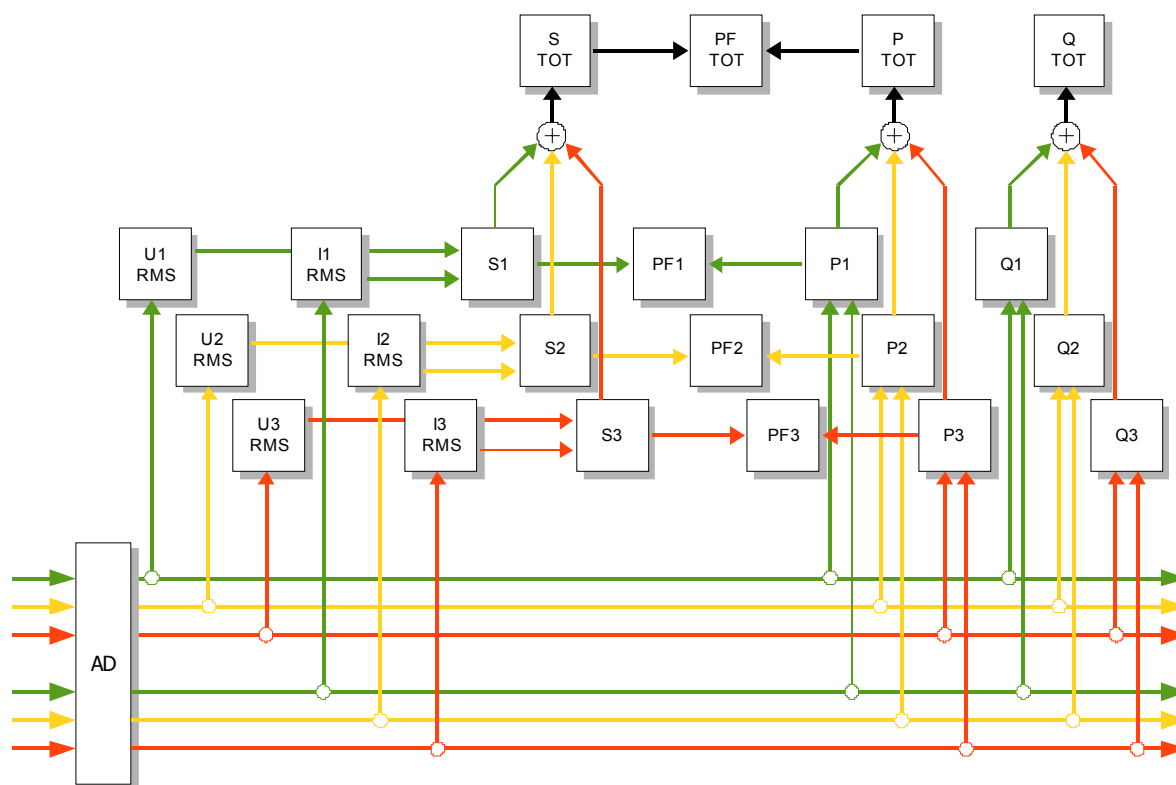


Рис. 2.11: Измерение II.

Задачей модуля измерений является спектральная обработка входных сигналов. Из выборок входного сигнала устройство с частотой $F_S=3200\text{Гц}$ за 8 периодов по алгоритму FFT (быстрое Фурье-преобразование) вычисляет гармонические составляющие тока и напряжения по 31 гармонику. Выборка сигнала синхронизирована к входному сигналу, т.о. вычисление FFT происходит из результатов выборки ровно за 8 периодов. Действующие значения гармонических составляющих можно прочесть из соответствующих регистров. (Дополнительная информация приведена в Приложении 5.1 и 5.2 данного руководства).

2.4.6 Трёхфазное измерение

Схема подключения для трёхфазного измерения показана на рис. 2.3. На входы I1, I2 и I3 устройства соответственно подаются токи I_R , I_S и I_T , на вход UN подключается нулевой провод, а на входы U1, U2 и U3 – три фазных провода соответственно. В этом случае каждый результат измерения даёт физически истолкуемый результат (см. таблицу 2.4 в следующем подразделе).

2.4.6.1 Измерение по схеме Арона

Схема Арона применяется, когда в системе нет нулевого провода и необходимо измерить в первую очередь суммарную трёхфазную мощность. В этом случае трёхфазная мощность может быть измерена двумя измерительными приборами. Включение при этом изображено на рис. 2.4.

Трёхфазная мощность может быть выражена фазовыми напряжениями и фазовыми токами:

$$P = U_R \cdot I_R + U_S \cdot I_S + U_T \cdot I_T \quad (2.1)$$

Если нет нулевого провода, то для трёх фазовых токов справедливо:

$$0 = I_R + I_S + I_T$$

$$I_S = -I_R - I_T \quad (2.2)$$

В этом случае мощность:

$$P = U_R \cdot I_R + U_S \cdot (-I_R - I_T) + U_T \cdot I_T$$

$$P = U_R \cdot I_R - U_S \cdot I_R - U_S \cdot I_T + U_T \cdot I_T$$

$$P = (U_R - U_S) \cdot I_R + (U_T - U_S) \cdot I_T \quad (2.3)$$

Как видно по выражению 2.3, если нет нулевого провода, то мощность может быть измерена двумя измерительными приборами. Один из них мерит линейное напряжение между фазами R и S и ток фазы R, а другой – линейное напряжение между фазами T и S и ток фазы T.

Таким образом, включение устройства TMTG по схеме Арона должно быть выполнено как указано выше. В таком случае из трёх измерителей мощности, имеющих в устройстве, используется два – по схеме рис.2.4:

- На токовый вход первого измерителя (токовый вход I1) подаётся ток фазы R, на точку N входов напряжения – фаза S, а на точку U1 – фаза R. Таким образом, на измеритель P1 подано линейное напряжение между фазами R и S и фазовый ток R.
- Измеритель P2 не используется.
- На токовый вход измерителя P3 (токовый вход I3) подаётся ток фазы T, на точку N входов напряжения - фаза S, а на точку U3 – фаза T. Таким образом, на измеритель P3 подано линейное напряжение между фазами T и S и фазовый ток T.

В случае измерения по схеме Арона из результатов измерения устройства только несколько имеет физический смысл. Они перечислены в следующей таблице:

Таблица 2.4: Истолкование результатов измерения при разных включениях

Результат измерения	Трёхфазное включение	Схема Арона
U1 RMS	UR Фазное напряжение RMS	URS линейн. напряж. RMS
U2 RMS	US Фазное напряжение RMS	0
U3 RMS	UT Фазное напряжение RMS	UTS линейн. напряж. RMS
U12 RMS	U линейное напряжение RS	Не м.б. истолковано
U23 RMS	U линейное напряжение ST	Не м.б. истолковано
U31 RMS	U линейное напряжение TR	Не м.б. истолковано
Спектр U1	UR спектр фазного напряжения	Спектр лин. напр. URS
Спектр U2	US спектр фазного напряжения	0
Спектр U3	UT спектр фазного напряжения	Спектр лин. напр. UTS
THD U1	UR Фазное напряжение THD	URS линейн. Напр. THD
THD U2	US Фазное напряжение THD	0
THD U3	UT Фазное напряжение THD	UTS линейн. Напр. THD

UP	Сост. напр. полож. последов.	Не м.б. истолковано
UN	Сост. напр. отриц. последов.	Не м.б. истолковано
UZ	Сост. напр. нулевой последов.	Не м.б. истолковано
I1 RMS	IR фазовый ток RMS	IR фазовый ток RMS
I2 RMS	IS фазовый ток RMS	0
I3 RMS	IT фазовый ток RMS	IT фазовый ток RMS
IN RMS	Нулевой провод RMS	IS фазовый ток RMS
I1 CF	IR Фазовый ток CF	IR Фазовый ток CF
I2 CF	IS Фазовый ток CF	0
I3 CF	IT Фазовый ток CF	IT Фазовый ток CF
Спектр I1	IR Спектр фазового тока	IR Спектр фазового тока
Спектр I2	IS Спектр фазового тока	0
Спектр I3	IT Спектр фазового тока	IS Спектр фазового тока
THD I1	IR Фазовый ток THD	IR Фазовый ток THD
THD I2	IS Фазовый ток THD	0
THD I3	IT Фазовый ток THD	IT Фазовый ток THD
IP	Сост. тока полож. последов.	Не м.б. истолковано
IN	Сост. тока отриц. последов.	Не м.б. истолковано
IZ	Сост. тока нулевой последов.	Не м.б. истолковано
P1	Активная мощность фазы R	Не м.б. истолковано
P2	Активная мощность фазы S	Не м.б. истолковано
P3	Активная мощность фазы T	Не м.б. истолковано
P TOT	Сумм. трёхфазн. активн. мощн.	Сумм. трёхф. активн. мощн
Q1	Реактивная мощность фазы R	Не м.б. истолковано
Q2	Реактивная мощность фазы S	Не м.б. истолковано
Q3	Реактивная мощность фазы T	Не м.б. истолковано
Q TOT	Сумм. трёхф. реакт. мощность	Сумм. трёхф. реакт. мощн.
S1	Полная мощность фазы R	Не м.б. истолковано
S2	Полная мощность фазы S	Не м.б. истолковано
S3	Полная мощность фазы T	Не м.б. истолковано
S TOT	Трёхф. сумм. полная мощность	Не м.б. истолковано
PF1	Кэфф. мощности фазы R	Не м.б. истолковано
PF2	Кэфф. мощности фазы S	Не м.б. истолковано
PF3	Кэфф. мощности фазы T	Не м.б. истолковано
PF TOT	Трёхф. сумм. коэфф. мощности	Не м.б. истолковано

2.4.7 Внутренние часы

TMTG оснащен внутренними часами реального времени. В зависимости от настройки устройство может отслеживать переход летнее/зимнее время. Внутренние часы не останавливаются и не сбрасываются при отключении устройства от питания. В памяти ИС часов (несколько десятков байт) содержатся значения энергии, значения внутренних счётчиков импульсов, данные массивов, находящегося в памяти FLASH (количество массивов, индекс последнего массива и т.п.)

Внутренние часы имеют логический импульсный выход, который может быть использован для выработки внутреннего синхронного сигнала или выходного синхроимпульса.

Период выходных импульсов часов устанавливается в пределах 1 - 60 минут с шагом в 1 минуту. Отметка времени импульсов рассчитывается следующим образом: количество минут, прошедших со времени 01.01.2000 00:00:00 делится на установленный период. Если остаток 0, тогда в 00 секунд будет выдан логический импульс. Например, при установленном периоде в 15 минут логические импульсы будут выданы в XX:00:00, XX:15:00, XX:30:00 и XX:45:00. При периоде в 10 минут импульсы будут выданы в XX:00:00, XX:10:00, ... XX:50:00. Если установленный период выбран так, что при делении получается остаток, тогда в каждый час импульс будет выдан в разную минуту.

Часы можно синхронизировать к любому логическому импульсу (кроме своего и синхроимпульса). По синхроимпульсу часы устанавливаются к следующей целой минуте.

2.4.8 Генератор синхроимпульсов

На рисунке 2.12 показано, какие операции происходят по синхроимпульсу: запись массива в архив, обнуление счетчиков импульсов и временных счетчиков энергии, обеспечение синхроимпульсом устройств управления выходными импульсами. Синхронным сигналом в устройстве является логический импульс, вызванный другим логическим импульсом, выбранным в таблице параметров.

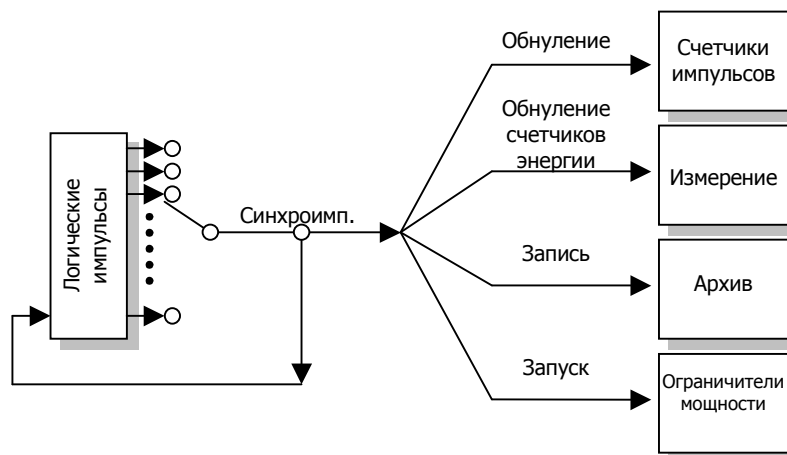


Рис. 2.12 : Генератор синхроимпульса

2.4.9 Счетчики импульсов

Устройство содержит три 16 битных счетчика импульсов. Входом каждого из них может быть логический импульс. Показание счётчика под действием входного сигнала увеличивается на один. Обнуление происходит по синхроимпульсу. Состояние счетчиков до обнуления можно считать из специальных регистров. После 19 999 счетчики обнуляются, об этом информирует специальный бит.

2.4.10 Архив, массивы измерений, события напряжения.

TMTG 3F содержит 2 Мбайта памяти FLASH, в которой находится архив, содержащий массивы измеренных величин и массивы событий напряжения.

Запись в архив происходит по синхроимпульсу. Массив измеренных данных может содержать следующие значения (дополнительно):

Таблица 2.5: Содержание массива измерений

Опция	Дополнительно, измеряемые величины
Текущие значения	
▪ Фазное напряжение	U_R, U_S, U_T
▪ Линейное напряжение	U_{RS}, U_{ST}, U_{TR}
▪ Симметричные составляющие фазового напряжения	U_1, U_2, U_0
▪ Коэффициент искажения напряжения.	$THD_{UR}, THD_{US}, THD_{UT}$
▪ Фазовые токи	I_R, I_S, I_T
▪ Ток нулевого провода (вычисленный)	I_N
▪ Симметричные составляющие тока	I_1, I_2, I_0
▪ Коэффициент искажения тока	$THD_{IR}, THD_{IS}, THD_{IT}$
▪ Кресс-фактор тока	$CF_{IR}, CF_{IS}, CF_{IT}$
▪ Активная мощность	$P_R, P_S, P_T, \Sigma P$
▪ Реактивная мощность	$Q_R, Q_S, Q_T, \Sigma Q$
▪ Полная мощность	$S_R, S_S, S_T, \Sigma S$
▪ Коэффициент мощности	$PF_R, PR_S, PF_T, PF_\Sigma$
▪ Частота	F
▪ Минимум, максимум (опция)	Если эта опция не выбрана, тогда устройство регистрирует среднее значение выбранной величины между двумя синхроимпульсами. При выборе этой опции кроме среднего значения устройство регистрирует минимальное и максимальное
Потребленная энергия	
▪ Временное значение потребленной энергии	Значение интегрированной энергии $E_{P+}, E_{P-}, E_{Q+}, E_{Q-}$ между двумя синхроимпульсами.
▪ Суммарные значения энергии	Актуальное значение счётчиков суммарной энергии в момент записи
Показание счетчиков	
▪ Показания счетчиков	$CNTR_0, CNTR_1, CNTR_2$

В архиве под массивы данных и событий выделено 1.8МБайт. Количество массивов зависит от выбранных опций. При выборе всех опций возможна запись примерно 6500 массивов, что при записи через каждые 15 мин означает данные за 70 дней. Если же не регистрировать мин. и макс. значения, то памяти хватает на 15500 массивов, что позволяет хранить даже минутные значения за 11 дней. При малом количестве регистрируемых параметров устройство хранит максимум 65535 даже, если вся память не использована. При переполнении памяти на место самых старых записываются новые данные.

ВНИМАНИЕ! При изменении опций содержание всех массивов стирается, так как в архиве можно хранить лишь значения одинаковой структуры!

Событием в сети напряжения является выход действующего значения измеряемого напряжения за пределы $0,9 \cdot U_{NE} \dots 1,1 \cdot U_{NE}$ (U_{NE} - номинальное значение). В следующей таблице приведен список событий с уровнями напряжения, регистрируемый в архив:

Таблица 2.6: Классификация событий напряжения

диапазон [%]	Значение напряжения при $U_{NE}=230,94$ [V]	Тип события
120...	277,13	Перенапряжение
115...120	265,58...277,13	
110...115	254,03...265,58	
70...90	161,66...207,85	Спад напряжения
40...70	92,376...161,66	
20...40	46,188...92,376	
10...20	23,094...46,188	
0...10	0...23,094	Провал напряжения

Массив событий содержит номер фазы, идентификатор полосы (диапазона), время выхода из диапазона, время нахождения вне диапазона, значение напряжения. В случае перенапряжения это максимальное, а при спаде или провале напряжения - это минимальное значение.

Память массивов событий составляет 60kByte, что позволяет регистрировать 3072 массивов событий. При переполнении памяти на место самых старых записываются новые значения.

В случае регистрации событий действующее значение вычисляется не за 40 мс, а за пол периода. Это значение менее точное, зато позволяет быстрее отслеживать события.

При слежении за событиями напряжения учитывается полоса гистерезиса в $\pm 1\%$. Это означает, что определенный тип события регистрируется, если измеренное значение напряжения меньше на 1% нижней границы диапазона значений для номинального напряжения (согласно таблице IV) или больше на 1% верхней границы диапазона.

Скорость записи в память FLASH ограничена. При измерении сигнала напряжения, RMS значение которого колеблется около одной из границ диапазонов, указанных в таблице 2.6, несмотря на гистерезис $\pm 1\%$, возможно, что за короткое время происходит больше событий, чем за данное время может быть записано в память FLASH. Чтобы не было потери информации при частых событиях, информация о максимум 48 событиях записывается в буфер (RAM), работающий по принципу FIFO (First In – First Out). Это информация хранится в буфере до тех пор, пока не закончится предыдущая операция в памяти FLASH. Если объема буфера на хватило, то произойдет потеря информации, о чем свидетельствует соответствующий бит в регистре ошибок.

2.4.11 Регистрация формы сигнала.

Устройство способно производить запись сигналов (частоты выборки $F_S=3200$ Hz, отфильтрованной фильтром предотвращения наложения частот) шести аналоговых входов ($3xI$ и $3xU$), использованных к измерениям и расчёту FFT (быстрое Фурье-преобразование). В буфере формы сигнала может быть помещена последовательность, состоящая из 512 значений длительностью 160 мс и 8 периодов. Записанные значения являются 8-разрядными и служат

прежде всего для визуальной оценки. Запись производится в RAM, поэтому при выключении устройства записи теряются.

Запись сигнала происходит при выполнении условий срабатывания. При этом в буфер записываются 512 последних значений. В таблице параметров можно задать количество записей до выполнения условий (N_{PRE}). Таким образом, в памяти находится $512 - N_{PRE} = N_{POST}$ выборок, записанных после выполнения условий.

Начало записи определяется командой *старт*, записанной в соответствующем регистре ModBus. При этом начинается постоянная запись результатов выборок. Этим обеспечивается возможность регистрации до выполнения условий. После записи первых N_{PRE} значений устройство ждет сигнала выполнения. В памяти всегда находится 512 последних значений 6 каналов. При выполнении условий производится запись последующих N_{POST} значений. После этого запись прекращается, результаты измерения можно считать из соответствующих регистров. Команда *старт* стирает содержание буфера, и все повторяется сначала.

Условия срабатывания:

- ◆ По команде *trigger*;
- ◆ По логическому импульсу, выбранному из таблицы параметров;
- ◆ По исполнению условия, заданного к любому из 6 аналоговых входов;

Эти условия срабатывания задаются в таблице параметров и содержат следующее:

- ◆ Источник сигнала:
 - Не указан. В этом случае условие регистрации выключено.
 - U_1, U_2, U_3, I_1, I_2 или I_3 мгновенное значение (актуальное значение сигнала выборки)
 - U_1, U_2, U_3, I_1, I_2 или I_3 действующее значение.
- ◆ Пороги срабатывания
- ◆ Полярность изменения сигнала
 - Положительная:
Срабатывание происходит при сигнале больше установленного порогового значения.
 - Отрицательная:
Срабатывание происходит при сигнале меньше установленного порогового значения.

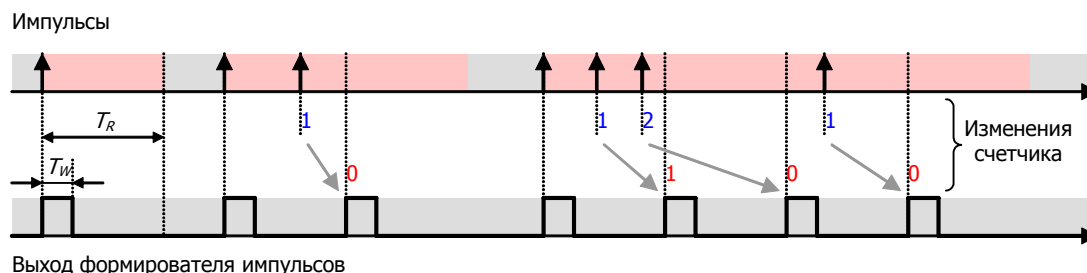
2.4.12 Формирователи импульсов.

Формирователи импульсов осуществляют связь между внутренними логическими импульсами и цифровыми выходами. Логические импульсы – это сигналы программы устройства, действующие во время одной итерации цикла работы. На цифровых выходах же должен появиться сигнал напряжения длной T_w .

Формирователи импульсов могут быть представлены как одновибраторы со счётчиком. Входом является любой логический импульс, выход может быть привязан к любому цифровому выходу. Возможна установка полярности, длины импульса T_w и паузы (время задержки) T_R , которая определяет минимальное время между двумя импульсами (рис.2.13).

Если за время паузы T_R придет новый логический импульс, то специальный счетчик увеличит свое содержимое на 1. Если после окончания времени T_R содержание счетчика не ноль, то формирователь выдает импульс, а содержание счетчика уменьшается на 1. Т.о. количество выходных импульсов будет совпадать с количеством входных. Счетчик импульсов 16 битный, поэтому, если количество входных логических импульсов будет больше 65535, то выходных импульсов будет меньше.

Если на вход формирователя импульсов не подключен ни один из логических импульсов, то управлять им можно через канал RS485 интерфейса.



• Рис. 2.13: Работа формирователя импульсов

2.4.13 Отслеживание пороговых значений (компаратор)

Входом блока отслеживания пороговых значений могут быть мгновенные значения измеряемых величин, промежуточные значения энергии, счётчики импульсов. Для каждого из пороговых значений могут задаваться отдельно порог срабатывания L , величина гистерезиса H и полярность сигнала выхода компаратора (рис.2.14).

Если компаратор не привязан ни к одному из перечисленных величин, то управление его выходом (установка 0 или 1 на выходе) возможно через канал RS485 интерфейса подачей определенной команды.

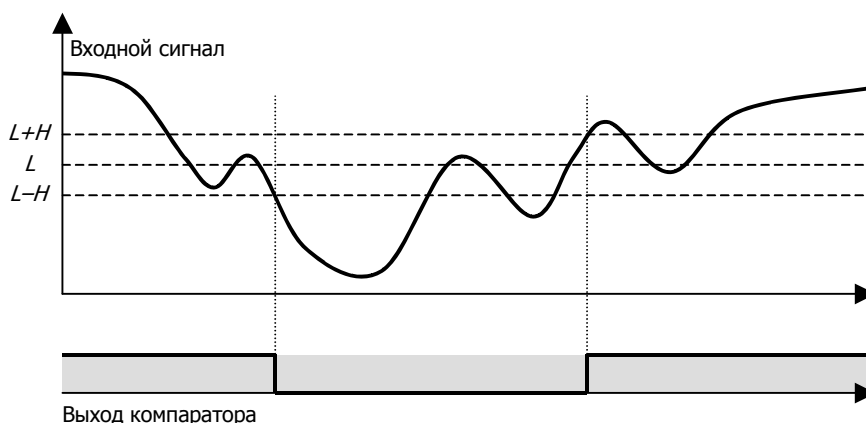


Рис. 2.14: Работа блока отслеживания порогового значения (компаратора)

2.4.14 Ограничитель мощности

TMTG 3F содержит три простых ограничителя мощности, которые могут быть соединены в каскад, образуя ограничитель мощности с 3 выходами.

Входами ограничителей мощности могут являться:

- временные счетчики потребленной энергии - 4 шт.

- счетчики импульсов - 3 шт.
- сумма показаний всех 3 счетчиков импульсов.

Каждый ограничитель имеет 2 выхода: сигнал выключения и сигнал предупреждения о превышении потребления.

Ограничение потребляемой энергии осуществляется на определенные промежутки времени. Производится постоянная оценка потребленной мощности и, если в конце заданного промежутка времени происходит превышение указанного значения, осуществляется ограничение посредством выдачи специального управляющего сигнала. Задача ограничения мощности прибором TMTG выполняется нижеописанным способом (принцип работы ограничителя поясняет рис. 2.15).

Входными параметрами ограничителей мощности могут быть монотонно возрастающие величины измерения, обнуленные синхроимпульсом, т.е. четыре промежуточных счётчиков энергии, три счётчика импульсов и кроме них сумма трёх счётчиков импульсов. Каждый ограничитель мощности имеет два выхода: сигнал переключения и выход, сигнализирующий зашкаливание (превышение допустимого предельного значения).

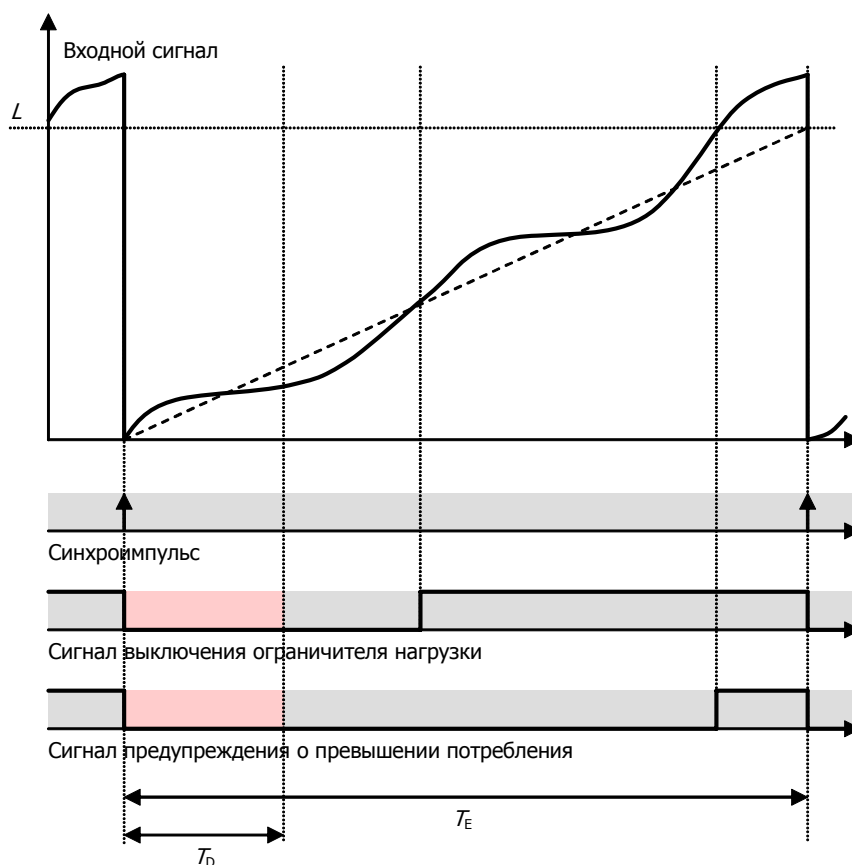


Рис. 2.15: Работа одноступенчатого ограничителя мощности

Как видно на рисунке 2.15, запуск ограничителя производится синхроимпульсом. При этом происходит установка обоих выходов в исходное положение. После запуска в течении времени ожидания T_D («мертвая зона» - несколько минут, которые устанавливаются в таблице параметров) ограничитель не делает прогноза и выключения. По истечении времени ожидания устройство делает прогноз о результате суммирования входного

сигнала M на конец заданного периода по формуле $M_E = M \cdot T_E / t$, где M_E прогноз потребленной энергии на конец периода T_E , t – время, пройденное от последнего синхроимпульса. Если вычисленное значение больше установленного уровня ($M_E > L$), то на выходе выключения нагрузки будет сигнал 1. При превышении измеряемого значения установленного уровня ($M > L$) на входе предупреждения о превышении потребления появится сигнал 1. По следующему синхроимпульсу оба выхода устанавливаются в 0. Длина периода T_E задается в таблице параметров, поскольку в случае внешнего синхроимпульса устройство не будет знать, когда придет следующий импульс, т.е. не будет знать длину периода T_E и не сможет сделать прогноз.

На практике возможно, что имеется даже несколько потребителей, отключаемых ограничителем мощности по устанавливаемому порядку очереди. Если ожидается превышение предела, ограничителем мощности отключается первый потребитель. После некоторого времени делается снова прогноз. Если всё ещё ожидается превышение, отключается второй потребитель, и т.п.

В случае необходимости ограничители потребления могут быть объединены в один 3-х ступенчатый ограничитель нагрузки. В этом случае, во всех 3-х ограничителях устанавливается тот же самый входной сигнал, период T_E , предел L , но время ожидания может быть установлено отдельно для каждого из ограничителей мощности. Как показано на рис. 2.16 ограничитель 1 срабатывает только после возможного срабатывания ограничителя 0 по истечении времени T_{D1} . Если ограничитель 0 не сработал, то и ограничитель 1 срабатывать не будет. Подобным же образом ограничитель 2 отслеживает срабатывание ограничителя 1.

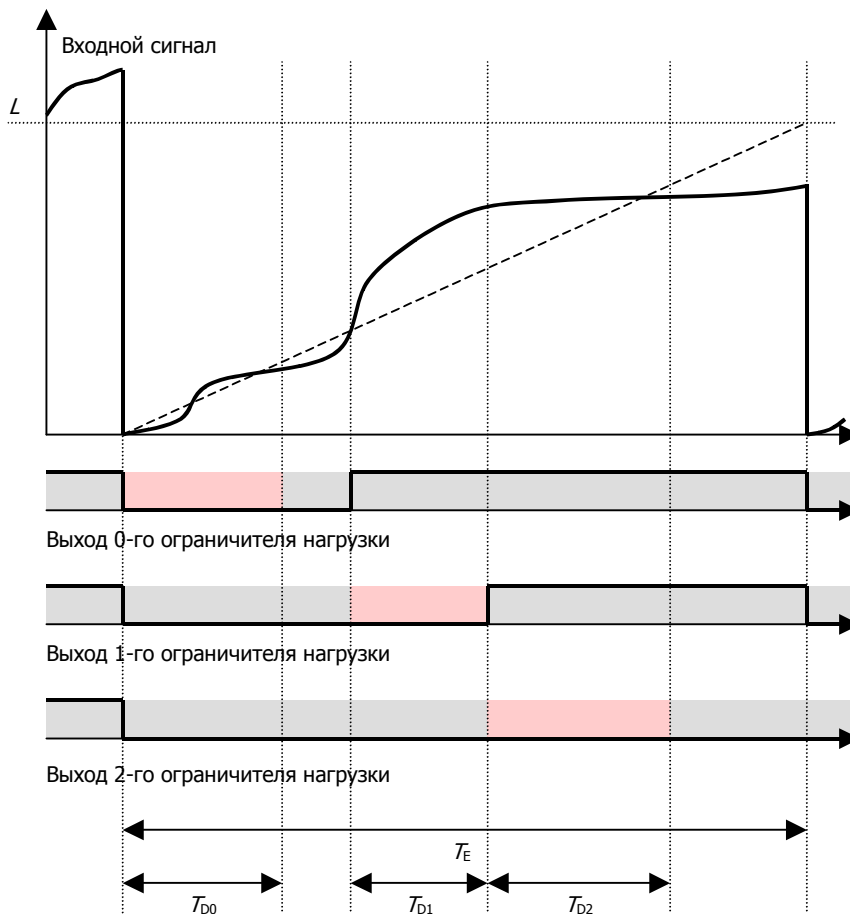


Рис. 2.16: Работа объединенных ограничителей нагрузки в каскадном режиме

В случае превышения потребления при объединенных ограничителях нагрузки, на выходах превышения нагрузки всех 3-х ограничителей будет 1.

Информация о срабатывании каждого ограничителя и о превышении нагрузки фиксируется состоянием соответствующего бита и т.о. регистрируется в архиве работы ограничителей потребления.

2.4.15 Цифровые выходы

Как видно из рис.2.17, цифровыми выходами могут быть формирователи импульсов, выход отслеживания пороговых значений и выход ограничителя мощности. Настройки выходов позволяют сменить полярность выходного сигнала.

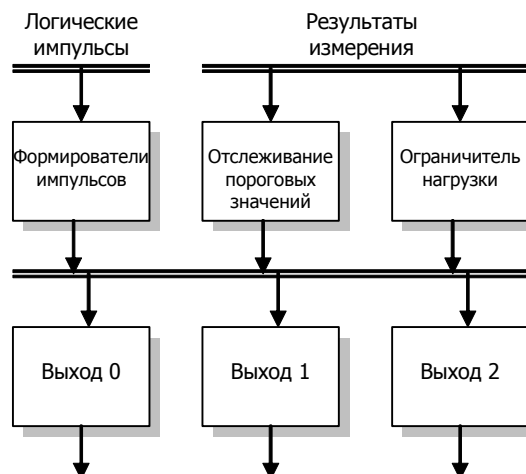


Рис. 2.17: Цифровые выходы

2.4.16 Формирователи аналоговых выходных характеристик

Формирователи аналоговых выходных характеристик производят согласование выходного тока с измеряемым сигналом. На вход формирователя аналогового выхода может быть подан любой измеряемый параметр. Каждый из 3-х аналоговых выходов можно настраивать отдельно. Линейная характеристика ограничена нижним и верхним порогом насыщения. (рис. 2.18).

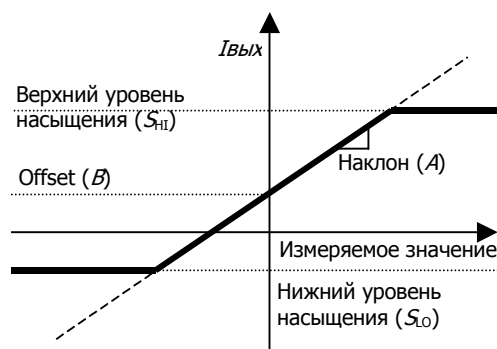


Рис. 2.18: Характеристика аналогового выхода

Например, при измерении мощности можно настроить аналоговый выход так, чтобы при мощности 0 Вт на выходе было 4 мА, а при номинальном значении – 20мА. Если нижний уровень не задан и в измеряемой цепи происходит рекуперация энергии, то есть $P < 0$, то на выходе генератора тока будет сигнал меньше 4 мА. Если нижний уровень задан (4 мА), то в этом случае при измеряемой мощности $P < 0$ на выходе будет ток 4 мА. Если это вызывает проблемы, то при установке $S_{LO} = 4$ мА даже при $P < 0$ ток будет не меньше 4 мА.

2.4.17 Аналоговые выходы

Устройство содержит 3 аналоговых выхода (см. Рис.2.19), на выходах которых возможен ток $-24 \dots 24$ мА при сопротивлении нагрузки макс. 500Ω . Каждый выход может быть настроен индивидуальным формирователем выхода. Если выход не настроен формирователем, то управление выходами возможно посредством канала последовательной связи RS485.

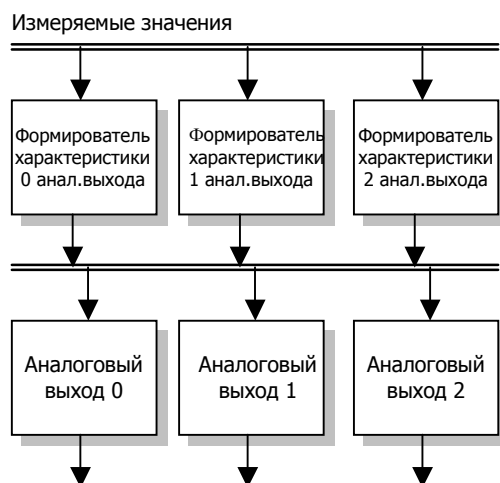


Рис. 2.19: Аналоговые выходы

2.4.18 Канал связи RS485 и RS232 интерфейса, управление ModBus

Протокол передачи подробно описан в разделах 3 и 4 данного руководства.

2.4 Технические параметры

Приведенные параметры действительны при диапазоне температур $T=0-50^{\circ}\text{C}$

Параметры	Мин.	Номинал	Макс.	Условия/примечания
Питание				
Питание AC [V]	70		265	Снабжено защитой surge по EN61000-4-5
Питание DC [V]	100		265	Питание DC должно быть без влияния переходных процессов от индуктивных переключений
Потребляемый ток [mA] Потребляемая мощность [W]		24 2,9		$U_{\text{пит.}}=230V_{\text{AC}}$, При $I_{\text{вых.}}=0\text{mA}$ на всех аналоговых выходах и постоянной коммутации RS485
Потребляемый ток [mA] Потребляемая мощность [W]		32 4,2		$U_{\text{пит.}}=230V_{\text{AC}}$, При $I_{\text{вых.}}=24\text{mA}$ на всех аналоговых выходах и постоянной коммутации RS485
Мощность, потребляемая по цепи питания, ВА, не более			8	
Входное напряжение				
Номинальное значение напряжения U_n , В				57,7; 100; 115; 230 в зависимости от исполнения
Диапазон измерений напряжения, %	0		$1,2 \cdot U_n$	
Перегрузочная способность			$2 \cdot U_n$	1 мин
Ток нагрузки [mA]		0,5		$U_{\text{вх}}=U_n$
Форма входного сигнала	периодическая			
Частота входного сигнала [Hz]	47,5		52,5	
Входной ток				
Номинальное значение силы тока I_n , А				1; 5 в зависимости от исполнения
Диапазон измерений силы тока, %	0		$1,2 \cdot I_n$	
Перегрузочная способность			$20 \cdot I_n$	1 мин
Напряжение на входе 1 А [mV]		15		$I_{\text{вх}} = 1 \text{ A}$, устройство включено
Напряжение на входе 5 А [mV]		25		$I_{\text{вх}} = 5 \text{ A}$, устройство включено
Форма входного сигнала	периодическая			
Частота входного сигнала [Hz]	47,5		52,5	
Погрешность (к номинальному значению, если нет другого примечания), при магнитной напряжённости помех: $H_{\text{RMS}} < 50 \text{ A/m}$ и $F_H = 50 \text{ Hz}$				
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения напряжения, %			$\pm 0,1$	$0,005 \dots 1,2 U_n$
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения силы тока, %			$\pm 0,1$	$0,005 \dots 1,2 I_n$
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения активной, реактивной и полной мощности, %			$\pm 0,2$	$0,005 \dots 1,2 U_n$ и $0,005 \dots 1,2 I_n$
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения коэффициента мощности			0,005	При $S > 0,2 S_n$
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения угла сдвига фаз, градус			$\pm 0,2$	Между напряжением и током основной частоты
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты, Гц.			$\pm 0,01$	В диапазоне 47,5-52,5 Гц, при $U > 0,6 U_n$
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения коэффициента амплитуды			$\pm 0,1$	
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения коэффициента гармоник напряжения (THD _v), %			$\pm 0,5$	В диапазоне 0-400%
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения коэффициента гармоник тока (THD _i), %			$\pm 0,5$	В диапазоне 0-400%
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения гармонических составляющих напряжения, %			$\pm 0,5$	Без ошибки измерения RMS значения
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения			$\pm 0,5$	Без ошибки измерения RMS значения

гармонических составляющих тока, %				
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения симметричных составляющих напряжения, %			± 0,5	Погрешность приведена к номинальному значению напряжения
Предел допускаемой приведенной погрешности измерения симметричных составляющих тока, %			± 0,5	Погрешность приведена к номинальному значению тока. Без ошибки измерения RMS значения
Предел допускаемой абсолютной погрешности хода внутренних часов, с/сутки			2	
Время достижения установившегося значения				
RMS, мощности, измерений CF [ms]			100	
THD, симметричные составляющие и гармонические измерения			160	
Гальваническая развязка				
Между входом и др. частями [V_{RMS}]			4000	См. рис. 2.1 50 Hz, до 1 мин
Между питанием и выходом [V_{RMS}]			2500	
Аналоговые выходы				
Ток [mA]	-24		24	
Сопротивление нагрузки [Ω]			500	
Предел допускаемой абсолютной погрешности задания тока (аналоговый выход), mA			± 0,1	В диапазоне от -24 до +24 mA, не включая погрешность измерения.
Цифровые входы				
Входное сопротивление [Ω]		3,2k		
Логический уровень 0 [V]	0		3	
Логический уровень 1 [V]	8		24	
Допустимый диапазон напряжения [V]	-5		50	
Выход Open collector				
Допустимый диапазон напряжения [V]	-5		60	
Выходной ток [mA]			300	
Прочие параметры				
Габаритные размеры (длина x ширина x высота), мм, не более	160x90x60			См. рис. 2.20
Масса, кг, не более	0,6			
Средняя наработка до отказа, ч, не менее	50000			
Защищенность	IP20			
Диапазон рабочих температур[°C]	0		50	
Соответствие стандартам	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EN61000-4-2 ▪ EN61000-4-4 ▪ EN61000-4-5 ▪ EN61000-4-6 ▪ IEC255-22-3 ▪ EN60255-5 			Аккредитировано под номером NAT-1-0967/2008 Испытано лабораторией релейной защиты ОВРАМ Органа Управления Энергосистемой Венгрии МАВИР

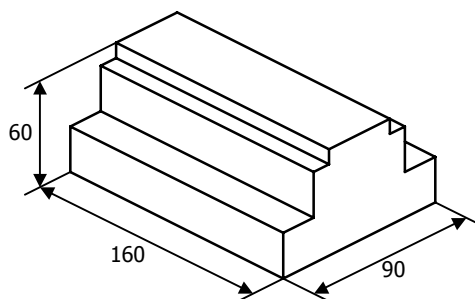


Рис. 2.20: Габаритные размеры

3 Канал связи

3.1 Канал последовательной асинхронной связи

Преобразователь снабжен каналом последовательной асинхронной связи RS485 интерфейса. В таблице задания параметров возможна установка следующих параметров:

- ◆ скорость передачи данных:
 - 9,6 kbaud
 - 19,2 kbaud
 - 28,8 kbaud
 - 38,4 kbaud
 - 57,6 kbaud
 - 115,2 kbaud
- ◆ 8 битов данных;
- ◆ 1 stopbit;
- ◆ чётная чётность;

3.2 Протокол

3.2.1 Используемые команды

Применяемый протокол ModBus RTU использует стандартные команды *Чтение Holding Регистров (0x03)*, *Запись в Holding Регистры (0x10)* и нестандартную команду для установки внутренних часов на ближайшую целую минуту (команда синхронизации часов). Устройство работает в режиме *slave*. Адрес устройства может быть установлен в интервале 1...249 в таблице параметров. Устройством также выполняются дейтаграммы, направленные по адресу 0x00 (broadcast), но в этом случае ответа не посылает.

Отличием от стандартного протокола является следующее:

- Отсутствие дейтаграммы ошибок: Устройство не отвечает в следующих случаях
 - При получении ошибочной дейтаграммы CRC;
 - При получении дейтаграммы с незнакомым кодом команды;
 - При записи в регистры длина дейтаграммы не соответствует полю «количество регистров»;
- При ссылке на не существующий регистр
 - Если в случае чтения регистров устройство дает ответ 0xFFFF,
 - Если при записи в регистр ничего не меняется,
- В случае команды 0x10 только переписывается содержание читаемых и записываемых регистров, но нет дейтаграммы ошибки, если команда записи поступает только на читаемый регистр.

Если в полученной дейтаграмме сумма начального адреса регистра и количество регистров больше 65536, то чтение и запись продолжается с регистра с 0 адресом после обработки регистра с адресом 65535 (например, в случае команды чтения 4 регистров начиная с регистра адресом 65534, в ответной дейтаграмме будет находиться содержание регистров 65534, 65535, 0, 1 адреса)

В случае коммуникации по линии RS485 в любом направлении перед обращением к устройству следует выдержать паузу в 10мс.

Независимо от установленной скорости передачи информации обработка дейтаграммы начинается спустя 5 мс после получения последнего знака дейтаграммы.

3.2.2 Построение дейтаграммы

Структура дейтаграмм:

3.2.3 Чтение Holding регистров

Команда выдает содержание N регистров, начиная с регистра адресом A (параметр)

Запрос:

0	1	2	3	4	5	6	7
Адрес устройства	Код команды: 0x03	Адрес первого регистра MSB(A)	Адрес первого регистра LSB(A)	Количество регистров MSB(N)	Количество регистров LSB(N)	MSB(CRC)	LSB(CRC)

Ответ:

0	1	2	3... 2·N +2	2·N +3	2·N +4
Адрес устройства	Код команды: 0x03	Количество байтов параметра (=2·N)	Содержание запрашиваемого регистра (в последовательности: MSB;LSB)	MSB(CRC)	LSB(CRC)

3.2.3.1 Запись в Holding регистры

Команда переписет содержание N регистров, начиная с регистра с адресом A (параметр). При этом изменится содержание только регистров запись/чтение.

Запрос:

0	1	2	3	4	5	6
Адрес устройства	Код команды: 0x10	Адрес первого регистра MSB(A)	Адрес первого регистра LSB(A)	Количество регистров MSB(N)	Количество регистров LSB(N)	Количество байтов параметра (=2·N)

7... 2·N +6	2·N +7	2·N +8
Новое содержание регистра (в последовательности: MSB; LSB)	MSB(CRC)	LSB(CRC)

Ответ:

0	1	2	3	4	5	6	7
Адрес устройства	Код команды: 0x10	Адрес первого регистра MSB(A)	Адрес первого регистра LSB(A)	Количество регистров MSB(N)	Количество регистров LSB(N)	MSB(CRC)	LSB(CRC)

3.2.3.2 Синхронизация часов

Под действием этой команды внутренние часы устройства переходят на следующую целую минуту.

Запрос:

0	1	6	7
Адрес устройства	Код команды: 0xFF	MSB(CRC)	LSB(CRC)

Ответ:

0	1	6	7
Адрес устройства	Код команды: 0xFF	MSB(CRC)	LSB(CRC)

3.2.3.3 Расчет CRC (пример в коде Turbo Pascal)

unit CRC;

INTERFACE

procedure CRC16(p : pointer; len : word; var Hi : byte; var Lo : byte);

IMPLEMENTATION

type

TByteArray = array[0..63999] of byte;

const

CRChi : array[0..255] of byte =

```
(
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,
  $01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40,$00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,
  $00,$C1,$81,$40,$01,$C0,$80,$41,$01,$C0,$80,$41,$00,$C1,$81,$40
);
```

CRClo : array[0..255] of byte =

```
(
  $00,$C0,$C1,$01,$C3,$03,$02,$C2,$C6,$06,$07,$C7,$05,$C5,$C4,$04,
  $CC,$0C,$0D,$CD,$0F,$CF,$CE,$0E,$0A,$CA,$CB,$0B,$C9,$09,$08,$C8,
  $D8,$18,$19,$D9,$1B,$DB,$DA,$1A,$1E,$DE,$DF,$1F,$DD,$1D,$1C,$DC,
  $14,$D4,$D5,$15,$D7,$17,$16,$D6,$D2,$12,$13,$D3,$11,$D1,$D0,$10,
  $F0,$30,$31,$F1,$33,$F3,$F2,$32,$36,$F6,$F7,$37,$F5,$35,$34,$F4,
  $3C,$FC,$FD,$3D,$FF,$3F,$3E,$FE,$FA,$3A,$3B,$FB,$39,$F9,$F8,$38,
  $28,$E8,$E9,$29,$EB,$2B,$2A,$EA,$EE,$2E,$2F,$EF,$2D,$ED,$EC,$2C,
  $E4,$24,$25,$E5,$27,$E7,$E6,$26,$22,$E2,$E3,$23,$E1,$21,$20,$E0,
  $A0,$60,$61,$A1,$63,$A3,$A2,$62,$66,$A6,$A7,$67,$A5,$65,$64,$A4,
  $6C,$AC,$AD,$6D,$AF,$6F,$6E,$AE,$AA,$6A,$6B,$AB,$69,$A9,$A8,$68,
  $78,$B8,$B9,$79,$BB,$7B,$7A,$BA,$BE,$7E,$7F,$BF,$7D,$BD,$BC,$7C,
  $B4,$74,$75,$B5,$77,$B7,$B6,$76,$72,$B2,$B3,$73,$B1,$71,$70,$B0,
  $50,$90,$91,$51,$93,$53,$52,$92,$96,$56,$57,$97,$55,$95,$94,$54,
  $9C,$5C,$5D,$9D,$5F,$9F,$9E,$5E,$5A,$9A,$9B,$5B,$99,$59,$58,$98,
  $88,$48,$49,$89,$4B,$8B,$8A,$4A,$4E,$8E,$8F,$4F,$8D,$4D,$4C,$8C,
  $44,$84,$85,$45,$87,$47,$46,$86,$82,$42,$43,$83,$41,$81,$80,$40
);
```

```
procedure CRC16(p : pointer; len : word; var Hi : byte; var Lo : byte);  
var  
  Index : word;  
  i : word;  
begin  
  Hi:=$FF;  
  Lo:=$FF;  
  for i:=0 to Len-1 do  
    begin  
      Index:=Hi xor TByteArray(p^)[i];  
      Hi:=Lo xor CRCHi[Index];  
      Lo:=CRCLo[Index];  
    end;  
  end;  
END.
```

4 ModBus, распределение holding регистров

В этом разделе представлен список регистров ModBus. Общая информация о работе отдельных звеньев устройства даётся в главе 2. Полная информация даётся в настоящей главе и главе 2 совместно.

В первом столбце таблицы обозначение (*R*) означает, что из регистра возможно только чтение (read), (*RW*) – возможно чтение и запись (read/write)

Считанные из регистров данные обычно 16-битные целые значения без знака полярности за исключением особо отмеченных случаев. Если данные 32 битные (32 бита integer и 32 бита float), то в регистре с меньшим адресом находятся первые 16 бит (Least Significant Word).

4.1 Динамическое расположение регистров

У некоторых пользователей требовалось, чтобы распределение регистров ModBus было совместимо со старым устройством TMT-D. Некоторые регистры устройства TMT-D были расположены, начиная с адреса 0x0000 и содержали только результаты измерения. В новых датчиках ВЕРТЕС первые 16 регистров содержат электронный ярлык. Это противоречие разрешено таким образом, что в устройстве установлено три группы регистров с переменным базовым адресом:

- Группа систем, совместимая с TMT-D
- Регистры TMT-G с переменным базовым адресом
- Регистры TMT-G с постоянным базовым адресом

Базовый адрес групп регистров зависит от содержания регистра, названного «Актуальной конфигурацией регистров» (подраздел 4.3.1). Имеется два типа расположения:

- расположение регистров, совместимая с TMT-D
- (Новое) расположение регистров TMT-G

Естественно, полная функциональность устройства, может быть достигнута только через регистры TMT-G. Диапазоны адресов регистров обоих типов показаны на рисунке 4.2 (подраздел 4.3.1). В таблицах последующих подразделов адресом регистров обозначается *относительный* адрес внутри группы регистров. *Абсолютный* же адрес может быть рассчитан суммированием относительного адреса и базового адреса по актуальному распределению.

4.2 Регистры TMT-G с переменным базовым адресом

4.2.1 Электронная таблица данных

Адрес/тип	Название	Примечание	
0x0000 (R)	Тип устройства	<ul style="list-style-type: none"> 15..8 bit: тип устройства: 7..4 bit: тип входа по напряжению: 3-0 bit: тип входа по току: 	<ul style="list-style-type: none"> 0x10: TMTG 3F 0x3: 100V/$\sqrt{3}$ 0x4: 100V 0x5: 200V/$\sqrt{3}$ 0x6: 400V/$\sqrt{3}$ 0x7: 400V 0x8: 200V 0xA: 1A/5A
0x0001 (R)	Версия хардвера	<ul style="list-style-type: none"> MS byte: Главная версия (BCD) LS byte: Дополнительная версия (BCD) 	
0x0002 (R)	Выстроенность хардвера	<ul style="list-style-type: none"> 15...4 bit: Не используется 3...2 bit: Цифровая конфигурация вход/выход 1...0 bit: Тип индикатора 	<ul style="list-style-type: none"> 0x0: 3 входа/3 выхода 0x1: 2 входа/4 выхода 0x2: 4 входа/2 выхода 0x0: Нет 0x1: LCD
0x0003 (R)	Версия программы	<ul style="list-style-type: none"> MS byte: Главная версия (BCD) LS byte: Дополнительная версия (BCD) 	
0x0004 (R)	Версия программы дополнительного процессора, управляющего аналоговыми входами.	<ul style="list-style-type: none"> 0xFFFF: Дополнительный процессор не доступен. В остальных случаях: MS byte: Главная версия (BCD) LS byte: Дополнительная версия (BCD) 	
0x0005-0x000F (R)	Заводской номер	<ul style="list-style-type: none"> 22 byte, 0-оконечный символ. LS байты регистров содержат знаки меньшего порядкового номера. 	

4.2.2 Результаты измерения

4.2.2.1 Коэффициенты тока, напряжения и мощности

Адрес/тип	Название	Примечания
0x0010 (R)	Коэффициент тока I_F	32 битное значение IEEE float См. в тексте
0x0011 (R)		
0x0012 (R)	Коэффициент напряжения U_F	
0x0013 (R)		
0x0014 (R)	Коэффициент мощности S_F	
0x0015 (R)		

Программа, заложенная в преобразователь, вычисляет измеренные значения 16 битными (integer) арифметическими действиями. Конечные результаты измерения записываются в регистры не по системе SI, а в форме 16 битных целых (integer) значений. Обычно номинальному измеряемому значению соответствует 20 000. Параметры других частей программы, использующие результаты измерения (например, пороговые значения), хранятся в таком же формате. Перерасчет значений в формат по системе SI производится с учетом коэффициентов и описан в 4.5

Эти регистры доступны только для чтения. Коэффициенты вычисляются программой устройства на основе данных электронной таблицы данных и таблицы параметров.

4.2.2.2 Значения основных измеряемых величин

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0016 (R)	Напряжение RMS M_{ULN} между входами U1-UN, U2-UN и U3-UN	16 битные integer значения со знаком полярности. См. ещё: подраздел 2.4.5. Пересчет в физическое значение в разделе 4.5
0x0017 (R)		
0x0018 (R)	Ток RMS M_{IL} I1, I2 и I3	
0x0019 (R)		
0x001A (R)		
0x001B (R)	Интегрированная активная мощность M_{SP}	
0x001C (R)		
0x001D (R)	Интегрированная реактивная мощность M_{SQ}	
0x001E (R)	Интегрированная полная мощность M_{SS}	
0x001F (R)	Интегр. Полный Коэфф. Мощности M_{SPF}	
0x0020 (R)	Напряжение RMS M_{ULL} между входами U1-U2, U2- U3 и U3-U1	
0x0021 (R)		
0x0022 (R)		
0x0023 (R)	Симметричные составля- ющие напряжения M_{USYM} , очередность: 0, 1, 2 (Z, P, N)	
0x0024 (R)		
0x0025 (R)		
0x0026 (R)	Степень искажения $M_{U THD}$ сигнала напряжения U1-UN, U2-UN и U3-UN	
0x0027 (R)		
0x0028 (R)		
0x0029 (R)	Вычисленный ток нулевого провода M_{IN}	
0x002A (R)	Симметричные составляющие тока M_{ISYM} очередность: 0, 1, 2 (Z, P, N)	
0x002B (R)		
0x002C (R)		
0x002D (R)	Степень искажения сигнала тока $M_{I THD}$ Очередность: 0, 1, 2 (Z, P, N)	
0x002E (R)		
0x002F (R)		
0x0030 (R)	Коэффициент формы тока M_{ICF}	
0x0031 (R)		
0x0032 (R)		
0x0033 (R)	Активные мощности M_P U1xI1, U2xI2 и U3xI3	
0x0034 (R)		
0x0035 (R)		
0x0036 (R)	Реактивные мощности M_Q U1xI1, U2xI2 и U3xI3	
0x0037 (R)		
0x0038 (R)		
0x0039 (R)	Полные мощности M_S U1xI1, U2xI2 и U3xI3	
0x003A (R)		
0x003B (R)		
0x003C (R)	Коэффициенты M_{PF} U1xI1, U2xI2 и U3xI3	
0x003D (R)		
0x003E (R)		
0x003F (R)	Частота M_F	

Внимание! Если сигнал тока и напряжения несинусоидальный, а содержит гармонические составляющие, то формула $S^2 = P^2 + Q^2$ неприменима! Т.о. если к результатам измерения неприменима вышеуказанная формула, то это не ошибка устройства, а факт подтверждения наличия гармонических составляющих в измеряемом сигнале.

4.2.2.3 Промежуточные значения энергии

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0050 (R)	Потребленная активная энергия M_{EP+}	16 битное integer значение со знаком полярности. Под действием синхроимпульса значения стираются. Описание последнего значения перед обнулением приведено в 4.2.9.1. Если нет синхроимпульса, при значении 19 999 происходит переполнение и обнуление. Информация о переполнении содержится в регистре состояния). Пересчет в физическую величину: см. раздел 4.5.
0x0051 (R)	Генерированная активная энергия M_{EP-}	
0x0052 (R)	Индуктивная реактивная энергия M_{EQ+}	
0x0053 (R)	Емкостная реактивная энергия M_{EQ-}	

4.2.2.4 Суммарные значения энергии

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0054 (R)	Потребленная активная энергия ΣM_{EP+}	32 битное значение со знаком полярности. Пересчет в физическую величину: см. раздел 4.5.
0x0055 (R)		
0x0056 (R)	Рекуперированная активная энергия ΣM_{EP-}	После значения 999 999 999 происходит переполнение и обнуление.
0x0057 (R)		
0x0058 (R)	Индуктивная реактивная энергия ΣM_{EQ+}	
0x0059 (R)		
0x005A (R)	Емкостная реактивная энергия ΣM_{EQ-}	
0x005B (R)		

4.2.2.5 Значения счетчиков импульсов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0060 (R)	0 – ой счетчик импульсов	16 битное integer значение со знаком полярности. Синхроимпульс обнуляет эти регистры. Последнее значение до обнуления считывается из регистров, описанных в разделе 4.2.9. Если нет синхроимпульса, при значении 19 999 происходит переполнение и обнуление. Информация о переполнении содержится в регистре состояния.
0x0061 (R)	1 – й счетчик импульсов	
0x0062 (R)	2 – й счетчик импульсов	

4.2.2.6 Счетчик миллисекунд

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0063 (R)	Время в мс после включения или последнего синхроимпульса.	32 битное integer значение без знака полярности. Счетчик, содержание которого увеличивается с каждой мс, обнуляется синхроимпульсом. Если нет синхроимпульса, после значения $2^{32}-1$ происходит переполнение. С помощью счетчика можно вычислить время между двумя командами считывания, т.о. возможен расчет усредненного значения мощности или вычисление значения импульс/с.
0x0064 (R)		

4.2.2.7 Регистры состояния измерения

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0065 (R)	Биты состояния измерения	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0. bit: С момента включения не было синхроимпульса. ▪ 1. bit: Зашкаливание входа. На вход подан сигнал, превышающий 1,2 номинального значения. ▪ 2. bit: Изменились коэффициенты калибровки входов. ▪ 3. bit: Переполнение промежуточного значения энергии ▪ 4. bit: Переполнение счетчика импульсов. ▪ 5. bit: Со времени прихода последнего синхроимпульса был период, когда выборка сигнала была не синхронизирована с входным сигналом. ▪ 6...9 bit: не использованы ▪ 10. bit: Произошло срабатывание 0-го ограничителя мощности. ▪ 11. bit: Произошел перерасход 0-го ограничителя мощности. ▪ 12. bit: Произошло срабатывание 1-го ограничителя мощности. ▪ 13. bit: Произошел перерасход 1-го ограничителя мощности. ▪ 14. bit: Произошло срабатывание 2-го ограничителя мощности. ▪ 15. bit: Произошел перерасход 2-го ограничителя мощности.

Содержание регистров состояния хранятся в RAM-памяти с питанием от батареи и не стираются при отключении прибора от сети питания. По синхроимпульсу значения записываются в массив измерения, после этого обнуляются.

4.2.2.8 Сигналы состояния аналоговых входов.

Адрес/Тип	Название	Примечания	
0x0066 (R)	Состояния аналоговых входов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0. bit: выборка сигнала не синхронизирована 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Выборка синхронизирована ▪ 0x1: не синхронизирована
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1...3. bit: Источник синхроимпульса 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x5: U_R ▪ 0x6: U_S ▪ 0x7: U_T
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 9. bit: Зашкаливание входа I_a ▪ 10. bit: Зашкаливание входа I_b ▪ 11. bit: Зашкаливание входа I_c ▪ 13. bit: Зашкаливание входа U_a ▪ 14. bit: Зашкаливание входа U_b ▪ 15. bit: Зашкаливание входа U_c 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Нет зашкаливания ▪ 0x1: Зашкаливание входа

4.2.2.9 Значения гармонических составляющих

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0080... 0x009E (R)	Среднеквадратичное значение (RMS) гармонических составляющих U1 $M_{UH1}...M_{UH31}$	16 битное integer значение со знаком полярности пересчет в физическую величину: см. раздел 4.5.
0x009F (R)	Состояние FFT U1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0...7 bit: счетчик блока FFT <ul style="list-style-type: none"> ▪ Увеличивается на 1 после каждого вычисления FFT. После значения 0xFF следует 0x00. ▪ 8. bit: Зашкаливание входа <ul style="list-style-type: none"> ▪ При вычислении актуального значения FFT <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: не произошло зашкаливания входов ▪ 0x1: произошло зашкаливание входов ▪ 9. bit: Рассинхронизация <ul style="list-style-type: none"> ▪ При вычислении актуального значения FFT <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: не произошло рассинхронизации ▪ 0x1: произошла рассинхронизация
0x00A0... 0x00BE (R)	Среднеквадратичное значение (RMS) гармонических составляющих U2 $M_{UH1}...M_{UH31}$	Аналогично U1
0x00BF (R)	Состояние FFT U2	
0x00C0... 0x00DE (R)	Среднеквадратичное значение (RMS) гармонических составляющих U3 $M_{UH1}...M_{UH31}$	
0x00DF (R)	Состояние FFT U3	
0x00E0... 0x00FE (R)	Среднеквадратичное значение (RMS) гармонических составляющих I1 $M_{IH1}...M_{IH31}$	
0x00FF (R)	Состояние FFT I1	
0x0100... 0x011E (R)	Среднеквадратичное значение (RMS) гармонических составляющих I2 $M_{IH1}...M_{IH31}$	
0x011F (R)	Состояние FFT I2	
0x0120... 0x013E (R)	Среднеквадратичное значение (RMS) гармонических составляющих I3 $M_{IH1}...M_{IH31}$	
0x013F (R)	Состояние FFT I3	

4.2.3 Опрос цифровых входов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0200 (R)	Опрос 0-го входа	См. текстовую часть
0x0201 (R)	Опрос 1-го входа	
0x0202 (R)	Опрос 2-го входа	
0x0203 (R)	Счетчик опросов	
0x0204 (R)	Опрос 3-го входа	

Устройство производит опрос выходов фильтров дребезга цифровых входов с программируемой периодичностью T_{SDIG} . Периодичность опроса занесена в таблицу параметров. После опроса регистры сдвигаются на 1 бит влево, результат опроса записывается в биты LS. Т.о. в LS хранится результат последнего опроса, а в MS результат опроса, сделанного на 15 периодов раньше.

Счетчик опросов увеличивает свое значение на 1 при каждом опросе. После 65535 опросов происходит переполнение счетчика. Счетчик опроса дает информацию о количестве опросов цифровых входов между двумя считываниями счетчика, т.е. позволяет узнать, на сколько сдвинулись регистры влево.

4.2.4 Регистр ошибок

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0210 (R)	0 регистр ошибок.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0. bit: Ошибка CRC в процессе чтения списка данных устройства. ▪ 1. bit: Ошибка CRC в процессе чтения таблицы параметров. ▪ 2. bit: Ошибка CRC в процессе чтения пароля таблицы параметров. ▪ 3. bit: При запуске устройства внутренние часы не работали. Возможно, встроенный литиевый элемент разрядился. При этом данные, записанные в RAM-память, поддерживаемую батареей, потерялись (значения энергии, счетчики импульсов, данные массива архива) ▪ 4. bit: Ошибка контрольной суммы в процессе записи суммарного количества потребленной энергии в RAM, поддерживаемую элементом. ▪ 5. bit: Ошибка контрольной суммы в процессе записи промежуточного количества потребленной энергии в RAM, поддерживаемую элементом. ▪ 6. bit: Ошибка контрольной суммы в процессе записи значений счётчика импульсов в RAM, поддерживаемую элементом. ▪ 7. bit: Ошибка контрольной суммы в процессе записи массива архива данных в RAM, поддерживаемую элементом. ▪ 8. bit: Ошибка CRC в процессе чтения одного из массивов архива данных. ▪ 9. bit: Ошибка буса I2C. Внутренние часы и память FLASH недоступны. ▪ 10. bit: Сработал WatchDog. ▪ 11. bit: Из-за перегрузки процессора программа не смогла выполнить некоторые операции управления за выделенный промежуток времени. ▪ 12. bit: Из-за перегрузки процессора АЦП не смог обработать некоторые измеренные значения, произошла потеря данных. ▪ 13. bit: Ошибка памяти Flash. ▪ 14. bit: За короткое время произошло много событий в сети, буфер в RAM, хранящий события, переполнился до перезаписи событий в FLASH, произошла потеря событий. ▪ 15. bit: Ошибка CRC в процессе чтения из FLASH размера массива архива данных. <p>Синхроимпульс стирает содержание регистра.</p>
0x0211 (R)	1 регистр ошибок.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0. bit: Ошибка буса I2C. Индикатор LCD недоступен. ▪ 1. bit: Аналоговый дополнительный процессор недоступен. ▪ 2. bit: Ошибка коммуникации между аналоговым дополнительным процессором и главным процессором. ▪ 3. bit: Сигнал ошибки аналогового дополнительного процессора (дальнейшая информация в регистре XXX) ▪ 4. bit: В результате многократной ошибки связи буфер выборки аналогового процессора заполнился и произошла потеря данных. ▪ 5. bit: ЦАП недоступен. ▪ 6...15 bit: Не используется. <p>Синхроимпульс стирает содержание регистра.</p>

4.2.5 Регистры управления выходами

4.2.5.1 Управление командами порогов срабатывания

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0220 (RW)	Регистр команд порогов срабатывания	С помощью этого регистра производится управление командами порогов срабатывания, если пороги срабатывания не привязаны ни к одной из измеряемых величин. Иначе команда не влияет на работу устройства. Распределение битов: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 9..8 bit: порог срабатывания 2 ▪ 5..4 bit: порог срабатывания 1 ▪ 1..0 bit: порог срабатывания 0 Команды: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 00: Нет изменений ▪ 01: Включение ▪ 10: Выключение ▪ 11: Переключение

4.2.5.2 Управление формирователем импульсов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0221 (RW)	Регистр команд формирователя импульсов	С помощью этого регистра формируется импульс, ширина которого задана в таблице параметров. В этом случае устройство учитывает заданное время паузы между импульсами. Распределение битов: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 8 bit: 2 – формирователь импульсов ▪ 4 bit: 1 - формирователь ▪ 0 bit: 0 - формирователь Команды: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0: Нет изменений ▪ 1: Формирование импульсов

4.2.5.3 Управление аналоговыми выходами

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0222 (RW)	0-й аналоговый выход, V_0	16 битное значение со знаком полярности.
0x0223 (RW)	1-й аналоговый выход, V_1	Эти регистры управляют током аналоговых выходов, которые не привязаны ни к одной из измеряемых величин. Иначе из этих регистров может быть считано актуальное значение выходного тока. Значение выходного тока см. в тексте.
0x0224 (RW)	2-й аналоговый выход, V_2	

Расчёт значения выходного тока производится по формуле 4.1 (см. п. 4.2.8.11).

4.2.5.4 Управление генератором программных импульсов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0225 (RW)	Генератор программных импульсов	Возможные команды: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0001: Генерирование импульсов

4.2.5.5 Повторный пуск устройства

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0226 (RW)	Регистр команды повторного пуска устройства	Возможные команды: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0001: RESET устройства ▪ 0x0002: Запуск bootloader при настоящей установке связи

4.2.5.6 Управление цифровыми выходами

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0227 (RW)	Регистр команды цифрового выхода	Этим регистром управляются выходы, к которым не привязан даже источник сигнала. В другом случае команда не оказывает влияния. Распределение битов: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 13..12. bit: выход 3 ▪ 9..8 bit: выход 2 ▪ 5..4 bit: выход 1 ▪ 1..0 bit: выход 0 Команды: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 00: нет изменения ▪ 01: включение ▪ 10: выключение ▪ 11: переключение

4.2.6 Внутренние часы

Адрес/Тип	Название	Примечания				
0x0230 (R)	Регистр состояния внутренних часов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0. bit: установка начальных значений (инициализация) ▪ 1. bit: Микросхема внутренних часов доступна ▪ 2. bit: Доступна информация о времени ▪ 3. bit: Синхронизация к целой минуте в процессе (см. текстовую часть) 				
0x0231 (RW)	Регистр команд внутренних часов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: Постоянное обновление регистров даты и времени ▪ 0x0001: Запрет обновления регистров. ▪ 0x0002: Установка внутренних часов (см. текстовую часть) 				
0x0232 (RW)	Год	<ul style="list-style-type: none"> ▪ BCD года 				
0x0233 (RW)	месяц/день	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MSB: BCD месяца ▪ LSB: BCD дня 				
0x0234 (RW)	Час/минута	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MSB: BCD часа ▪ LSB: BCD минуты 				
0x0235 (RW)	Секунды, сотые доли секунды	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MSB: BCD секунд ▪ LSB: BCD сотые доли секунды (в настоящей версии всегда ноль) 				
0x0236 (RW)	День недели, установка летнего/зимнего времени	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0...2 бит: День недели: </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x1: Понедельник ▪ ... ▪ 0x7: Воскресенье </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 8. бит: Летнее/зимнее время: </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Зимнее время ▪ 0x1: Летнее время </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0...2 бит: День недели: 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x1: Понедельник ▪ ... ▪ 0x7: Воскресенье 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8. бит: Летнее/зимнее время: 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Зимнее время ▪ 0x1: Летнее время
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0...2 бит: День недели: 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x1: Понедельник ▪ ... ▪ 0x7: Воскресенье 					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 8. бит: Летнее/зимнее время: 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Зимнее время ▪ 0x1: Летнее время 					

После включения прибора начальное значение бита регистра состояния часов 1. В таком состоянии внутренние часы недоступны. Если микросхема часов неисправна, то через несколько сотен миллисекунд бит начального значения стирается. При этом в регистре ошибок бит ошибки буса I2C будет 1.

Если микросхема часов исправна, после установки начального значения бит *Микросхема внутренних часов доступна* будет 1, после первого считывания времени бит *Доступна информация о времени* меняется на 1. После этого в регистре времени находится текущее время, регистр готов принимать команды.

Содержание регистров 0x0232...0x0236 должны считываться одной дейтаграммой! В противном случае возможно изменение времени между двумя считываниями. Например, в 19 часов 59 минут 59 секунд одной дейтаграммой произошло считывание регистров часов и минут. Перед считыванием следующей дейтаграммой регистра секунд содержание этого регистра поменялось на 00. Т.о. общее считанное время будет 19:59:00 вместо 20:00:00.

При изменении времени сначала нужно записать код 0x0001 в регистр команд. До тех пор, пока в регистре команд записан код 0x0001, устройство не изменяет содержание регистров 0x0232...0x0236, т.о. содержание этих регистров можно изменить. При этом внутренние часы работают.

После изменения содержания регистров 0x0232...0x0236 (регистр *День недели* устанавливается не надо, устройство само вычислит) записью команды 0x0002 в регистр команд происходит установка нового значения времени. После установки нового значения времени содержание регистра снова будет 0x0000.

Возможна синхронизация внутренних часов к выбранному логическому импульсу (кроме своего импульса и синхроимпульса). Импульс устанавливает часы на следующую полную минуту. Генератор синхроимпульса может это сделать только в том случае, если в регистре *Состояние часов* записано 0x0000. Поэтому установку времени целесообразно проводить в промежуток времени, когда не ожидается синхроимпульс.

В зависимости от установки в таблице параметров возможно отслеживание летнего и зимнего времени. Практически это происходит таким образом, что в микросхеме всегда установлено зимнее время. Если в соответствующем

регистре установлено отслеживание зимнего/летнего времени, то после перехода на летнее время устройство к считанному времени прибавляет 1 час. Т.о. из регистров 0x0232...0x0236 считывается летнее время, а также все пометки времени в архиве соответствуют летнему времени.

При установке часов содержание 8-го бита регистра 0x0236 указывает на летнее или зимнее время. Если значение бита 0, тогда время, записанное в устройство, независимо от даты считается зимним и без изменения записывается в микросхему часов. Если 1, тогда независимо от даты время считается летним и в микросхему часов записывается время на час ранее. (Это необходимо, т.к. по установленному времени нельзя однозначно определить, является ли оно зимним или летним временем, поскольку в последнее воскресенье октября, когда часы нужно переводить назад, промежуток времени 2:00:00...2:59:59 повторяется дважды, поскольку после 2:59:59 наступает снова 2:00:00.

4.2.7 Регистры команд таблицы параметров

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0240 (RW)	Таблица параметров, регистры команд	Значения 0x0000 , 0xFFFF имеют место, если таблица параметров готова к приему команд. Принимает следующие коды команд: Если в регистр 0x01D1 занесен правильный пароль, то после выполнения команды содержание регистра будет 0x0000 . При неверном пароле команда не выполняется и содержание регистра будет 0xFFFF . <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0001: запись параметров в память FLASH ▪ 0x0002: Изменение пароля
0x0241 (RW)	Пароль	После включения и выполнения команд содержание 0x0000 . Для выполнения команд 0x0001 и 0x0002 перед подачей команды или в той же дейтаграмме необходимо записать пароль. При производстве прибора на заводе изготовителя установлен пароль 0x0000 .
0x0242 (RW)	Новый пароль	При включении и выполнении команд содержание 0x0000 . Перед подачей команды 0x0002 или в той же дейтаграмме дать новый пароль.

Для обновления параметров коммуникации и вступления в силу введенных настроек устройство необходимо запустить заново. Это осуществляется выключением с последующим включением или подачей команды RESET (см подраздел 4.2.5.5).

4.2.8 Регистры данных таблицы параметров

4.2.8.1 Установки коммуникации

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0250 (RW)	Адрес ModBus и скорость коммуникации	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15...8 bit: Скорость в Бодах (Baudrate) <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x01: 9600 ▪ 0x02: 19200 ▪ 0x03: 28800 ▪ 0x04: 38400 ▪ 0x06: 57600 ▪ 0x0C: 115200 (Заводское основное значение: 38400) ▪ 7...0 bit: Адрес ModBus <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1...249 Заводское основное значение: 16

4.2.8.2 Параметры фильтров дребезга

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0251 (RW)	Установки фильтров дребезга	Инвертирование <ul style="list-style-type: none"> ▪ 15 bit: фильтр дребезга 3 ▪ 11 bit: фильтр дребезга 2 ▪ 7 bit: фильтр дребезга 1 ▪ 3 bit: фильтр дребезга 0
		Длина фильтра <ul style="list-style-type: none"> ▪ 14...12 bit: фильтр дребезга 3 ▪ 10...8 bit: фильтр дребезга 2 ▪ 6...4 bit: фильтр дребезга 1 ▪ 2...0 bit: фильтр дребезга 0
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: $N_{PR}=1$ (нет фильтрации дребезга) ▪ 0x1: $N_{PR}=2$ ▪ 0x2: $N_{PR}=3$ ▪ ... ▪ 0x7: $N_{PR}=8$

4.2.8.3 Параметры фильтров импульсов I.

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0252 (RW)	Установки фильтров импульсов 0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 7...4 bit: максимальная длина (T_{MAX}) ▪ 3...0 bit: Минимальная длина (T_{MIN}) Возможные значения: <i>ClogicTime</i> (Подраздел 14.6)
0x0253 (RW)	Установки фильтров импульсов 1	Как у фильтров импульсов 0
0x0254 (RW)	Установки фильтров импульсов 2	Как у фильтров импульсов 0

4.2.8.4 Параметры счётчиков импульсов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0255 (RW)	Установки счётчиков импульсов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 11...8 bit: Источник счётчика импульсов 2 ▪ 7...4 bit: Источник счётчика импульсов 1 ▪ 3...0 bit: Источник счётчика импульсов 0 Возможные значения: <i>CimpulseSrc</i> (Подраздел 14.6)

4.2.8.5 Параметры генераторов синхроимпульсов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0256 (RW)	Установки генераторов синхроимпульсов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3...0 bit: Источник счётчика импульсов 02 Возможные значения: <i>CimpulseSrc</i> (Подраздел 14.6)

4.2.8.6 Параметры входной выборки

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0257 (RW)	Время периода выборки	Возможные значения: <i>ClogicTime</i> (Подраздел 14.6)

4.2.8.7 Параметры модуля измерения

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0258 (RW)	Значение импульса энергии $E_{имп}$	32-битное integer значение Пересчёт на физическую величину: пункт 4.5
0x0259 (RW)		
0x025A (RW)	Коэффициент трансформации трансформатора тока A_{II}	32-битное значение IEEE float
0x025B (RW)		
0x025C (RW)		
0x025D (RW)	Коэффициент трансформации трансформатора напряжения A_{UU}	
0x025E (RW)	Вход тока, выбранный номинальный ток	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: 1A ▪ 0x0001: 5A
0x025F (RW)	Референтное напряжение события напряжения M_{RU}	Напряжение, проценты которого составляют пределы событий напряжения. Пересчёт на физическую величину: пункт 4.5

4.2.8.8 Параметры переключателей предельных значений

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0260 (RW)	Режим переключателя пределов 0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15 bit: Инвертирование ▪ 0x0: Не инвертировано ▪ 0x1: Инвертировано
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 14...0 bit: Сигнал источника Возможные значения: $CMeasSrc$ (см: Подраздел 14.6)
0x0261 (RW)	Переключатель пределов 0, предельное значение L_0	16-разрядные значения со знаком полярности. Пересчёт на физическую величину: пункт 4.5. По смыслу используется формула соответственно выбранного сигнала источника.
0x0262 (RW)	Переключатель пределов 0, гистерезис H_0	
0x0263 (RW)	Режим переключателя пределов 1	Как у переключателя пределов 0.
0x0264 (RW)	Переключатель пределов 1, предельное значение L_1	
0x0265 (RW)	Переключатель пределов 1, гистерезис H_1	
0x0266 (RW)	Режим переключателя пределов 2	Как у переключателя пределов 0.
0x0267 (RW)	Переключатель пределов 2, предельное значение L_2	
0x0268 (RW)	Переключатель пределов 2, гистерезис H_2	

4.2.8.9 Установки формирователей импульсов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0269 (RW)	формирователей импульсов 0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 12 bit: полярность импульса ▪ 0x0: HI ▪ 0x1: LO
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 11...8 bit: источник импульса Возможные значения: $CimpulseSrc$ (Подраздел 14.6)
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 7...4 bit: Ширина импульса ▪ 3...0 bit: Время паузы Возможные значения: $ClogicTime$ (Подраздел 14.6)
0x026A (RW)	формирователь импульсов 1	Как у формирователя импульсов 0
0x026B (RW)	формирователь импульсов 2	Как у формирователя импульсов 0

4.2.8.10 Установки цифровых выходов I.

Адрес/Тип	Название	Примечания	
0x026C (RW)	Установки выходов	Инвертирование выхода:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Не инвертировано ▪ 0x1: Инвертировано
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 14 bit: выход 2 ▪ 13 bit: выход 1 ▪ 12 bit: выход 0 	
		Выбор исходного сигнала	Возможные значения: <i>CdigiSrc</i> (Подраздел 14.6)
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 11...8 bit выход 2 ▪ 7...4 bit выход 1 ▪ 3...0 bit: выход 0 	

4.2.8.11 Установки формирователей аналоговых характеристик

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x026D (RW)	Источник сигнала формирователя характеристик 0	Возможные значения: <i>CMeasSrc</i> (см: Подраздел 14.6)
0x026E (RW)	Офсет характеристики 0 B_0	16.разрядные значения со знаком полярности См. в тексте
0x026F (RW)	Крутизна характеристики 0 A_0	
0x0270 (RW)	Нижний предел тока характерист. 0 S_{0LO}	
0x0271 (RW)	Верхний предел тока характ. 0 S_{0HI}	
0x0272 (RW)	Источник сигнала формирователя характеристик 1	Как у формирователя характеристик 0
0x0273 (RW)	Офсет характеристики 1 B_1	
0x0274 (RW)	Крутизна характеристики 1 A_1	
0x0275 (RW)	Нижний предел тока характерист. 1 S_{1LO}	
0x0276 (RW)	Верхний предел тока характ. 1 S_{1HI}	
0x0277 (RW)	Источник сигнала формирователя характеристик 2	
0x0278 (RW)	Офсет характеристики 2 B_2	
0x0279 (RW)	Крутизна характеристики 2 A_2	
0x027A (RW)	Нижний предел тока характерист. 2 S_{2LO}	
0x027B (RW)	Верхний предел тока характ. 2 S_{2HI}	

Как указано в пункте 4.2.5, аналоговые выходы управляются либо непосредственно значениями V_N , записанными в регистры управления выходами, либо выходом какого-нибудь аналогового формирователя характеристик.

$$I_{\text{ВЫХ}} [\text{mA}] = 20\text{mA} \cdot \frac{V_N}{20000} \quad (4.1)$$

Значения V_N рассчитываются формирователями аналоговых характеристик из нормированных результатов integer измерения (M), указанных в подразделах 4.5:

$$V_{NLIN} = M \cdot \frac{A_N}{8192} + B_N$$

$$S_{NLO} \text{ при } V_{NLIN} < S_{NLO} \quad (4.2)$$

$$V_N = S_{NHI} \text{ при } V_{NLIN} > S_{NHI}$$

V_{NLIN} в других случаях

Пример расчёта параметров формирователей характеристик см. в Приложении 5.3

4.2.8.12 Установка аналоговых выходов

Адрес/Тип	Название	Примечания	
0x027C (RW)	Формирователи характеристик, привязанных к аналоговым выходам	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 11...8 bit Формирователь характеристик, привязанный к выходу 2 ▪ 7...4 bit Формирователь характеристик, привязанный к выходу 1 ▪ 3...0 bit: Формирователь характеристик, привязанный к выходу 0 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Нет ▪ 0x1 Формирователи характеристик 0 ▪ 0x2 Формирователи характеристик 1 ▪ 0x3 Формирователи характеристик 2

4.2.8.13 Установки работы внутренних часов

Адрес/Тип	Название	Примечания	
0x027D (RW)	Установка часов	<ul style="list-style-type: none"> 15. bit: Автоматическое отслеживание зимнего/летнего времени 	<ul style="list-style-type: none"> 0x0: Запрещено 0x1: Разрешено
		<ul style="list-style-type: none"> 11..8. bit: Синхроимпульс 	Возможные значения: <ul style="list-style-type: none"> <i>CImpulseSrc</i> (см.:4.6.2) Исключения: <ul style="list-style-type: none"> Внутренний синхроимпульс Импульс внутренних часов В этих случаях синхронизация не происходит
		<ul style="list-style-type: none"> 7..0. bit: Период генератора импульсов [мин.] 	<ul style="list-style-type: none"> 1..60

4.2.8.14 Установки ограничителей мощности

Адрес/Тип	Название	Примечания	
0x027E (RW)	Режим ограничителей мощности	<ul style="list-style-type: none"> 12 bit: Создание каскадных ограничителей мощности 	<ul style="list-style-type: none"> 0x0: Нет каскадов, три автономных ограничителя мощности 0x1: Каскадный режим работы, один трёхкаскадный ограничитель мощности
		<ul style="list-style-type: none"> 11...8 bit Источник сигнала ограничителя мощности 2 7...4 bit: Источник сигнала ограничителя мощности 1 3...0 bit: Источник сигнала ограничителя мощности 0 	<ul style="list-style-type: none"> 0x00: Потребляемая промежуточная активная энергия 0x01: Рекуперируемая промежуточная активная энергия 0x02: Индуктивная промежуточная реактивная энергия 0x03: Ёмкостная промежуточная реактивная энергия 0x04: счётчик импульсов 0 0x05: счётчик импульсов 1 0x06: счётчик импульсов 2 0x07: сумма трёх счётчиков импульсов
0x027F (RW)	ограничитель мощности 0, время задержки [s]		
0x0280 (RW)	ограничитель мощности 0, длина периода оценки [s]		
0x0281 (RW)	ограничитель мощности 0, предельное значение	32-разрядное integer значение. Если источником сигнала является количество энергии, то пересчёт на физические величины по 4.5	
0x0282 (RW)	ограничитель мощности 1, время задержки [s]		
0x0284 (RW)	ограничитель мощности 1, длина периода оценки [s]		
0x0285 (RW)	ограничитель мощности 1, предельное значение	32-разрядное integer значение. Если источником сигнала является количество энергии, то пересчёт на физические величины по 4.5	
0x0286 (RW)	ограничитель мощности 2, время задержки [s]		
0x0288 (RW)	ограничитель мощности 2, длина периода оценки [s]		
0x0289 (RW)	ограничитель мощности 2, предельное значение	32-разрядное integer значение. Если источником сигнала является количество энергии, то пересчёт на физические величины по 4.5	
0x028A (RW)			

При каскадном режиме ограничители мощности работают согласно данным, указанным для ограничителя мощности 0. В таком случае индивидуально могут быть установлены лишь времена задержки.

4.2.8.15 Опции записи

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x028B (RW)	Опции записи LSW.	Мгновенные значения: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0. bit: Фазные напряжения ▪ 1. bit: Линейные напряжения. ▪ 2. bit: Симметричные составляющие фазного напряжения. ▪ 3. bit: Гармоническое искажение фазного напряжения ▪ 4. bit: Фазные токи ▪ 5. bit: Ток нулевого провода ▪ 6. bit: Симметричные составляющие фазного тока ▪ 7. bit: Гармоническое искажение фазного тока ▪ 8. bit: Крессфактор фазного тока ▪ 9. bit: Суммарная активная мощность ▪ 10. bit: Активные мощности по фазам ▪ 11. bit: Суммарная реактивная мощность ▪ 12. bit: Реактивные мощности по фазам ▪ 13. bit: Суммарная полная мощность ▪ 14. bit: Полные мощности по фазам ▪ 15. bit: Суммарный коэффициент мощности ▪ 16. bit: Коэффициент мощности по фазам ▪ 17. bit: Запись минимума и максимума мгновенных значений Значения счётчиков: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 18. bit: Промежуточные значения энергии ▪ 19. bit: Значения счётчиков ▪ 20. bit: Суммарные значения энергии Мгновенные значения в новых версиях <ul style="list-style-type: none"> ▪ 21. bit: Частота
0x028C (RW)	Опции записи MSW.	

ВНИМАНИЕ! Изменение опций записи сопровождается немедленным стиранием всех сохранённых значений измерения, т.к. архив может сохранять лишь записи одинаковой структуры!

4.2.8.16 Установки буфера формы сигнала

Адрес/Тип	Название	Примечания	
0x028D (RW)	Автоматический пуск сбора данных после включения устройства	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: выключено ▪ 0x0001: включено 	
0x028E (RW)	Число выборок до выполнения условия пуска	0...511	
0x028F (RW)	Логический импульс пуска	Возможные значения: CimpulseSrc (подраздел 14.6)	
0x0290 (RW)	0-е аналоговое условие пуска, режим работы	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15. bit: полярность изменения сигнала ▪ 3. bit: тип источника сигнала 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: положительная ▪ 0x1: отрицательная ▪ 0x0: форма сигнала ▪ 0x1: значение RMS
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2..0: источник сигнала 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: нет, условие выключено ▪ 0x1: U_1 ▪ 0x2: U_2 ▪ 0x3: U_3 ▪ 0x4: I_1 ▪ 0x5: I_2 ▪ 0x6: I_3
0x0291 (RW)	0-е аналоговое условие пуска, уровень напряжения	16-разрядное значение со знаком полярности Пересчёт в напряжение: пункт 4.5	
0x0292 (RW)	1-е аналоговое условие пуска, режим работы	Как в случае 0-евого пускового условия	
0x0293 (RW)	1-е аналоговое условие пуска, уровень напряжения		
0x0294 (RW)	2-е аналоговое условие пуска, режим работы		
0x0295 (RW)	2-е аналоговое условие пуска, уровень напряжения		
0x0296 (RW)	3-е аналоговое условие пуска, режим работы		
0x0297 (RW)	3-е аналоговое условие пуска, уровень напряжения		
0x0298 (RW)	4-е аналоговое условие пуска, режим работы		
0x0299 (RW)	4-е аналоговое условие пуска, уровень напряжения		
0x029A (RW)	5-е аналоговое условие пуска, режим работы		
0x029B (RW)	5-е аналоговое условие пуска, уровень напряжения		

4.2.8.17 Входные данные калибровки

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x029C (R)	Множители калибровки токового входа (фазы R, S, T) C_{I1A}	16-разрядные значения без знака полярности
0x029D (R)		
0x029E (R)		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ для типа 1A/5A, если установлено измерение тока 1A, ▪ для типа 2V, 25A и 50A 	
0x029F (RW)	Множители калибровки токового входа (фазы R, S, T) C_{I5A}	
0x02A0 (R)		
0x02A1 (R)		
	для типа 1A/5A, если установлено измерение тока 5A	
0x02A2 (RW)	Множители калибровки входа напряжения (фазы R, S, T) C_U	
0x02A3 (R)		
0x02A4 (R)		
0x02A5.. (R)	В резерве	
0x02C2		

4.2.8.18 Данные калибровки аналоговых выходов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x02C3 (R)	Офсет аналогового выхода 0 B_{0C}	
0x02C4 (R)	Множитель положительного диапазона аналогового выхода 0 A_{0C+}	
0x02C5 (R)	Множитель отрицательного диапазона аналогового выхода 0 A_{0C-}	
0x02C6 (R)	Офсет аналогового выхода 1 B_{1C}	
0x02C7 (R)	Множитель положительного диапазона аналогового выхода 1 A_{1C+}	
0x02C8 (R)	Множитель отрицательного диапазона аналогового выхода 1 A_{1C-}	
0x02C9 (R)	Офсет аналогового выхода 2 B_{2C}	
0x02CA (R)	Множитель положительного диапазона аналогового выхода 2 A_{2C+}	
0x02CB (R)	Множитель отрицательного диапазона аналогового выхода 2 A_{2C-}	

4.2.8.19 Конфигурация регистров

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x02CC (RW)	Конфигурация массивов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: Аллокация регистров, совместимое с TMT-D ▪ 0xFFFF: Аллокация регистров TMT-G (новая) Установка актуализируется после повторного пуска устройства. Актуальная установка считывается из регистра «Актуальная конфигурация регистров», имеющего адрес, не зависящий от конфигурации. (Подробности см. в подразделе 4.3.1)

4.2.8.20 Параметры фильтров импульсов II.

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x02CD (RW)	Установки фильтров импульсов 3	Как у фильтров импульсов 0 (см. подраздел 4.2.8.3)

4.2.8.21 Установки цифровых выходов II.

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x02CE (RW)	Установки выходов	Инвертирование выходов <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Не инвертировано ▪ 0x1: Инвертировано
		Выбор сигнала источника: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3..0 bit выход 3 Возможные значения: <i>CDigiSrc</i> (подраздел 14.6)

4.2.9 Архив

4.2.9.1 Значения счетчиков энергии и счётчиков импульсов перед обнулением

Адрес/Тип	Название	Примечания													
0x02E0	Отметка времени последнего массива данных, 32 бита integer LO:HI	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0xFFFF FFFF Значение перед обнулением (0x02E2...0x02E8 содержат ложные значения). Возможны 2 причины: <ul style="list-style-type: none"> ▪ С момента включения не было регистрации массива и обнуления ▪ Происходит процесс регистрации 													
0x02E1			<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">▪ 31...26 bit: Год</td> <td style="width: 50%;">▪ 0...63 (2000...2063)</td> </tr> <tr> <td>▪ 25...22 bit: Месяц</td> <td>▪ 1...12</td> </tr> <tr> <td>▪ 21...17 bit: День</td> <td>▪ 1...31</td> </tr> <tr> <td>▪ 16...12 bit: Час</td> <td>▪ 0...23</td> </tr> <tr> <td>▪ 11...6 bit: Минуты</td> <td>▪ 0...59</td> </tr> <tr> <td>▪ 5...0 bit: Секунды</td> <td>▪ 0...59</td> </tr> </table>	▪ 31...26 bit: Год	▪ 0...63 (2000...2063)	▪ 25...22 bit: Месяц	▪ 1...12	▪ 21...17 bit: День	▪ 1...31	▪ 16...12 bit: Час	▪ 0...23	▪ 11...6 bit: Минуты	▪ 0...59	▪ 5...0 bit: Секунды	▪ 0...59
▪ 31...26 bit: Год			▪ 0...63 (2000...2063)												
▪ 25...22 bit: Месяц			▪ 1...12												
▪ 21...17 bit: День			▪ 1...31												
▪ 16...12 bit: Час			▪ 0...23												
▪ 11...6 bit: Минуты	▪ 0...59														
▪ 5...0 bit: Секунды	▪ 0...59														
0x02E2 (R)	Потребленная активная энергия														
0x02E3 (R)	Рекуперированная активная энергия														
0x02E4 (R)	Индуктивная энергия														
0x02E5 (R)	Емкостная энергия														
0x02E6 (R)	0-й счётчик импульсов														
0x02E7 (R)	1-й счётчик импульсов														
0x02E8 (R)	2-й счётчик импульсов														

Синхроимпульс помимо подготовки к регистрации и самой регистрации производит обнуление временных счетчиков энергии и счётчиков импульсов. Из этих регистров можно прочесть последнее содержание регистров и отметку времени обнуления. Это важно, когда необходимо знать потребление между двумя считываниями. Если между считываниями не было синхроимпульса, то это значение можно получить простым вычитанием регистров. Однако бывают случаи, когда после считывания регистров счетчик энергии и/или счётчик импульсов увеличит свое значение, и после этого пришедший синхроимпульс стирает накопленные значения. Значение, полученное при следующем считывании т.о. не совпадает с потреблением, т.к. между последним считыванием и синхроимпульсом тоже имело место некоторое потребление. В этом случае необходимы эти регистры (см. рис. 4.1).

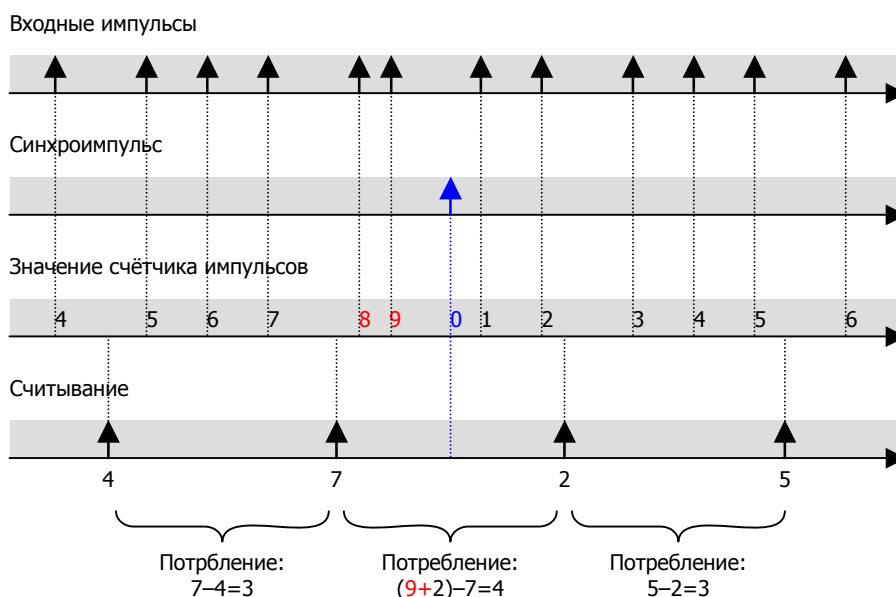


Рис. 4.1: Работа архива данных перед обнулением

4.2.9.2 Информация архива

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x02F0 (R)	Регистр состояния архива	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0xXXXX: Инициализация архива ▪ 0x0000: Архив готов ▪ 0xFFFF: Архив недоступен
0x02F1 (R)	Возможное число массивов измерений	Эти регистры содержат информацию только в том случае, если содержание регистра состояния архива 0x0000. Пояснение в разделе 4.2.9.4
0x02F2 (R)	Число архивированных массивов измерений	
0x02F3 (R)	Индекс последнего записанного массива измерений	
0x02F4 (R)	Возможное число массивов событий напряжения	
0x02F5 (R)	Число архивированных массивов событий напряжения	
0x02F6 (R)	Индекс последнего записанного массива событий напряжения	

4.2.9.3 Регистры команд и состояния архива, буфера массивов.

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x02F7 (RW)	Регистр команд буфера записи	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: Начальная установка буфера записи ▪ 0xFFFF: Регистр команд готов к принятию команд.
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15...8 bit: Код команд ▪ 0x01: Чтение одного массива ▪ 0x02: Чтение нескольких массивов ▪ 0x80: Стирание массивов
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 7...0 bit: Место данных ▪ 0x10: Массивы измерений ▪ 0x20: События напряжения
0x02F8 (RW)	Начальный индекс запрошенного массива	
0x02F9 (R)	Регистр состояния в буфере массивов	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15...8 bit: Тип данных в буфере ▪ 0x00: В буфере нет действительных данных ▪ 0x10: Массивы измерения ▪ 0x20: События напряжения
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 7...0 bit: Результаты последнего действия ▪ 0xFF: Команда в процессе выполнения ▪ 0x00: Команда выполнена ▪ 0x01: Команда выполнена, но в буфере хотя бы одного массива, ошибка CRC ▪ 0x11: Указанное место данных не существует. ▪ 0x12: Указанный индекс массива не существует. ▪ 0x20: Неизвестный код команды
0x02FA (R)	Начальный индекс массивов в буфере массивов	
0x02FB (R)	Количество массивов в буфере массивов	
0x02FC (R)	Длина массивов в буфере массивов [word]	

Пояснения см. в пункте 4.2.9.4

4.2.9.4 Архив, буфер массивов

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0300... 0x03FF (R)	Буфер массивов	См. текстовую часть

После включения устройства происходит установка начальных (initialization) значений архива. Если из-за неисправности микросхемы внутренних часов или

памяти FLASH это не произойдет, то значение *Регистра состояния архива* будет 0xFFFF. В нормальном случае значение *Регистра состояния архива* будет 0x0000. При этом в регистрах *Места данных* (массивов результатов измерений и массивов событий напряжения) находятся актуальные значения. Регистр *Число архивированных массивов* указывает максимальное возможное число массивов C_{MAX} , помещающихся в выделенную для них память с учетом актуальных установок. Индекс (адрес) массивов возможен в промежутке $0 \dots C_{MAX} - 1$. *Число записанных массивов* указывает, сколько массивов находится в поле данных C_{REC} . Последний записанный массив содержит адрес последнего записанного массива P_{WR} . При каждой записи массивов адрес увеличивается на 1, начиная с нуля. После записи массива с адресом $C_{MAX} - 1$ происходит запись по адресу 0, то есть переписывается самый старый массив. Поскольку архив может хранить массивы только одинаковой структуры, при изменении опций регистрации, записанные массивы немедленно стираются.

Записанные массивы можно прочитать через буфер массивов архива (построение массивов описано в разделе 4.2.9.5 и 4.2.9.6). Размер буфера - 256 регистров. Если размер массива меньше 129 слов (word), то в буфере помещается несколько массивов. Запись в буфер производится специальной командой, подаваемой в *Регистр команд буфера записи*. Код команды включает в себя код выбранной области данных и код самой команды. В регистр команд может быть произведена запись, если его значение 0xFFFF. Таким образом, выполнение новой команды возможно после завершения исполнения предыдущей.

Устройство удаляет все записи выделенной области данных при поступлении команды *Стирание массивов*.

Если код команды *Чтение одного массива*, то массив, адрес которого записывается в регистре *Начального индекса запрошенного массива*, переписывается в буфер из указанного поля данных. Массив попадает «в начало» буфера, т.е. в зависимости от размера массива заполняет необходимое количество регистров, начиная с адреса 0x0300. Остальные регистры буфера содержат недействительные значения.

Если код команды *Чтение нескольких массивов*, то регистры, начиная с регистра с адресом, записанным в *Начальном индексе запрошенного массива*, один за другим записываются в буфер. Массивы записываются «в начало» буфера начиная с адреса 0x0280 и производится подряд без «пропусков» между регистрами. Остальные регистры данных буфера при этом считаются недействительными. Число массивов, записанных в буфер, определяется следующим образом:

- ◆ В буфер записываются массивы целиком. Это определяет максимальное число массивов, хранимых в буфере. Если отношение размера буфера и размера массива не целое число, то оставшиеся регистры будут содержать недействительные данные. Например: если размер массива 55 слов (word), тогда $256/55=4,65$ и в буфере будет находиться не более 4 массива. Оставшиеся $256-55 \cdot 4=36$ массивов обязательно будут содержать недействительные данные.
- ◆ В буфер записываются массивы с один за другим увеличивающимися адресами. Например, пусть в архиве содержатся 43 массива (с адресами 0 ...42). Имеет место начальный индекс 40-ого регистра (в регистре *Начального индекса запрошенных массивов*), то в буфер будут записаны

только массивы с адресами 40, 41, 42 не смотря на то, что размер буфера позволяет запись большего количества. (После массива с адресом 42 запись массивов с адресами 0, 1, 2 и т.д. производиться не будет).

- ◆ Не используется полностью объём буфера, если индекс первого запрошенного массива и число следующих за ним массивов меньше, чем возможное максимальное. Например, архив содержит 43 регистра, последняя запись была в регистр 14 (как показано в регистре *массива измерения, записанного последним*). Если задан начальный индекс 12, тогда в буфер попадут лишь данные регистров 12, 13, и 14, не смотря на то, что размер буфера рассчитан на большее количество. Дело в том, что самый старый массив буфера имеет адрес 15. За ним следует по времени массив с адресом 16, и т.д. Таким образом, в буфер попадает содержание изначально запрошенного регистра 12, и за ним более новые 13 и 14. В результате в буфере находятся данные, следующие одни за другим по времени.

После исполнения устройством команды из регистра команд значение 0xFFFF может быть снова прочитано. Процесс выполнения команды отслеживается *Регистром состояния в буфере массивов*. Значения битов 15...8 определяют тип данных в буфере. Если после выполнения команды значения этих битов 0x00, то в буфере нет данных. Это возможно при команде *Стирание массивов* или при какой-либо ошибке во время исполнения команды. Значения битов 7...0 отражают результаты последней выполненной операции (команды). Если в ходе выполнения команды произошла некоторая ошибка, эти биты регистра состояния отражают код потенциальной ошибки.

Если значение битов 15...8 регистра состояния после выполнения команды не 0x00, то это означает, что буфер имеет массивы данных. В этом случае регистр *Начального индекса массивов в буфере* содержит адрес первого массива, записанного в буфер. В регистре *Количество массивов в буфере* содержит количество массивов, записанных в буфер, и в регистре *Длина массивов в буфере* (word) прописана длина массивов в количестве слов, т.е. сколько регистров занимает один массив в буфере. Произведение последних двух значений (числа массивов и длины) определяет число регистров, занятых действительными данными.

Все записи в буфере имеют поле контроля четности CRC. Устройство производит проверку CRC всех записей в буфере. Если происходит хоть одна ошибка контроля четности, то биты 7...0 регистра состояния сразу сигнализируют об этом. Поскольку устройство «не помечает» запись, в которой произошла ошибка CRC, то выяснить место возникновения ошибки возможно только используя специальное программное обеспечение для этого прибора.

ВНИМАНИЕ! При считывании старых записей массивов (более старыми записями считаются те, которые уже «сдвинуты» новыми, поступившими в буфер записями) необходимо производить осторожнее! Если в регистре команд содержится команда на чтение определенной записи и в момент ее выполнения появляется новое измеренное значение в этом массиве, то может произойти «сдвиг» и прочитана будет не желаемая запись, а соседняя.

Именно поэтому рекомендуется либо оставить чтение старейшего массива, либо выполнить чтение в тот момент времени, когда не ожидается синхрои́мпульс, например, в середине четверти часа.

Еще большего внимания требует отслеживание событий в сети. Поскольку они могут произойти в любой момент, и возможно, что за короткое время имеет место большое число событий. В связи с этим для чтения самых последних записей массивов применены два решения:

- ◆ Опускание чтения 100 старейших записей массива. Запись одного регистра занимает не менее 10 ms. Тогда за предстоящую секунду будет сделано самое большое 100 записей. Перезаписывание при этом не вызывает проблем даже в том случае, если из-за нагрузки линии связи исполнение цикла: запись в регистр команды/ожидание/чтение буфера – возможно только раз в секунду.
- ◆ Проверка временной метки считанных массивов до обработки данных.

4.2.9.5 Массив событий напряжения

Офсет	Название	Примечания
0x0000	Отметка времени, 32 bit integer LO:HI	▪ 0xFFFF FFFF Несуществующий массив
0x0001		▪ 31...26 bit: Год ▪ 0...63 (2000...2063)
		▪ 25...22 bit: Месяц ▪ 1...12
		▪ 21...17 bit: День ▪ 1...31
		▪ 16...12 bit: Час ▪ 0...23
		▪ 11...6 bit: Минута ▪ 0...59
		▪ 5...0 bit: Секунда ▪ 0...59
0x0002	Тип массива	▪ Всегда 0x0020
0x0003	Информация о типе события	▪ 15...12 bit: Фаза ▪ 0x0: R ▪ 0x1: S ▪ 0x2: T
		▪ 11...0 bit: Тип события ▪ 0x103: Перенапряжение >120% ▪ 0x102: Перенапряжение 115...120% ▪ 0x101: Перенапряжение 110...115% ▪ 0x201: Спад напряжения 70...90% ▪ 0x202: Спад напряжения 40...70% ▪ 0x203: Спад напряжения 20...40% ▪ 0x204: Спад напряжения 10...20% ▪ 0x300: Провал напряжения <10%
0x0004	Длина [ms]	
0x0005		
0x0006	Коэффициент напряжения U_F	См. раздел 4.2.2.1
0x0007		
0x0008	Минимум/максимум напряжения	
0x0009	CRC	▪ 15...8 bit: CRC LO
		▪ 7...0 bit: CRC HI
Длина: 10 word		

4.2.9.6 Массив измерений

Офсет	Название	Примечания	
0x0000	Отметка времени 32 bit integer	<ul style="list-style-type: none"> 0xFFFF FFFF несуществующий массив 	
0x0001	LO:HI	<ul style="list-style-type: none"> 31...26 bit: Год 25...22 bit: Месяц 21...17 bit: День 16...12 bit: Час 11...6 bit: Минута 5...0 bit: Секунда 	<ul style="list-style-type: none"> 0...63 (2000...2063) 1...12 1...31 0...23 0...59 0...59
0x0002	Тип массива	<ul style="list-style-type: none"> Всегда 0x0010 	
0x0003	Опции записи	См. раздел 4.2.8.15	
0x0004			
0x0005	Биты состояния измерения	См. раздел 4.2.2.7	
0x0006	Коэффициент тока I_F	См. раздел 4.5	
0x0007			
0x0008	Коэффициент напряжения U_F		
0x0009			
0x000A	Коэффициент мощности S_F		
0x000B			
0x000C	Минимальное мгновенное значение	TMeasRegRec; Если есть регистрация минимума/максимума	Описание массивов приведено ниже таблицы
	Среднее мгновенное значение	TMeasRegRec	
	Максимальное мгновенное значение	TMeasRegRec; Если есть регистрация минимума/максимума	
	Промежуточные значения энергии	TeqhrMeasRegRec; Если есть регистрация промежуточной энергии	
	Значения счетчиков	TCntrRegRec; Если есть регистрация счетчиков	
	Суммарные значения энергии	TEtotMeasRegRec; Если есть регистрация суммарной энергии	
	Минимум частоты	Целое число со знаком полярности. Если есть регистрация частоты и минимума/максимума	
	Средняя частота	Целое число со знаком полярности. Если есть регистрация частоты	
	Максимум частоты	Целое число со знаком полярности. Если есть регистрация частоты и минимума/максимума	
	Регистр ошибки 0	См. п.4.2.4	
	Регистр ошибки 1		
	CRC	<ul style="list-style-type: none"> 15...8 bit: CRC LO 7...0 bit: CRC HI 	
Максимальная длина: 156 word			

Результаты измерений массива пересчитаются в физические величины согласно подразделу 4.5.

◆ TmeasRegRec

Офсет	Название	Примечания
0x0000	Фазное напряжение	T3phRec; В случае регистрации фазового напряжения
Содержание зависит от выбранных опций	Линейное напряжение	T3phRec; В случае регистрации линейного напряжения
	Симметричные составляющие U	TSymRec; В случае регистрации симм. составляющих U
	THD напряжения	T3phRec; В случае регистрации THD напряжения
	Фазовые токи	T3phRec; В случае регистрации тока
	Ток нулевого провода	16 бит integer со знаком полярности; В случае регистрации I_0
	Симметричные составляющие I	TSymRec; В случае регистрации симм. составляющих I
	THD тока	T3phRec; В случае регистрации THD тока
	CF тока	T3phRec; В случае регистрации CF тока
	Общая активная мощность	16 бит integer со знаком полярности; В случае регистрации общей активной мощности
	Активная мощность в каждой фазе	T3phRec; В случае регистрации активной мощности в каждой фазе
	Общая реактивная мощность	16 бит integer со знаком полярности; В случае регистрации общей реактивной мощности
	Реактивная мощность в каждой фазе	T3phRec; В случае регистрации реактивной мощности в каждой фазе
	Общая полная мощность	16 бит integer со знаком полярности; В случае регистрации общей полной мощности
	Полная мощность в каждой фазе	T3phRec; В случае регистрации полной мощности в каждой фазе
	Общий коэфф. мощности	16 бит integer со знаком полярности; В случае регистрации общего коэфф. мощности
Коэфф. мощности пофазно	T3phRec; В случае регистрации коэфф. мощности в каждой фазе	
Максимальная длина: 41 word		

◆ TEqhrMeasRegRec

Офсет	Название	Примечания
0	Потребленная активная энергия	
1	Рекуперированная активная энергия	
2	Индуктивная энергия.	
3	Емкостная энергия	
Длина: 4 word		

◆ TEtotMeasRegRec

Офсет	Название	Примечания
0	Потребленная активная энергия	32-разрядные значения со знаком полярности
1		
2	Рекуперированная активная энергия	
3		
4	Индуктивная энергия.	
5		
6	Емкостная энергия	
7		
Длина: 8 word		

◆ TCntrRegRec

Офсет	Название	Примечания
0	0-й счётчик	
1	1-й счётчик	
2	2-й счётчик	
Длина: 3 word		

◆ T3phRec

Офсет	Название	Примечания
0	Фаза R	
1	Фаза S	
2	Фаза T	
Длина: 3 word		

◆ TSymRec

Офсет	Название	Примечания
0	Составляющая нулевой последовательности	
1	Составляющая положительной последовательности	
2	Составляющая отрицательной последовательности	
Длина: 3 word		

4.2.10 Буфер формы сигнала

4.2.10.1 Регистры команд, типов, состояния

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x05F0 (RW)	Регистр команд буфера формы сигнала	<ul style="list-style-type: none"> 0x0000: Регистр команд готов к принятию команд 0x0001: Запуск выборки (измерений) (Start) 0x0002: Остановка выборки (измерений) (Stop) 0x0003: Генерирование условий пуска (Trigger)
0x05F1 (R)	Регистр состояния буфера формы сигнала	<ul style="list-style-type: none"> 0x0000: Инициализация буфера формы сигнала 0x0001: Нет измерений 0x0002: Начальная загрузка буфера. 0x0003: Ожидание условия пуска 0x0004: Условия пуска выполнены, сбор данных в процессе 0x0005: Измерение закончилось, результаты в буфере формы сигнала доступны
0x05F2 (R)	Количество выборок (проб) до выполнения условий пуска	<p>Эти регистры только читаются, содержат актуальные параметры сбора информации. По команде Start их значения записываются из таблицы параметров.</p> <p>Т.о. их значения можно изменить записью в соответствующие регистры таблицы параметров, но указанные новые параметры учитываются устройством только в следующем цикле сбора данных (после команды Start).</p>
0x05F3 (R)	Логический импульс пуска	
0x05F4 (R)	0-ое аналоговое условие пуска, режим работы	
0x05F5 (R)	0-ое аналоговое условие пуска, уровень напряжения	
0x05F6 (R)	1-ое аналоговое условие пуска, режим работы	
0x05F7 (R)	1-ое аналоговое условие пуска, уровень напряжения	
0x05F8 (R)	2-ое аналоговое условие пуска, режим работы	
0x05F9 (R)	2-ое аналоговое условие пуска, уровень напряжения	
0x05FA (R)	3-ее аналоговое условие пуска, режим работы	
0x05FB (R)	3-ее аналоговое условие пуска, уровень напряжения	
0x05FC (R)	4-ое аналоговое условие пуска, режим работы	
0x05FD (R)	4-ое аналоговое условие пуска, уровень напряжения	
0x05FE (R)	5-ое аналоговое условие пуска, режим работы	
0x05FF (R)	5-ое аналоговое условие, уровень напряжения	

4.2.10.2 Регистры данных

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0600... 0x06FF (R)	Канал U_1	К каждому каналу относится 256 регистров, которые содержат 512 шт. 8-битных измерений (выборок). Каждый регистр содержит 2 измерения (байт меньшего значения (LSB) содержит измерение с меньшим индексом).
0x0700... 0x07FF (R)	Канал U_2	
0x0800... 0x08FF (R)	Канал U_3	
0x0900... 0x09FF (R)	Канал I_1	
0x0A00... 0x0AFF (R)	Канал I_2	
0x0B00... 0x0BFF (R)	Канал I_3	

2.3 Регистры TMT- G с постоянным базовым адресом

4.3.1 Актуальная конфигурация регистров

Адрес/Тип	Название	Примечания
0xF000 (R)	Актуальная конфигурация регистров	<ul style="list-style-type: none"> 0x0000: Аллокация регистров, совместимое с TMT-D 0xFFFF: (Новое) распределение регистров TMT-G

Диапазоны адресов указанных двух конфигураций показаны на следующем рисунке. Регистр, указанный выше, служит только для чтения. Изменение конфигурации возможно с помощью таблицы параметров (подраздел 4.2.8.19).

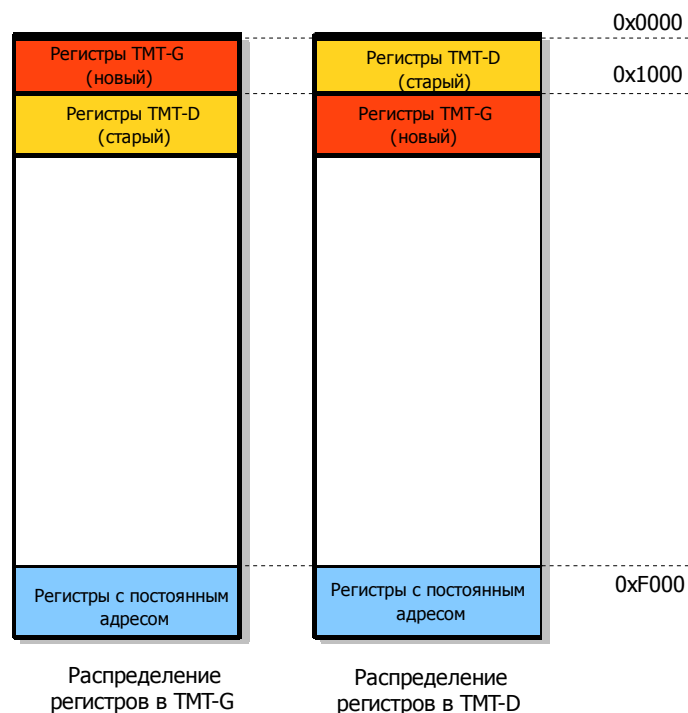


Рис. 4.2: Распределение регистров

4.3.2 Изменение актуальных параметров коммуникации

Адрес/Тип	Название	Примечания
0xF010 (RW)	Регистр коммуникации Регистр команд	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0001: Изменение параметров коммуникации ▪ 0xFFFF: Исполнение команды отклоняется
0xF011 (RW)	Новые параметры	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15...8 bit: Baudrate <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x01: 9600 ▪ 0x02: 19200 ▪ 0x03: 28800 ▪ 0x04: 38400 ▪ 0x06: 57600 ▪ 0x0C: 115200 ▪ 7...0 bit: Адрес ModBus <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1---249
0xF014... 0xF01F (RW)	Заводской номер	См. в тексте

Часто бывает, что по какой-то причине не известны актуально установленные параметры коммуникации устройства или во время установки устройства на место работы ещё не было известно распределение адресов, и на линию RS485 устанавливаются устройства с одним и тем же адресом (установленным на заводе в качестве основного). В этом случае через адрес 0x00 (broadcast) устройства, с помощью этих регистров параметры коммуникации могут быть установлены. Для изменения установки параметров коммуникации в регистры 0xF014...0xF01F нужно записать заводской номер устройства, а в регистр 0xF011 - новые установки. После этого в регистр 0xF010 надо записать код команды 0x0001. Если заводской номер устройства совпадает с заводским номером, записанным в регистры 0xF014...0xF01F, тогда (только тогда) исполняется команда. Т.о. могут быть установлены требуемые значения параметров коммуникации, установленных на одну и ту же линию (если известны их заводские номера).

Внимание! Указанные установки носят временный характер, они не включаются в таблицу параметров! Они служат только для создания связи, в случае неизвестных параметров. После успешного создания связи необходима также установка таблицы параметров.

2.4 Регистры, совместимые с TMT-D

Адрес/Тип	Название	Примечания
0x0000 (R)	$I_1 (M_{I1})$	Значение тока [A]: $I = A_{II} \cdot I_{НОМ} \cdot M_I / 3400$
0x0001 (R)	$I_2 (M_{I2})$	
0x0002 (R)	$I_3 (M_{I3})$	
0x0003 (R)	$U_1 (M_{U1})$	Значение напряжения [V] $U = A_{UU} \cdot U_{НОМ} \cdot M_U / 3400$
0x0004 (R)	$U_2 (M_{U2})$	
0x0005 (R)	$U_3 (M_{U3})$	
0x0006... 0x0008 (R)	Не использовано	
0x0009 (R)	F (M_F)	Частота [Hz]: $F = M_F / 1000$
0x000A (R)	P TOT (M_P)	Мощность [W]: $P = A_{II} \cdot A_{UU} \cdot I_{НОМ} \cdot U_{НОМ} \cdot M_P / 3400$
0x000B (R)	Q TOT (M_Q)	Реактивная мощность [Var]: $Q = A_{II} \cdot A_{UU} \cdot I_{НОМ} \cdot U_{НОМ} \cdot M_Q / 3400$

4.5 Перерасчет нормированных значений в физические величины.

4.5.1 Значение коэффициентов

Эти значения считываются из регистров, описанных в разделе 4.2.2.

Используя номинальные входные значения из ярлыка и значения из таблицы параметров (тип входа по току и коэффициент трансформаторов тока) физические значения рассчитываются по следующей формуле:

$$I_F[\text{A}] = \frac{I_{NOM} \cdot A_{II}}{20000} \quad U_F[\text{V}] = \frac{U_{NOM} \cdot A_{UU}}{20000} \quad S_F[\text{VA}] = \frac{(I_{NOM} \cdot A_{II})(U_{NOM} \cdot A_{UU})}{20000} \quad (4.3)$$

где I_{NOM} и U_{NOM} - номинальные входные значения. В случае входа 1A/5A I_{NOM} зависит ещё от выбранного предела измерения. A_{II} и A_{UU} - коэффициенты трансформаторов тока и напряжения, подключенных ко входу преобразователя.

4.5.2 Фазное и линейное напряжение, симметричные составляющие напряжения.

$$\begin{aligned} U_{LN}[\text{V}] &= U_F \cdot M_{ULN} \\ U_{LL}[\text{V}] &= \sqrt{3} \cdot U_F \cdot M_{ULL} \\ U_{SYM}[\text{V}] &= U_F \cdot M_{USYM} \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.5.3 Фазовый ток, ток в нулевом проводе, симметричные составляющие тока.

$$\begin{aligned} I_L[\text{A}] &= I_F \cdot M_{IL} \\ I_N[\text{A}] &= 3 \cdot I_F \cdot M_{IN} \\ I_{SYM}[\text{A}] &= I_F \cdot M_{ISYM} \end{aligned} \quad (4.5)$$

4.5.4 RMS значения гармонических составляющих.

$$U_H[\text{V}] = U_F \cdot M_{UH} \quad I_H[\text{A}] = I_F \cdot M_{IH} \quad (4.6)$$

4.5.5 Коэффициент гармонического искажения.

$$THD[\%] = \frac{100}{5000} \cdot M_{THD} \quad (4.7)$$

4.5.6 Коэффициент формы тока (Кресс-фактор).

$$CF[A/A] = \frac{1}{1000} \cdot M_{CF} \quad (4.8)$$

4.5.7 Мощности, коэффициент мощности,

Мощность по фазам:

$$\begin{aligned} P[W] &= S_F \cdot M_P & Q[VAR] &= S_F \cdot M_Q \\ S[VA] &= S_F \cdot M_S & PF[W/VA] &= \frac{1}{20000} \cdot M_{PF} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Общие 3-х фазные мощности:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma}[W] &= 3 \cdot S_F \cdot M_{\Sigma P} & Q_{\Sigma}[VAR] &= 3 \cdot S_F \cdot M_{\Sigma Q} \\ S_{\Sigma}[VA] &= 3 \cdot S_F \cdot M_{\Sigma S} & PF_{\Sigma}[W/VA] &= \frac{1}{20000} \cdot M_{\Sigma PF} \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.5.8 Потребленная энергия.

$$E[VAh] = 1h \cdot 3 \cdot S_F \cdot M_E \quad E[VAs] = 3600s \cdot 3 \cdot S_F \cdot M_E \quad (4.11)$$

4.5.9 Количество энергии, соответствующей одному импульсу.

$$\begin{aligned} E[VAs] &= \frac{3600s \cdot S_F}{45000000} E_{IMP} \\ E[VAh] &= \frac{1h \cdot S_F}{45000000} E_{IMP} \end{aligned} \quad (4.12)$$

4.5.10 Частота

$$F[Hz] = 50 + \frac{M_F}{1000} \quad (4.13)$$

4.6 Общие используемые постоянные

4.6.1 CLogicTime

Значение	Описание
0x0	Нет
0x1	T=1мс
0x2	T=2мс
0x3	T=5мс
0x4	T=10мс
0x5	T=20мс
0x6	T=50мс
0x7	T=100мс
0x8	T=200мс
0x9	T=500мс
0xA	T=1с
0xB	T=2с
0xC	T=5с
0xD	T=10с
0xE	T=30с
0xF	T=1мин

4.6.2 CImpulseSrc

Значение	Описание
0x0	Нет
0x1	Выход 0-го фильтра импульсов
0x2	Выход 1-го фильтра импульсов
0x3	Выход 2-го фильтра импульсов
0x4	Синхроимпульс
0x5	E_{P+} Импульсы модуля измерения
0x6	E_{P-} Импульсы модуля измерения
0x7	E_{Q+} Импульсы модуля измерения
0x8	E_{Q-} Импульсы модуля измерения
0x9	Генератор логических импульсов
0xA	Запись закончилась
0xB	Импульс внутренних часов
0xC	Регистрация формы сигнала закончилась
0xD	Выход 3-го фильтра импульсов

4.6.3 CmeasSrc

Значение	Описание
0x00	Нет
0x01	Ток фазы I_R
0x02	Ток фазы I_S
0x03	Ток фазы I_T
0x04	Фазное напряжение U_R
0x05	Фазное напряжение U_S
0x06	Фазное напряжение U_T
0x07	Общая активная мощность
0x08	Общая реактивная мощность
0x09	Общая полная мощность
0x0A	Общий коэффициент мощности
0x0B	Ток нулевой последовательности
0x0C	Ток положительной последовательности
0x0D	Ток отрицательной последовательности
0x0E	THD тока фазы R
0x0F	THD тока фазы S
0x10	THD тока фазы T
0x11	Кресс-фактор фазы R
0x12	Кресс-фактор фазы S
0x13	Кресс-фактор фазы T
0x14	Ток нулевого провода
0x15	Линейное напряжение U_{RS}
0x16	Линейное напряжение U_{ST}
0x17	Линейное напряжение U_{TR}
0x18	Напряжение нулевой последовательности
0x19	Напряжение положительной последовательности
0x1A	Напряжение отрицательной последовательности
0x1B	THD напряжения фазы R
0x1C	THD напряжения фазы S
0x1D	THD напряжения фазы T
0x1E	Активная мощность фазы R
0x1F	Активная мощность фазы S
0x20	Активная мощность фазы T
0x21	Реактивная мощность фазы R
0x22	Реактивная мощность фазы S
0x23	Реактивная мощность фазы T
0x24	Полная мощность фазы R
0x25	Полная мощность фазы S
0x26	Полная мощность фазы T
0x27	Коэффициент мощности фазы R
0x28	Коэффициент мощности фазы S
0x29	Коэффициент мощности фазы T
0x2A	Промежуточное значение потребленной активной энергии
0x2B	Промежуточное значение генерированной активной энергии
0x2C	Промежуточное значение индуктивной энергии
0x2D	Промежуточное значение емкостной энергии
0x2E	0-й счётчик импульсов
0x2F	1-й счётчик импульсов
0x30	2-й счётчик импульсов
0x31	Частота

4.6.4 CDigiSrc

Значение	Описание
0x0	Нет
0x1	0-й компаратор
0x2	1-й компаратор
0x3	2-й компаратор
0x4	0-й формирователь импульсов
0x5	1-й формирователь импульсов
0x6	2-й формирователь импульсов
0x7	Сигнал выключения нагрузки 0-го устройства ограничения мощности
0x8	Сигнал перерасхода 0-го устройства ограничения мощности
0x9	Сигнал выключения нагрузки 1-го устройства ограничения мощности
0xA	Сигнал перерасхода 1-го устройства ограничения мощности
0xB	Сигнал выключения нагрузки 2-го устройства ограничения мощности
0xC	Сигнал перерасхода 2-го устройства ограничения мощности

5 Приложения

5.1 Выборка измерительных значений

В старых типах TMT были применены низкие частоты выборки, около $F_S = 1 \text{ kHz}$. Для того, чтобы при измерении были также учтены составляющие с частотой, превышающей $F_S/2$, в старых устройствах не были применены фильтры (anti-aliasing) для предотвращения наложения частот. Установка F_S была такова, чтобы не являлась целой кратной 50 Hz. В результате составляющие с наложением частот не оказались близко друг к другу. Преимуществом этого решения являлось, что было возможно применение относительно малой частоты выборки (объем требуемых расчетов измерений примерно квадратично зависит от частоты выборки) и не было необходимости синхронизации частоты выборки с частотой измеряемого сигнала. Недостатком же было то, что на период 50 Hz приходилось не целое число выборки. Поэтому не был возможен расчет RMS за полпериода. Для обеспечения требуемой точности необходимо было иметь не менее 3-4 выборок при использовании специальных цифровых фильтров.

В приборе TMTG-3f применено новое аппаратное решение измерения спектра сигнала. Расчет спектра производится по алгоритму быстрого преобразования Фурье (FFT). Для точного вычисления FFT необходима синхронизация частоты выборки с частотой измеряемого сигнала и применение фильтра наложения частот (anti aliasing) (НЧ фильтр).

◆ Синхронизация частоты выборки

Устройство производит выборку сигналов с частотой $F_{S_NOM}=3200\text{Hz}$. Индекс *NOM* означает, что эта частота является номинальной частотой выборки. Частота выборки синхронизирована, текущая частота расчетов всегда равна 64 кратной актуальной частоте измеряемого сигнала ($F_S=64 \cdot F_B$). Именно программное обеспечение устройства, а не аппаратные средства (PLL), обеспечивает синхронизацию выборки и расчетов. Это дает два важных преимущества:

Программное обеспечение следит за напряжением всех трех фаз. Обычно синхронизация устройства осуществляется от фазы R. В случае выпадения фазы происходит переход на фазу S без необходимости компенсации отклонения 120 градусов (при выпадении фазы S происходит переход на фазу T).

Другим важным преимуществом является блочное действие. Это означает, что в окне расчета FFT (в случае TMTG это 8 периодов) частота выборки постоянна. Установка частоты выборки программой производится всегда в конце блока, в зависимости от отклонения фаз, рассчитанного из выборок последнего блока. В обычно-принятых схемах для определения фазы, PLL, в зависимости от типа применяемого детектора фазы, выдает скачкообразный сигнал на фильтр PLL при каждом или каждом втором переходе сигнала через ноль. Поэтому входным сигналом VCO является сигнал пилы. Это приводит к тому, что частота выборки, полученная таким образом, постоянно меняется. А изменяющийся период выборки влечет за собой размывку спектра FFT до такой степени, как будто отсутствовала синхронизация. Преобразователь TMTG

рассчитывает спектр из блоков длиной 8 периодов по алгоритму FFT. В пределах каждого блока частота выборки постоянна.

◆ Наложения гармоник спектра.

Предотвращение наложения частот решается проще всего аналого-цифровым преобразователем типа Σ/Δ (что следует из принципа работы). В устройстве однако используется АЦП, работающий методом последовательного приближения и интегрированный в DSP. С одной стороны, это более дешевое решение, но с другой стороны, для синхронизации, рассмотренной выше, необходимо осуществлять настройку частоты выборки очень тонкими шагами. С помощью АЦП, интегрированного в DSP, это решается гораздо легче.

Чтобы преобразование FFT имело наилучший результат необходимой точности, необходимо подавить компоненты наложения хотя бы фильтром 50дБ.

Так как частота $F_S/2=1600\text{Hz}$, то наибольшая частота полезных гармоник будет 1550Hz. На эти гармоники в ходе измерений накладываются гармоники 1650Hz. Это значит, что требовался бы аналоговый фильтр, эффективность которого на частоте 1550Hz должна быть не хуже 0,95, а на 1650 Hz -50дБ. Очевидно, что аналоговый фильтр с такой крутизной изготовить очень трудно.

Поэтому АЦП прибора работает с частотой $F_{SAD_NOM}=12800\text{Hz}$ ($F_{SAD}=256 \cdot F_B$) частоты выборки.

На рисунке 5.1 изображено описанное наложение частот. Таким образом, наименьшая частота, накладываемая в диапазон 0...1600Hz, частота $F_{SAD} - 1600=11200\text{ Hz}$.

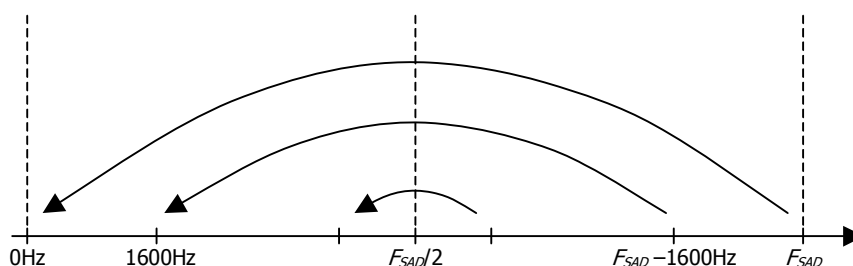


Рис. 5.1: Наложение частот

Необходим такой фильтр, который пропускает сигналы 0–1600Hz с наименьшей ошибкой, а частоты выше 11200Hz подавляет 50 дБ. Поэтому в преобразователе установлен фильтр Butterworth четвертой степени с точкой перелома 2500Hz. Полоса пропускания на частоте 1600Hz: 0.99, на частоте 11200Hz равна -52dB.

Таким образом выборки, полученные частотой после АЦП $F_{SAD_NOM}=12800\text{Hz}$ в интервале 0–1600Hz можно считать без наложений. Программное обеспечение, заложенное в устройстве, с помощью дискретного фильтра 180-ой степени отфильтровывает компоненты выше 1600 Hz (пропускная способность фильтра в области 0-1550Hz равна $1 \pm 0,001$, а подавление на частотах выше 1650 Hz равно -52 dB. Далее сохраняется каждый четвертый сигнал, образуя, таким образом, серию сигналов частотой $F_{S_NOM}=3200\text{Hz}$ для расчета измеряемого значения и FFT. Таким образом, результат содержит всю информацию о

сигнале в диапазоне 0...1600Hz, что означает вычисление гармонических составляющих до 31 гармоники при частоте сигнала 50 Hz.

5.2 Расчет гармонических составляющих среднеквадратичных значений.

Прибор осуществляет выборку измерений с частотой $F_S = 3200\text{Hz}$. Вычисление гармонических составляющих входных сигналов по алгоритму FFT (быстрое Фурье-преобразование) происходят с частотой 50Hz за 8 периодов сигнала. Таким образом, преобразования FFT осуществляется каждые 160ms, основываясь на 512 выборках сигнала. Результаты Фурье-преобразования получаются с частотой $F_{RES} = 1/160\text{ms} = 6,25\text{Hz}$, и спектральным разложением по частотам $0..F_S/2$, содержат две величины: амплитуду синусоидальной составляющей и ее частоту. (В дальнейшем комплексные амплитуды сигналов FFT-преобразования будем обозначать как H_{DC} и $H_1...H_{256}$). Поскольку выборка синхронизирована с измеряемым сигналом, комплексные амплитуды гармонических составляющих только сигнала 50Hz (H_{8-N}) не равны нулю при неизменном сигнале.

В случае медленных изменений входного сигнала (что на практике имеет место в большинстве случаев) под действием постоянной модуляции, как видно на рис. 5.2 в FFT разложении вокруг 50 Герцовых составляющих спектра появляются соседние гармоники.

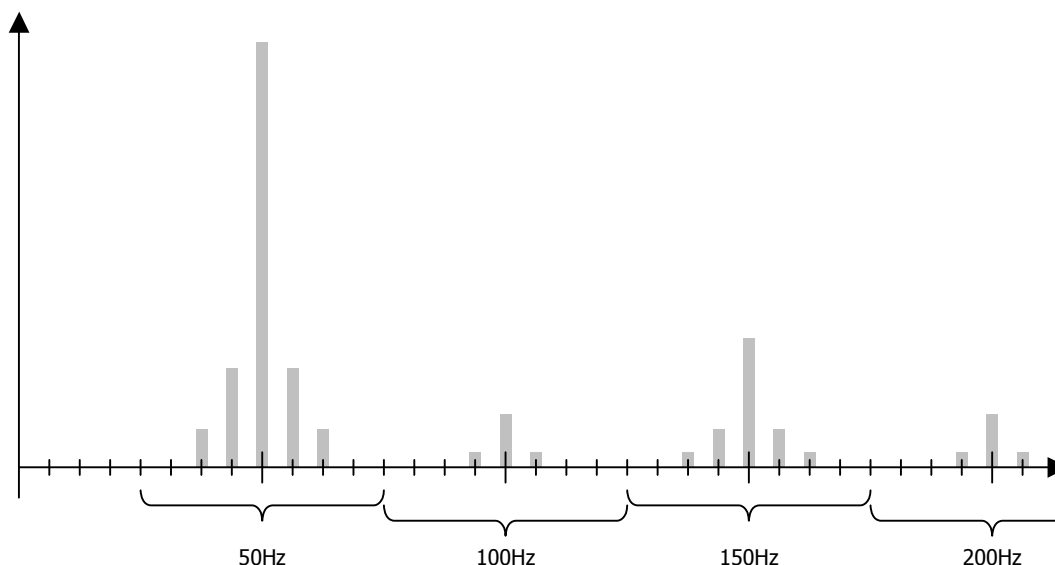


Рис. 5.2: Гармонические составляющие среднеквадратичных значений входного сигнала, полученные по алгоритму FFT.

Среднеквадратичные значения отдельных гармоник можно достаточно точно оценить, если учесть соседние составляющие. Устройство вычисляет среднеквадратичные значения по нижеприведенной зависимости (U_N – это среднеквадратичное значение (амплитуда) гармоники $N \cdot 50\text{Hz}$):

$$U_N = \sqrt{\frac{1}{2}|H_{8 \cdot N - 4}|^2 + \sum_{i=-3}^3 |H_{8 \cdot N + i}|^2 + \frac{1}{2}|H_{8 \cdot N + 4}|^2} \quad (5.1)$$

Как видно, в вычислении среднеквадратичного значения учитываются соседние 3-3 спектральные амплитуды в квадрате, квадрат следующей с весом 0.5 – 0.5. Последние 2 составляющие учитываются и при вычислении гармонических составляющих.

5.3 Вычисление параметров аналоговых характеристик, пример

Пусть вход прибора настроен на $I_{NOM}=5A$ и $U_{NOM}=230,94V$, используется трансформатор тока 200A: 5A, трансформатора напряжения нет, тогда коэффициенты трансформации входных величин $A_{II}=40$, $A_{UU}=1$.

Устанавливаем соответствие входного сигнала суммарной мощности от 3 фаз - 0кВт соответствует 4mA, 120кВт соответствует 20mA. Выходной ток ограничен диапазоном 4..20mA.

◆ Формулы, используемые для расчета:

Нижеследующим зависимостью устанавливает связь между суммарной мощностью входного сигнала и реальным измеренным значением физической величины (раздел 4.5):

$$P_{\Sigma} [W] = 3 \cdot S_F \cdot M_{\Sigma P} \quad (5.2)$$

где физическое значение S_F рассчитывается по формуле (см. раздел 4.5):

$$S_F [VA] = \frac{(I_{NOM} \cdot A_{II})(U_{NOM} \cdot A_{UU})}{20000} \quad (5.3)$$

Тогда формирователи характеристики

$$V_{LIN} = M \cdot \frac{A_N}{8192} + B_N$$

$$V = \begin{cases} S_{LO} & \text{если } V_{LIN} < S_{NLO} \\ S_{HI} & \text{если } V_{LIN} > S_{NHI} \\ V_{LIN} & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (5.4)$$

По приведенным формулам, зная M , находят величину V (см. пункт 4.2.8.11). Эта величина связана с аналоговым выходом, на который будет подан следующий токовый сигнал:

$$I_{вых} [mA] = 20mA \cdot \frac{V_N}{20000} \quad (5.5)$$

Параметры характеристик можно рассчитать, основываясь на следующих шагах:

◆ Расчет S_{LO} :

На основе формулы (5.5) при 4 mA $V=4000$, поэтому по 5.4 $S_{LO}=4000$

◆ Расчет S_{HI} :

По формуле 5.5 получаем, что 20mA соответствует $V=20000$, и тогда из формулы 5.4 следует $S_{HI}=20000$.

◆ *Расчет В:*

Установленный ток для 0kW соответствует 4mA. Согласно приведенным вычислениям току в 4mA соответствует $V_N=4\ 000$. Значению 0kW соответствует величина $M=0$. Если $M=0$, то по формуле (5.4) получаем $V_{LIN_0kW}=B$. Отсюда следует, что $B=4\ 000$.

◆ *Расчет А:*

Установленный ток для 120kW соответствует 20mA. Для вычисления величины М при 120kW необходимо сначала вычислить значение S_F по формуле 5.3: $S_F=(5A \cdot 40) \cdot (230,94V \cdot 1) / 20000 = 2.3094$. Таким образом, исходя из 5.2 получаем величину $M=120\ 000 / (3 \cdot S_F) = 17\ 321$.

Из формулы 5.4 выводим выражение для А:

$$A = \frac{8192}{M} (V_{LIN} - B) \quad (5.6)$$

Согласно проведенным ранее вычислениям 20mA соответствует $V_N=20\ 000$ и $B=4\ 000$. Подставляем в формулу 5.6: $A=(20\ 000-4\ 000) \cdot 8192 / 17\ 321 = 7567$.