

**Преобразователь
переменного тока и
напряжения ТТ- XX Р2
Руководство
пользователя**

Содержание

<u>Содержание.....</u>	<u>1</u>
<u>1. Общее описание.....</u>	<u>2</u>
1.1.Предупреждения по технике безопасности.....	2
1.2.Назначение устройства.....	3
<u>2 Описание работы.....</u>	<u>4</u>
1.1.Построение хардвера.....	4
2.1.1.Входной измерительный трансформатор.....	4
2.1.2.Звено DSP.....	5
2.1.3.Генератор тока	5
2.1.4.Цепь RS485	5
2.1.5.Цифровой выход	5
3.2.Логическое построение.....	6
3.2.1.Таблица параметров.....	6
3.2.2.Аналоговые входы, калибровка	7
3.2.3.Измерение	7
3.2.4.Переключатель пределов	7
3.2.5.Цифровой выход	7
3.2.6.RS485 и блок управления ModBus	7
3.2.7.Аналоговая характеристика	8
3.2.8.Аналоговый выход.....	8
4.2.Технические данные.....	9
<u>3 Линия коммуникации.....</u>	<u>11</u>
3.2.Линия последовательной связи.....	11
4.2.Протокол.....	11
3.2.1.Выполненные команды.....	11
3.2.2.Структура телеграмм.....	12
<u>4 ModBus, регистры holding</u>	<u>14</u>
4.1Электронная таблица данных.....	14
4.2Измеренное значение RMS.....	14
4.3Регистры состояния устройства и регистр ошибок	14
4.4Регистры управления выходом.....	15
4.5Регистр Reset	15
4.6Таблица параметров.....	16
4.6.1Регистр команд таблицы параметров	16
4.6.2Регистры данных таблицы параметров	16
Постоянные таблицы параметров.....	19
<u>5 Приложения.....</u>	<u>20</u>
5.1Выборка.....	20

1. Общее описание

1.1. Предупреждения по технике безопасности

ВНИМАНИЕ! ЖИЗНЕННАЯ ОПАСНОСТЬ!

Удаление крышки устройства, подключенного к сети, **ЗАПРЕЩАЕТСЯ** и **ОПАСНО** ДЛЯ ЖИЗНИ!

В устройстве некоторые платы печатной схемы гальванически подключены к напряжению сети. Поэтому удаление крышки устройства допускается строго в обесточенном состоянии!

При установке устройства на месте работы измеряемая сеть должна быть строго обесточена, установка должна производиться только квалифицированным персоналом!

Установка устройства должна производиться на месте, не доступном для посторонних лиц!

Работа с установленным устройством допускается лишь персоналом, подготовленным к работе под напряжением!



1.2. Назначение устройства

Устройства ТПххР служат для измерения реальных действующих значений сигналов тока или напряжения в сетях низкого напряжения, а также для аналоговой (генераторы тока) и дискретной (RS485) телепередачи измеренных сигналов.

Обеспечивается гальваническое разделение между измеряемым сигналом и остальной частью устройства.

Устройство обладает выходом с открытым коллектором, который служит как переключатель пределов.

2 Описание работы

1.1. Построение хардвера

Принципиальная структура хардвера показана на рисунке 2.1. В последующих пунктах дается описание звеньев, показанных на рисунке.

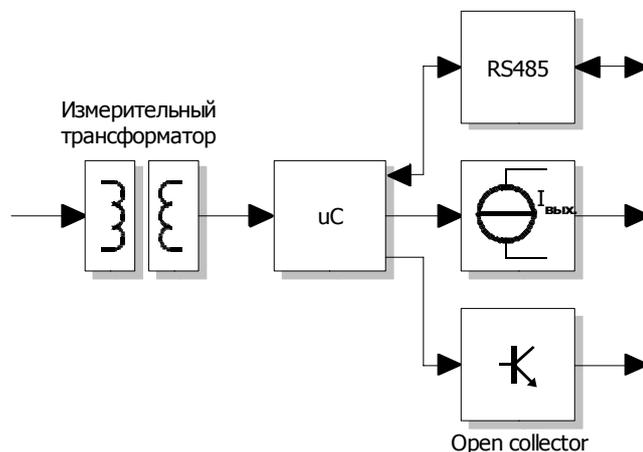


Рис. 2.1 Построение преобразователя

2.1.1. Входной измерительный трансформатор

Задачей измерительного трансформатора является преобразование измеряемого сигнала для аналого-цифрового преобразователя, расположенного в звене микроконтроллера. Типом измерительного трансформатора определяется измеряемый сигнал и учитываемый предел измерения. Существуют следующие типы:

Таблица 2.1.: Типы измерительных трансформаторов для устройства ТПххР

Измерение напряжения	Измерение тока
400 В	1 А/5 А
230,94 В	
200 В	
115,47 В	
100 В	
57,735 В	

В таблице указанной выше обозначение 1 А/5 А указывает на тип, с помощью которого возможно измерение номинального тока как 1 А так и 5 А. Этот измерительный преобразователь имеет разветвление в первичной обмотке.

Устройства, выпускаемые с таким измерительным преобразователем, имеют на входах тока три клеммы: одну общую и по одной для измерения 1А и 5А. (п.2.2). Для получения правильного результата в таблице параметров устройства необходимо установить, при каком пределе в данном случае работает устройство. (п. 4.6.2.2).

Измерительным трансформатором помимо преобразования сигнала обеспечивается гальваническое разделение между измеряемой сетью и остальными звеньями устройства прочностью на пробой в 4 кВ.

2.1.2. *Звено DSP*

Основные элементы звена DSP - это блок управления Цифрового Процессора Сигнала DSP (Digital Signal Processor), памяти EEPROM и аналоговые и цифровые входные и выходные цепи. Работа устройства производится программой на DSP. Описание логических блоков математического обеспечения устройства см. в п. 2.3.

2.1.3. *Генератор тока*

Генераторы тока дают ток в области 0...24мА на нагрузке не более $R_H=500\Omega$.

Генератор тока дает сигнал в зависимости от измеренной величины. Выходная характеристика – линейная, можно установить любую крутизну (>0), офсет, нижний и верхний уровень насыщения. Таким образом можно установить выходную характеристику 0-20, 4-24... и т. п. (Подробности см. в пп. 2.3.7 и 4.6.2.5.)

2.1.4. *Цепь RS485*

Устройство осуществляет коммуникацию типа slave через стандартную линию RS485, пользуясь протоколом ModBus. Через линию RS485 считываются и устанавливаются результаты измерений, таблица параметров измерения, установки коммуникации, генератор тока, параметры цифрового выхода. Подробности коммуникации рассматриваются в главах 3 и 4.

2.1.5. *Цифровой выход*

Устройство обладает выходом с открытым коллектором, служащим переключателем пределов. Выход гальванически отделен от электроники устройства при помощи оптической цепи связи.

ВНИМАНИЕ! Указанная оптическая цепь обеспечивает изоляцию от остальных частей устройства лишь в той степени ($U_{iso}<500\text{ В}$), чтобы можно было избегать помехи в системах, состоящих из нескольких блоков, которые возникают из-за гальванических связей (например, земельные петли). НЕ обеспечивает изоляции безопасности жизни!

2.2 Подключение устройства

Распределение клемм устройства изображено на рис. 2.1. В зависимости от типа устройства устанавливается лишь один из входов питания низкого напряжения и 100 В-230 В.

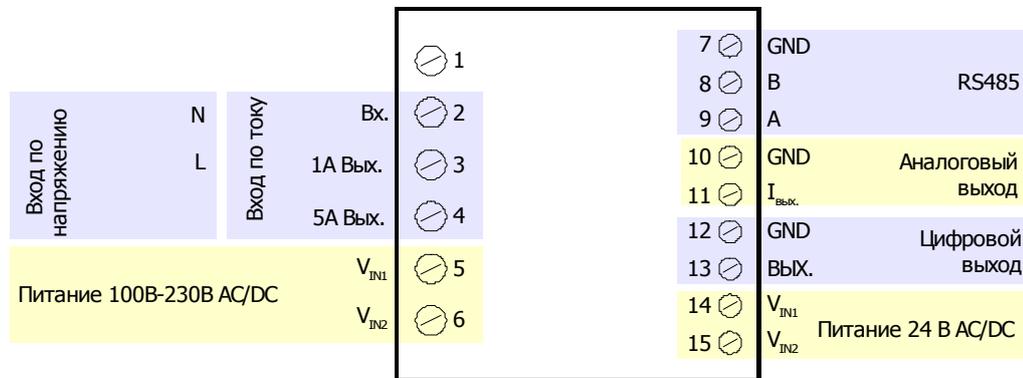


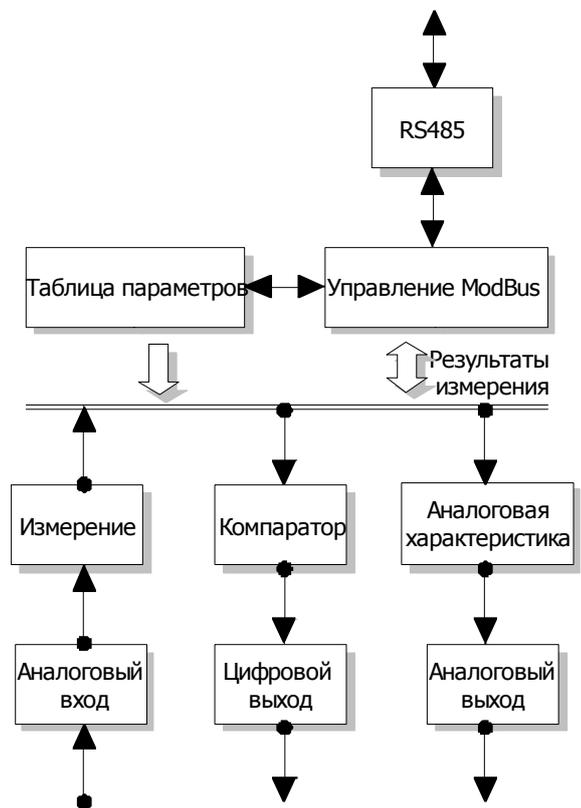
Рис. 2.2.: Распределение клемм TITxxP2

3.2. Логическое построение

Задачей софтвера блока управления DSP является выполнение измерений и регистрация данных, управление дискретными выходами и входами и коммуникация на линии RS485. Логическое построение софтвера показано на рис. 2.2. В последующих пунктах рассматривается принципиальное описание логических блоков, изображенных на рисунке. Подробное описание можно найти в главе 4. Полная информация о работе отдельных блоков дается в данной подглаве и главе 4 совместно.

3.2.1. Таблица параметров

Как это показано в следующих пунктах, отдельные логические блоки могут работать в нескольких режимах. Соответствующие параметры вместе с постоянными калибровками хранятся в таблице параметров. Данные таблицы параметров записаны в памяти EEPROM, поэтому они не теряются при выключении устройства. Перечень параметров отдельных режимов можно найти в Рис. 2.3 Логическое построение описании регистров ModBus в пункте 4.6.2.



3.2.2. Аналоговые входы, калибровка

Выборка сигнала, получаемого от обегавшего блока, производится частотой $F_S=12,8$ КГц. Фильтр перекрытия (anti-aliasing) четвертого порядка, помещенного в hardware, дополняется цифровым фильтром софтвера FIR. Этим фильтром из входных выборок образуется серия сигналов частотой выборки $F_{SM}=3,2$ кгц (децимализация). Дальнейшее описание см. в приложении 5.1.

Постоянная погрешность цепей блока обегания и передаточного числа А/Ц преобразователя компенсируется коэффициентом калибровки, записанном в таблице параметров. В случае устройств типа 1А/5А к каждому из входов относится свой коэффициент. Коэффициенты калибровки определяются и задаются в ходе производства-наладки, они не могут быть изменены пользователем. Выборки А/Ц преобразователя передаются логическим блоком управления аналоговых входов модулю измерения после умножения на эти значения калибровки.

3.2.3. Измерение

Из форм сигналов, описанных калиброванными выборками и полученных от А/Ц преобразователя – модулем измерения из выборок последних двух периодов (40 мсек) через промежутки $T_{MEAS}=20$ мсек рассчитывается значение RMS. Модулю измерения придается слово состояния, содержащее информацию о возможном превышении предела входного сигнала.

3.2.4. Переключатель пределов

Входом переключателя пределов является измеренное значение RMS. Порог переключения L и гистерезис H могут быть установлены в таблице параметров (рис. 2.3).

3.2.5. Цифровой выход

Управление цифровым выходом возможно на линии RS485 или переключателем пределов.

3.2.6. RS485 и блок управления ModBus

Подробное описание коммуникации см. в главах 3 и 4.

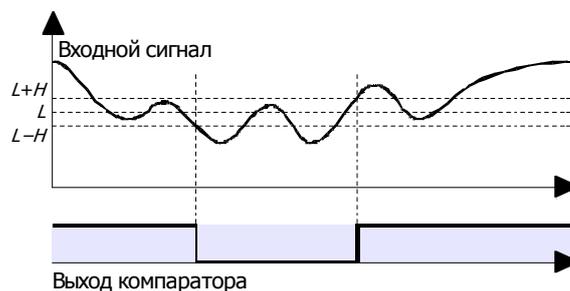


Рис. 2.4 Работа компаратора

3.2.7. Аналоговая характеристика

Входным сигналом для блока создания аналоговой характеристики является измеренное значение RMS. Соответствие между измеренным значением и выходным током (напряжением) создается блоком образования аналоговой характеристики. Возможно установка линейной характеристики по нижнему и верхнему уровню насыщения (рис. 2.4).

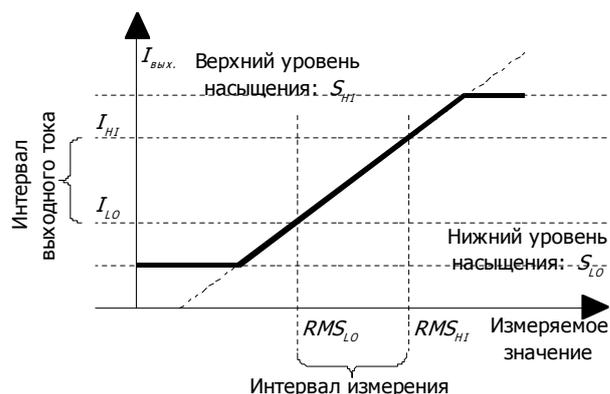


Рис. 2.5 Характеристика аналогового выхода

Значения, показанные на рисунке, могут быть по одному установлены в таблице параметров, но имеется несколько конфигураций, установленных заранее.

3.2.8. Аналоговый выход

Управление аналоговым выходом возможно через линию RS485 или на выходе выдается значение тока, определенное блоком образования характеристики. Постоянные ошибки аналоговых цепей корректируется выражением $A \cdot x + B$ (A и B – постоянные калибровки).

4.2. Технические данные

Заданные значения справедливы в области $T = -30..+50^{\circ}\text{C}$

Параметр	мин.	типичное	макс.	Условие/примечание
Питание при низковольтном типе				
▪ Напряжение питания AC [В]	19,2	24	28,8	
▪ Напряжение питания DC [В]	19,2	24	28,8	
▪ Потребляемый ток [мА] ▪ Потребляемая мощность [мВт]		110 2,6		$U_{пит}=24\text{В AC}$ Непрерывная коммуникация RS485 $I_{вых}=0$ на аналоговом выходе
▪ Потребляемый ток [мА] ▪ Потребляемая мощность [мВт]		120 2,9		$U_{пит}=24\text{В AC}$ Непрерывная коммуникация RS485 $I_{вых}=24$ мА на аналоговом выходе
Питание для типа 100...230В				
▪ Напряжение питания AC [В]	70		265	Снабжение защитой surge согласно EN61000-4-5
▪ Напряжение питания DC [В]	100		265	Питание DC должно быть свободным от переходных процессов индуктивного переключения!
▪ Потребляемый ток [мА] ▪ Потребляемая мощность [мВт]		20 2,2		$U_{пит}=230\text{В AC}$ Непрерывная коммуникация RS485 $I_{вых}=0$ на аналоговом выходе
▪ Потребляемый ток [мА] ▪ Потребляемая мощность [мВт]		22 2,5		$U_{пит}=230\text{В AC}$ Непрерывная коммуникация RS485 $I_{вых}=24$ мА на аналоговом выходе
Вход напряжения				
▪ Напряжение	0		$1,2 \cdot U_N$	См. ещё п. 2.1.1
▪ Перегружаемость			$2 \cdot U_N$	1 мин
▪ Ток нагрузки [мА]		0,5		$U_{ex} = U_N$
▪ Форма кривой		Периодическ. к.		
▪ Частота [Гц]	47,5		52,5	
Вход тока				
▪ Ток	0		$1,2 \cdot I_N$	См. ещё п. 2.1.1
▪ Перегружаемость			$20 \cdot I_N$	
▪ Напряжение на входе 1А [мВ]				
▪ Напряжение на входе 5А [мВ]		15		$I_{ex} = 1\text{А}$, устройство включено
▪ Форма кривой		25		$I_{ex} = 5\text{А}$, устройство включено
▪ Частота [Гц]	47,5		52,5	

Параметр	мин.	типичное	макс.	Условие/примечание
Погрешность измерения (по отношению к номинальному значению)				

Параметр	мин.	типичное	макс.	Условие/примечание
▪ Напряжение [%]			0,1	$0,005...1,2U_N$
▪ Ток [%]			0,1	$0,005..1,2U_N$
▪ Время установления [мсек]			60	
Разделение				
▪ Между выходами и остальными узлами [B_{RMS}]			4000	50 Гц, до 1 мин
▪ Между блоком питания и входами [B_{RMS}]			2500	
Аналоговый выход				
▪ Ток [мА]	0		24	
▪ Сопротивление нагрузки [Ω]			500	
▪ Погрешность [мА]			0,1	Без погрешности измерения
Цифровой выход				
▪ Допустимое напряжение [В]	-5		60	
▪ Выходной ток [мА]			300	
Прочие параметры				
▪ Габариты [мм ³]	53x90x60			
▪ Защищенность	IP20			
▪ Область температуры [°C]	0		50	
▪ Соответствие стандарту	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EN61000-4-2 ▪ EN61000-4-4 ▪ EN61000-4-5 ▪ EN61000-4-6 ▪ IEC255-22-3 ▪ EN60255-5 			

3 Линия коммуникации

3.2. Линия последовательной связи

Устройство обладает асинхронной последовательной линией коммуникации RS485. Параметры коммуникации:

Скорость коммуникации, устанавливаемая в таблице параметров:

1. 9,6 кБод
2. 19,2 кБод
3. 28,8 кБод
4. 38,4 кБод
5. 57,6 кБод
6. 115,2 кБод

8 битов данных

1 стоп бит

Паритет: нет, четный, нечетный

4.2. Протокол

3.2.1. *Выполненные команды*

В качестве протокола коммуникации, стандартом ModBus RTU исполняются команды: считывание регистров Holding (0x03) и запись в регистры Holding (0x10). Устройство работает в режиме slave. Его адрес может быть в интервале 1...249 (Может быть установлен в таблице параметров). Устройством исполняются также телеграммы, направленные по адресу 0x00 (broadcast), но при этом ответа не посылается.

Протокол, применяемый в устройстве, отличается от стандарта в следующих пунктах:

- Нет телеграммы ошибки. В следующих случаях устройство не отвечает:
 7. CRC получает телеграмму с ошибкой
 8. Получается телеграмма, содержащая неизвестный код команды
 9. В случае записи в регистр, длина телеграммы не соответствует графе „число регистров”.
 10. Если дается ссылка на несуществующий регистр:
 1. В случае считывания регистра получается ответ 0xFFFF
 2. В случае записи в регистр ничего не происходит.

В случае команды 0x10 переписываются только регистры записи/считывания, однако телеграммы ошибки нет, если команда записи приходит на регистр, предназначенный только для считывания.

Если в полученной телеграмме сумма начального адреса регистра и номера регистра превышает 65536, то действие записи или считывания продолжается с регистра адреса 0, после обработки регистра 65535. (например, начиная с адреса 65534 в случае считывания 4 регистров ответная телеграмма будет содержать значения регистров в порядке 65534, 65535, 0, 1).

После любой коммуникации на линии RS485 необходимо обеспечить время ожидания 10мс до прихода следующей телеграммы.

Обработка полученной телеграммы, независимо от установленной скорости коммуникации, начинается после паузы передачи 5 мс после прихода последнего символа.

Длина буфера передачи/приёма 37 байтов, поэтому более длинные телеграммы не принимаются устройством. Поэтому число регистров, считываемых в одной

телеграмме, может быть не более 16, а число записываемых регистров должно быть не более 14.

3.2.2. Структура телеграмм

Телеграммы имеют следующую структуру:

4.2.1. Считывание регистров Holding

От начального адреса A , заданного параметром, направляется актуальное значение N штук регистров *holding*.

Запрос:

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

Ответ:

0	1	2	3... 2·N+2	2·N+3	2·N+4
Адрес устройства	Код команды: 0x03	Число параметрических байтов (=2·N)	Актуальное содержание запрошенных регистров в порядке MSB,LSB	CRC MSB	CRC LCB

4.2.2. Запись в регистры Holding

От начального адреса A , заданного параметром, переписывается значение N штук регистров *holding* (меняется лишь содержание регистров, служащих как для записи, так и для считывания).

Запрос:

0	1	2	3	4	5	6
Адрес устройства	Код команды: 0x10	Адрес первого регистра, MSB(A)	Адрес первого регистра, LSB(A)	Число регистров, MSB(N)	Число регистров, LSB(N)	Число параметрических байтов (=2·N)
7... 2·N+6		2·N+7	2·N+8			
Новое содержание регистров в порядке MSB,LSB		CRC MSB	CRC LCB			

Ответ:

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

4.2.3. Расчет CRC (код примера языка C)

```
/*=====*/
const unsigned char CRChi[256] =
{
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40
};

/*-----*/
const unsigned char CRClo[256] =
{
    0x00,0xC0,0xC1,0x01,0xC3,0x03,0x02,0xC2,0xC6,0x06,0x07,0xC7,0x05,0xC5,0xC4,0x04,
    0xC8,0x0C,0x0D,0xCD,0x0F,0xCF,0xCE,0x0E,0x0A,0xCA,0xCB,0x0B,0xC9,0x09,0x08,0xC8,
    0xD8,0x18,0x19,0xD9,0x1B,0xDB,0xDA,0x1A,0x1E,0xDE,0xDF,0x1F,0xDD,0x1D,0x1C,0xDC,
    0x14,0xD4,0xD5,0x15,0xD7,0x17,0x16,0xD6,0xD2,0x12,0x13,0xD3,0x11,0xD1,0xD0,0x10,
    0xF0,0x30,0x31,0xF1,0x33,0xF3,0xF2,0x32,0x36,0xF6,0xF7,0x37,0xF5,0x35,0x34,0xF4,
    0x3C,0xFC,0xFD,0x3D,0xFF,0x3F,0x3E,0xFE,0xFA,0x3A,0x3B,0xFB,0x39,0xF9,0xF8,0x38,
    0x28,0xE8,0xE9,0x29,0xEB,0x2B,0x2A,0xEA,0xEE,0x2E,0x2F,0xEF,0x2D,0xED,0xEC,0x2C,
    0xE4,0x24,0x25,0xE5,0x27,0xE7,0xE6,0x26,0x22,0xE2,0xE3,0x23,0xE1,0x21,0x20,0xE0,
    0xA0,0x60,0x61,0xA1,0x63,0xA3,0xA2,0x62,0x66,0xA6,0xA7,0x67,0xA5,0x65,0x64,0xA4,
    0x6C,0xAC,0xAD,0x6D,0xAF,0x6F,0x6E,0xAE,0xAA,0x6A,0x6B,0xAB,0x69,0xA9,0xA8,0x68,
    0x78,0xB8,0xB9,0x79,0xBB,0x7B,0x7A,0xBA,0xBE,0x7E,0x7F,0xBF,0x7D,0xBD,0xBC,0x7C,
    0xB4,0x74,0x75,0xB5,0x77,0xB7,0xB6,0x76,0x72,0xB2,0xB3,0x73,0xB1,0x71,0x70,0xB0,
    0x50,0x90,0x91,0x51,0x93,0x53,0x52,0x92,0x96,0x56,0x57,0x97,0x55,0x95,0x94,0x54,
    0x9C,0x5C,0x5D,0x9D,0x5F,0x9F,0x9E,0x5E,0x5A,0x9A,0x9B,0x5B,0x99,0x59,0x58,0x98,
    0x88,0x48,0x49,0x89,0x4B,0x8B,0x8A,0x4A,0x4E,0x8E,0x8F,0x4F,0x8D,0x4D,0x4C,0x8C,
    0x44,0x84,0x85,0x45,0x87,0x47,0x46,0x86,0x82,0x42,0x43,0x83,0x41,0x81,0x80,0x40
};

/*=====*/
void CRC16(void *Buff, int Len, unsigned char *HI, unsigned char *LO, int Init)
{
    int i;
    unsigned char index;

    if ( Init )
    {
        *HI = 0xFF;
        *LO = 0xFF;
    };
    for ( i = 0; i < Len; i++ )
    {
        index = *HI ^ ((unsigned char *)Buff)[i];
        *HI = *LO ^ CRChi[index];
        *LO = CRClo[index];
    };
};

/*=====*/
```

4 ModBus, регистры holding

В этой главе можно найти список регистров ModBus устройства. Обзорная информация о работе отдельных узлов устройства дается в главе 2. Полная же информация дается совместно в данной главе и главе 2.

Обозначение (R) в первом столбце таблиц, рядом с адресом регистра указывает на то, что регистр является только считываемым, значение же обозначения (RW) – регистр служит как для считывания, так и для записи.

Тип данных, считываемых из регистра: 16-битное целое число без знака, за исключением случая, когда указан другой тип. 32-битные типы, занимающие по два регистра, (32-битный *integer* и 32-битный *IEEE float*) всегда должны быть истолкованы так, что в регистре с более низким адресом содержится нижнее 16-битное слово (*Least Significant Word*).

4.1 Электронная таблица данных

Адрес/тип	Название	Содержание	
0x0000 (R)	Тип хардвера	▪ Биты 15...8: Тип устройства	▪ 0x0B: TITxxP 2
		▪ Биты 7..4: Не использовано	
		▪ Биты 3-0: Тип входа:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x3: 100В/√3 ▪ 0x4: 100В ▪ 0x5: 200В/√3 ▪ 0x6: 400В/√3 ▪ 0x7: 400В ▪ 0x8: 200В ▪ 0xA: 1A/5A
0x0001 (R)	Версия хардвера	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Байт MS: Главная версия (BCD) ▪ Байт LS: Дополнительная версия (BCD) 	
0x0002 (R)	Не используется		
0x0003 (R)	Версия софтвера	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Байт MS: Главная версия (BCD) ▪ Байт LS: Дополнительная версия (BCD) 	
0x0004 (R)	Не использовано		
0x0005... 0x000F (R)	Заводской номер	22 байта, строка 0-terminal. Байт LS регистров содержит символ с меньшим порядковым номером.	

4.2 Измеренное значение RMS

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0010 (R)	Номинальное значение измерения: <i>NOM</i>	Значение, зависимое от типа устройства икоэффициента, установленного в таблице параметров
0x0011 (R)		
0x0012 (R)	Измеренное значение: <i>RMS</i>	32-битное значение IEEE float Соответственно: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Для измерителя тока TIT [A] ▪ Для измерителя напряжения TIT [В]
0x0013 (R)		

4.3 Регистры состояния устройства и регистр ошибок

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0020 (R)	Регистры состояния устройства	

0x0021 (R)		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Бит 0: Превышение верхнего предела входного сигнала ▪ Биты 1...31: bit: Не использовано
0x0022 (R)	Регистр ошибок	<p>Бит0: При считывании данных устройства произошла ошибка CRC</p> <p>Бит 1: При считывании таблицы данных произошла ошибка CRC</p> <p>Бит 2: Произошло срабатывание WatchDog.</p> <p>Бит 3: Софтвр не мог выполнить часть задач управления в заданный промежуток времени из-за перегрузки процессора.</p> <p>Бит 4: Софтвр не мог обработать часть выборок, полученных от А/Ц преобразователя из-за перегрузки процессора: произошла потеря данных.</p> <p>Бит 5: Ошибка памяти EEPROM.</p> <p>Бит 6: Ошибка DA</p> <p>Бит 7: Ошибка трассы I2C</p> <p>Бит 8: Ошибка коэффициента передачи (ошибочный параметр, см. п. 4.6.2.2)</p> <p>Бит 9: Ошибка переключателя пределов (ошибочный параметр, см. п. 4.6.2.3)</p> <p>Бит 10: Ошибка аналоговой выходной характеристики (ошибочный параметр, см. п. 4.6.2.5)</p> <p>Бит 11: Ошибка значения калибровки (ошибочный параметр, см.: п. 4.6.2.7)</p> <p>Биты 12...31: Не использованы</p>
0x0023 (R)		

4.4 Регистры управления выходом

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0030 (RW)	Значение аналогового выхода [mA]	32-битное значение IEEE float Значение тока на аналоговом выходе Если источником сигнала аналогового выхода является не C_NONE (см.: 4.6.2.6), этот регистр непрерывно обновляется блоком управления аналоговым выходом, поэтому запись не работает. Если источник сигнала C_NONE, то управление аналоговым выходом возможно путём записи в этот регистр.
0x0031 (RW)		
0x0032 (RW)	Состояние выхода с открытым коллектором	Состояние выхода: <ul style="list-style-type: none"> • 0x0000: Выход закрыт • 0x0001: Выход открыт Если источником сигнала аналогового выхода является не C_NONE (см.: 4.6.2.4), этот регистр непрерывно обновляется блоком управления аналоговым выходом, поэтому запись не работает. Если источник сигнала C_NONE, то управление аналоговым выходом возможно путём записи в этот регистр.

4.5 Регистр Reset

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0038 (RW)	Регистр Reset	Возможные команды: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0001: Повторный пуск устройства

4.6 Таблица параметров

При пуске устройства таблица параметров из памяти EEPROM записывается в RAM. При записи производится контроль с помощью CRC. В случае ошибки все параметры приводятся к первоначальному значению. Через регистры данных таблицы параметров доступны значения, записанные в RAM. Сохранение данных в EEPROM производится соответствующей командой, записанной в регистр команд таблицы параметров. Изменение немедленно актуализуется после записи в регистр данных. Исключением являются параметры коммуникации, изменяемые лишь при повторном пуске устройства.

4.6.1 Регистр команд таблицы параметров

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0060 (RW)	Регистр команд таблицы параметров	Его значение равно 0x0000 или 0xFFFF , если таблица параметров готова к приёму команды. После исполнения команд, указанных ниже, значение регистра будет 0x0000 . При недействительном командном коде его значение будет 0xFFFF , что означает отклонение исполнения команды. Коды команд: <ul style="list-style-type: none">▪ 0x0001: Сохранение параметров в памяти EEPROM

4.6.2 Регистры данных таблицы параметров

4.6.2.1 Установки коммуникации

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0070 (RW)	Адрес ModBus и скорость коммуникации	▪ Байт MS : Baudrate <ul style="list-style-type: none">▪ 0x01: 9 600▪ 0x02: 19 200▪ 0x03: 28 800▪ 0x04: 38 400▪ 0x06: 57 600▪ 0x0C: 115 200 По умолчанию: 38 400
		▪ Байт LS : Адрес ModBus <ul style="list-style-type: none">▪ 1...249 По умолчанию: 16

Для актуализации параметров коммуникации нужно записать таблицу параметров в память EEPROM с целью сохранения, затем производить повторный пуск устройства.

Если актуальные установки коммуникации устройства неизвестны, то есть коммуникация с ним невозможна, то после удаления крышки устройства необходимо замкнуть накоротко клеммы J2 на плате процессора, затем производить повторный пуск устройства. Тогда устройство пускается заново с первоначальными параметрами коммуникации (в таблице параметров по-прежнему содержатся актуальные установки).

4.6.2.2 Установки измерения

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0071 (RW) 0x0072 (RW)	Коэффициент трансформации измерительного трансформатора	32 битное значение IEEE float Если его значение – неистолкуемое действительное число (NaN, inf... и т.п.) или не попадает в область $10^{-3}...10^9$, то регистр ошибки выдаёт сигнал ошибки, и принимается значение 1.0. Соответственно: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Для ТИТ измерителя тока [A/A] ▪ Для ТИТ измерителя напряжения [V/V]
0x0073 (RW)	Выбор режима измерения тока	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: Режим 1А ▪ 0x0001: Режим 5А

4.6.2.3 Установки переключателя пределов

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0074 (RW)	Режим	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Бит15: Инвертирование <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0: Не инвертировано ▪ 0x1: инвертировано ▪ Биты 14...8: Не использовано ▪ Биты 7...0: Источник сигнала <ul style="list-style-type: none"> ▪ C_NONE: выключено ▪ C_MS_RMS: значение RMS (константы см.: п. 4.6.3)
0x0075(RW) 0x0076 (RW)	Предел L [%]	32 битные значения float (с плавающей запятой) В процентах номинального значения (с учётом передаточного числа измерительного трансформатора) Следующие условия должны быть выполнены, иначе регистр ошибок выдаёт сигнал ошибки (п.4.3) и переключатель пределов не работает. Оба являются истолкуемыми действительными числами (ни одно из них не NaN, inf... и т.п.) <ul style="list-style-type: none"> ▪ $0 \leq L \leq 200$ ▪ $0 \leq H \leq 10$
	0x0077 (RW)	
0x0078 (RW)		

4.6.2.4 Установки дискретного выхода

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0079 (RW)	Установки дискретного выхода	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Биты 15...4: Не использовано Источник сигнала ▪ Биты 3...0: Источник сигнала <ul style="list-style-type: none"> ▪ C_NONE: Нет источника, выход управляется через регистр команд (п.4.4) ▪ C_DS_LIMITER: Переключатель пределов ▪ (константы см.: п. 4.6.3)

4.6.2.5 Установка характеристики аналоговых выходов

Адрес/тип	Название	Содержание
0x007A(RW)	Режим	<ul style="list-style-type: none"> Биты 15...12: Источник сигнала Биты 11...8: Диапазон выходного сигнала Биты 7...4: Диапазон измеряемого значения
		<ul style="list-style-type: none"> С_NONE: выключено С_MS_RMS: значение RMS (константы см.: п. 4.6.3) 0x0: 0...5мА 0x1: 0...20мА 0x2: 4...20мА 0xF: Область, заданная в регистрах 0x007F...0x0086
		<ul style="list-style-type: none"> 0x0: 0...RMSном. 0x1: 0...1,2·RMSном 0xF: Значение, заданное в регистрах 0x007B...0x007E
		■ Не использовано
0x007B (RW)	Нижний предел измеряемого значения RMS_{LO} [%]	32-битные значения float (с плавающей запятой) Номинальное значение (с коэффициента трансформации трансформатора) заданное в процентах. Их значение учитывается только, если значение битов 4...7 регистра режима равно 0xF.. Следующие условия должны быть выполнены, иначе регистр ошибок выдаёт сигнал ошибки (п.4.3) и аналоговая характеристика не работает.
0x007C (RW)		
0x007D (RW)	Верхний предел измеренного значения RMS_{HI} [%]	Оба являются истолкуемыми действительными числами (ни одно из них не NaN, inf... и т.п..) <ul style="list-style-type: none"> $0 \leq RMS_{LO} < 200$ $0 < RMS_{HI} < 200$ $RMS_{LO} + 0.1 \leq RMS_{HI}$
0x007E (RW)		
0x007F (RW)	Выходной ток на нижнем пределе заданного диапазона I_{LO} [мА]	32-битные значения float (с плавающей запятой). Их значение учитывается, только если значение битов 8...11 регистра режима равно 0xF. Следующие условия должны быть выполнены, иначе регистр ошибок выдаёт сигнал ошибки и аналоговая характеристика не работает.
0x0080 (RW)		
0x0081 (RW)	Выходной ток на верхнем пределе заданного диапазона I_{HI} [мА]	Каждый из них является истолкуемым действительным числом (ни одно из них не NaN, inf... и т.п..) <ul style="list-style-type: none"> $0\text{мА} \leq I_{LO} \leq I_{HI} \leq 24\text{мА}$ $I_{LO} + 1\text{мА} \leq I_{HI}$ $0\text{мА} \leq S_{LO} \leq S_{HI} \leq 24\text{мА}$
0x0082 (RW)		
0x0083 (RW)	Минимальный выходной ток S_{LO} [мА]	$S_{LO} + 1\text{мА} \leq S_{HI}$
0x0084 (RW)		
0x0085 (RW)	Максимальный выходной ток S_{HI} [мА]	
0x0086 (RW)		

Выходной ток из значений, приведённых выше (RMS: измеренный сигнал в процентах от номинального значения):

$$I_{LIN} = \frac{RMS - RMS_{LO}}{RMS_{HI} - RMS_{LO}} \cdot (I_{HI} - I_{LO}) + I_{LO}$$

$$I_{вых} = \begin{cases} S_{LO} & \text{если } I_{LIN} < S_{LO} \\ S_{HI} & \text{если } S_{HI} < I_{LIN} \\ I_{LIN} & \text{в остальном} \end{cases} \quad (\text{выражение 1})$$

4.6.2.6 Установки аналогового выхода

Адрес/тип	Название	Содержание	
0x0087 (RW)	Установки аналогового выхода	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Биты 15...4: Не используются ▪ Биты 3..0: Источник сигнала 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ C_NONE: Нет источника, выход управляется через регистр команд (п.4.4) ▪ C_AS_ANA_CHAR: Аналоговая характеристика (константы см. в п. 4.6.3)

4.6.2.7 Значения калибровки

Адрес/тип	Название	Содержание
0x0088 (R)	Измерение напряжения и вход 1A	32-битные значения float (с плавающей запятой).
0x0089 (R)	коэффициент калибровки	
0x008A (R)	вход 5A коэффициент калибровки	
0x008B (R)		
0x008C (R)	Аналоговый выход коэффициент	
0x008D (R)	C _{A1}	
0x008E (R)	Аналоговый выход коэффициент	
0x008F (R)	C _{A2}	
0x0090 (R)	Аналоговый выход коэффициент	
0x0091 (R)	C _{A3}	
0x0092 (R)	Аналоговый выход коэффициент	
0x0093 (R)	C _{A4}	
0x0094 (R)	Аналоговый выход коэффициент	
0x0095 (R)	C _{A5}	
0x0096 (R)	Аналоговый выход коэффициент	
0x0097 (R)	C _{A6}	

4.6.3. Постоянные таблицы параметров

Постоянный	Значение	Примечания
Общепользуемые постоянные		
▪ C_NONE	0x0000	
Измерения		
▪ C_MS_RMS	0x0001	
Источники аналоговых сигналов		
▪ C_AS_ANA_CH AR	0x0001	
Источники дискретные сигналов		
▪ C_DS_LIMITER	0x0001	

5 Приложения

5.1 Выборка

Предотвращение перекрытия проще всего может быть решено с помощью А/Ц преобразователя, работающего по принципу Σ/Δ (что следует из принципа работы). Однако в устройстве используется А/Ц преобразователь с постепенным приближением, интегрированный в DSP, т.к. это гораздо дешевле.

При расчете RMS, для достижения необходимой точности, перекрытые компоненты должны быть подавлены величиной не менее 50dB. Поскольку $F_s/2=1600$ Гц, частота самого большого компонента равна 1550 Гц. На эту частоту в ходе выборки накладывается компонент 1650 Гц. Это значит, что требовалось бы аналоговый фильтр, имеющий на частоте 1550 Гц передачу минимально почти 1, а на частоте 1650 Гц не более -50dB. Очевидно, что изготовить аналоговый фильтр с такой крутизной очень трудно.

Поэтому при помощи А/Ц преобразователя устройства производится выборка входом частотой $F_{SAD}=12800$ Гц. Перекрытие частот в этом случае происходит согласно рис. 5.1.

Таким образом, наименьшая частота, перекрываемая в полосу 0...1600Hz, равна $F_{SAD}-1600$ Гц=11200 Гц.

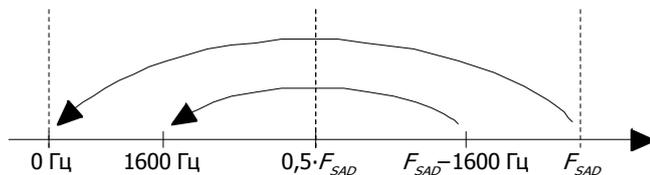


Рис. 5.1. Наложение частот

Таким образом, нужен фильтр, пропускающий область 0...1600 Гц с небольшой погрешностью, а над 11200 Гц обеспечивающий подавление, превышающее 50dB. Поэтому в устройстве установлен фильтр Butterworth четвертой степени, имеющий точку перелома при частоте 2500 Гц. Передача на частоте 1600 Гц: 0.99, а на частоте 11200 Гц: -52dB.

Таким образом, передаваемая из А/Ц преобразователя серия импульсов, получаемая в результате выборки частотой $F_{SAD}=12800$ Гц, в области 0...1600 Гц может считаться без перекрытия. Софтвером же – с помощью дискретного фильтра 64-ой степени - отфильтруются компоненты выше 1600 Гц (фильтр обеспечивает передачу $1 \square 0,002$ в области 0...1300 Гц и подавление 54dB выше 1900 Гц). Затем, сохраняя каждый четвертый элемент выборки, получим для измерения серию импульсов частотой выборки $F_s=3200$ Гц (децимализация). Таким образом, этот сигнал содержит информацию в области 0...1600 Гц (перая 31 гармоника сигнала сети 50 Гц).