

Описание протокола обмена и алгоритма работы мегаомметра ММП-1

Протокол обмена с ММП1 – Modbus RTU

Общие сведения

В составе прибора имеется модуль интерфейса, с помощью которого прибор может обмениваться данными с ЭВМ по интерфейсу RS-485. Линия связи прибора с ЭВМ трехпроводная (сигналы +RxD, -TxD, GND). Связь прибора с ЭВМ осуществляется в формате протокола Modbus RTU, разработанного фирмой Schneider Automation для поддержки своих контроллеров серии Modicon, и ставшим фактическим мировым стандартом.

В данном документе приводятся сведения, содержащиеся в описании протокола Modbus и необходимые для изучения принципов построения обмена прибора и ЭВМ. Связь прибора с ЭВМ осуществляется по технологии “ведущий-ведомый”, при этом ЭВМ является ведущим устройством, а прибор – ведомым. Ведущий всегда начинает процедуру передачи (запрос). Прибор, получив запрос, анализирует его и формирует ответ или выполняет действия, указанные в запросе.

Одновременно с одним ведущим могут быть связаны несколько приборов, каждый из которых имеет свой собственный адрес ведомого. При использовании интерфейса RS-485 связь приборов с ЭВМ осуществляется по общей линии связи. Адрес ведомого устанавливается в регистре адреса прибора. Ведущий может адресовать индивидуальный прибор, посылая в запросе адрес необходимого прибора, или проводить широковещательный запрос, одновременно адресуя все приборы. Ведомые возвращают ответ для запросов, которые адресуют их индивидуально. При широковещательном запросе ни один из ведомых не отвечает ведущему.

При работе по интерфейсу RS-485 с ведущим может быть связано не более 32 приборов (без наличия повторителей в сети, образованной приборами и ЭВМ), что обусловлено нагрузочной способностью выходных интерфейсных схем прибора.

Протокол обмена MODBUS.

Сообщение протокола Modbus – это информация, передаваемая от ведущего ведомому (запрос) или принимаемая ведущим от ведомого (ответ). Структура запроса ведущего состоит из следующих полей:

- адрес ведомого (один байт, для рассматриваемого прибора возможные адреса лежат в диапазоне от 0 до 240, причем нулевое значение адреса назначено для широковещательного запроса и не может быть использовано в качестве индивидуального адреса ведомого);
- код функции (один байт) – задает для адресуемого ведомого вид действий, которые должен выполнить ведомый;
- после кода функции в запросе может следовать поле данных (несколько байт), содержащее дополнительную информацию, необходимую ведомому для выполнения заданной в запросе функции;
- последним в запросе следует двухбайтное поле кода проверки ошибок, позволяющее отследить ведомому целостность (отсутствие ошибок) принятого запроса.

Структура ответа ведомого состоит из следующих полей:

- адрес ведомого, повторяющий адрес, выданный в запросе (один байт);
- код функции (один байт) – при нормальном ответе ведомого представляет собой перетрансляцию кода функции, принятого ведомым в запросе. В случае возникновения ошибочной ситуации код функции модифицируется для индикации факта возникновения ошибки;
- после кода функции в ответе выдается поле данных (несколько байт), содержащее при нормальном ответе информацию, запрошенную ведущим соответствующей функцией. В случае возникновения ошибочной ситуации в поле данных передается код ошибки.
- последним в ответе следует двухбайтное поле кода проверки ошибок, позволяющее отследить ведущему целостность принятого ответа.

Описание режима RTU

При использовании режима RTU каждый байт сообщения содержит две четырехбитные шестнадцатеричные цифры. Каждое сообщение должно передаваться в виде непрерывного потока. Режим обмена информацией полудуплексный асинхронный.

Формат символа: – 1 старт-бит, 8 информационных бит, 2 стоп-бита. (Этот режим используется в приборе). Информационные биты передаются начиная с младшего.

Начальная скорость обмена – 9600 бод (При изготовлении). В дальнейшем можно изменить скорость на одну из следующих: 2400, 4800, 9600, 14400, 38400, 57600, 115200, выбранная в последующем скорость будет сохранена и в дальнейшем прибор будет работать на выбранной скорости обмена.

Начальный адрес прибора – 0x01, в дальнейшем адрес можно изменить на адрес из диапазона 1-240. При этом адрес будет сохранен и в дальнейшем прибор будет отвечать только на выбранный адрес.

По адресу 0 можно послать посылку установки адреса прибора. При этом прибор не ответит, на всех приборах в линии будет установлен задаваемый адрес.

Каждое сообщение, передаваемое в протоколе Modbus, помещается в кадр, который имеет определенные начальную и конечную точки. Это позволяет приборам установить начало сообщения, декодировать адрес ведомого и определить, какой из приборов адресуется (или все приборы при широковещательном запросе), а также знать, когда сообщение завершается. Перед началом сообщения в режиме RTU должна быть пауза длительностью не менее 4Т, где Т – время передачи одного символа. Первый принимаемый после паузы символ является адресом ведомого. Приборы непрерывно отслеживают приемные линии, включая интервалы паузы. Когда будет принято первое поле сообщения (адрес ведомого), каждый прибор проверяет, не является ли данный адрес установленным для прибора. После передачи последнего символа в сообщении опять следует интервал паузы с временем не менее 4Т. По окончании этой паузы может быть начато новое сообщение. Кадр сообщения должен передаваться непрерывным потоком. Если во время передачи кадра между символами возникает пауза длительностью более 2Т, принимающий прибор считает, что сообщение окончено и начинает его обработку. Это приведет к возникновению ошибки контрольной суммы, так как поле кода проверки ошибок, рассчитанное прибором, будет не совпадать с принятым в сообщении. Поле данных в сообщении содержит шестнадцатеричные числа в диапазоне от 0 до 0FFH. Поле данных, посылаемое в запросе ведущего, содержит

дополнительную информацию, которая используется ведомым для того, чтобы выполнить действия, заданные кодом функции. Например, это могут быть адреса регистров, число управляемых функцией регистров и данные записи этих регистров. Если при приеме сообщения не произошло ошибки, поле данных ответа содержит данные, запрошенные ведущим. При возникновении ошибки поле данных содержит код ошибки, по которому ведущий может принять решение о дальнейших действиях. Поле кода проверки ошибок в режиме RTU содержит двухбайтный код проверки ошибок. Этот код является результатом вычисления циклического избыточного кода или CRC-кода (CRC – Cyclical Redundancy Check) для всех байт сообщения. Вначале в сообщении передается младший байт CRC-кода, затем старший (то есть, старший байт CRC-кода является последним байтом сообщения). Для всего сообщения выполняется контроль ошибок на основе CRC-кода. CRC-код является шестнадцатитрибитным двоичным числом, формируемым ведущим и передаваемым в конце сообщения. Приемный прибор самостоятельно рассчитывает CRC-код и сравнивает полученное значение с принятым в сообщении. При несовпадении CRC-кодов фиксируется ошибка, прибор в данном случае не отвечает на запрос.

Расчет CRC-кода производится по следующему алгоритму:

- 1) Вычисление CRC-кода начинается с загрузки во все разряды 16-битного регистра (CRC-регистр) единиц (0FFFFH).
- 2) Выполняется операция “Исключающее ИЛИ” первого байта сообщения (адреса ведомого) с младшим байтом CRC-регистра и результат помещается в младший байт CRC-регистра.
- 3) Сдвиг CRC-регистра на один бит вправо (в сторону младшего бита) - при этом в старший бит регистра вдвигается ноль.
- 4) Проверка выдвинутого из регистра бита: – если данный бит равен 0, повторяем шаг 3 (следующий сдвиг CRC-регистра); – если выдвинутый бит равен 1, производится операция “Исключающее ИЛИ” содержимого CRC-регистра с полиномиальным значением 0A001H (1010000000000001B).
- 5) Повторяем шаги 3 и 4 до выполнения восьми сдвигов CRC-регистра. Когда сдвиги будут сделаны, полная обработка первого байта сообщения будет завершена.
- 6) Повторяем шаги 2...5 для следующего байта сообщения. Продолжаем до тех пор, пока все байты сообщения не будут обработаны. Окончательное содержание CRC-регистра является CRC-кодом.
- 7) В конце сообщения сначала передается младший байт CRC-кода, затем старший.

Условие тайм-аута Как было отмечено выше, начало сообщения определяется по паузе длительностью не менее 4Т, конец сообщения детектируется при наличии паузы между символами длительностью более 2Т. Если ведомый обнаруживает паузу между символами более 2Т, он начинает обработку сообщения. При успешном завершении обработки сообщения и выполнении предписанных кодом функции действий ведомый выдает ведущему ответ, но не ранее, чем через промежуток времени 2Т. После выдачи сообщения (запроса) ведущий должен ожидать ответа. Выдача ответа ведомым начинается не ранее, чем через промежуток времени, равный 4Т (2Т – на обнаружение ведомым конца сообщения и начало его обработки и 2Т – минимальное время выполнения ведомым обработки сообщения). Кроме того, ведомый должен начать выдачу ответа

через интервал времени длительностью не более $8T$. В настройках прибора можно задать увеличенный тайм-аут, значение в миллисекундах.

Условие тайм-аута фиксируется ведущим в следующих ситуациях:

- установлены различные значения скоростей передачи данных в ведомом и ведущем;
- установлены различные значения контроля паритета в ведомом и ведущем;
- ведущий выдает сообщение с адресом несуществующего ведомого;
- ведомый обнаружил несовпадение принятого и рассчитанного CRC-кодов;
- ведомый не начал выдачу ответа спустя время $8T$.

При работе по интерфейсу RS-485 ведомый будет переключать свои выходные интерфейсные схемы на передачу только при успешной обработке принятого сообщения и готовности выдать ответ, но не ранее, чем спустя время $4T$ после приема последнего байта сообщения.

Поддерживаемые прибором функции протокола Modbus

Список поддерживаемых прибором функций протокола Modbus представлен в таблице 1 (коды функций представлены в виде десятичных чисел). Далее в разделе подробно рассматриваются структуры запросов, ответов и действия, выполняемые прибором для каждой функции.

Таблица 1

Код функции	Название функции
03	Чтение регистров настройки
04	Чтение регистров данных
10	Запись регистров настройки

Функция 03 – чтение регистров настройки

Данная функция позволяет считать содержимое регистров настройки (а, следовательно, и собственно параметров настройки) прибора. Широковещательный запрос не поддерживается.

Структура запроса

Запрос определяет начальный адрес регистра настройки и число регистров, содержимое которых будет считано. Регистры настройки адресуются с нулевого адреса.

Пример запроса для ведомого с адресом 18:

Имя поля	Пример (HEX)
Адрес ведомого	12
Код функции	03
Старший байт адреса начального регистра	00
Младший байт адреса начального регистра	03
Старший байт количества читаемых регистров	00
Младший байт количества читаемых регистров	03
Младший байт CRC-кода	F7
Старший байт CRC-кода	68

В приведенном примере запрашивается выдача содержимого трех регистров настройки, начиная с адреса 3. Интерпретация содержимого регистров настройки прибора подробно рассматривается в следующем разделе.

Максимальное число читаемых данной функцией регистров настройки не должно превышать 64, иначе прибор будет генерировать ответ ошибочной ситуации.

Структура ответа

Содержимое каждого регистра настройки в ответе выдается в виде двух байт. Вначале выдается содержимое старшего байта регистра, затем – содержимое младшего байта.

Пример ответа для ведомого с адресом 18:

Имя поля	Пример (HEX)
Адрес ведомого	12
Код функции	03
Счетчик байт данных	06
Старший байт данных регистра с адресом 3	00

Младший байт данных регистра с адресом 3	01
Старший байт данных регистра с адресом 4	40
Младший байт данных регистра с адресом 4	A0
Старший байт данных регистра с адресом 5	00
Младший байт данных регистра с адресом 5	00
Младший байт CRC-кода	D0
Старший байт CRC-кода	67

В данном примере содержимое регистра 3 равно 0001H, регистр 4 содержит значение 40A0H, содержимое регистра настройки 5 равно нулю.

Функция 04 – чтение регистров данных

Данная функция позволяет считать содержимое регистров данных прибора. Широковещательный запрос не поддерживается.

Регистры данных содержат значения измеряемых прибором уровней. Интерпретация содержимого регистров данных подробно рассматривается в следующем разделе.

Структура запроса

Запрос определяет начальный адрес регистра данных и число регистров, содержимое которых будет считано. Регистры данных адресуются с нулевого адреса.

Пример запроса для ведомого с адресом 17:

Имя поля	Пример (HEX)
Адрес ведомого	11
Код функции	04
Старший байт адреса начального регистра	00
Младший байт адреса начального	00

регистра	
Старший байт количества читаемых регистров	00
Младший байт количества читаемых регистров	02
Младший байт CRC-кода	73
Старший байт CRC-кода	5B

В приведенном примере запрашивается выдача содержимого двух регистров данных, начиная с нулевого адреса.

Максимальное число читаемых функцией регистров данных не должно превышать 16 (для восьмиканального уровнемера), иначе прибор будет генерировать ответ ошибочной ситуации.

Структура ответа

Содержимое каждого регистра данных в ответе выдается в виде двух байт. Вначале выдается содержимое старшего байта регистра, затем – содержимое младшего байта.

Пример ответа для ведомого с адресом 17:

Имя поля	Пример (HEX)
Адрес ведомого	11
Код функции	04
Счетчик байт данных	04
Старший байт данных регистра с адресом 0	00
Младший байт данных регистра с адресом 0	00
Старший байт данных регистра с адресом 1	00
Младший байт данных регистра с адресом 1	02
Младший байт CRC-кода	6B
Старший байт CRC-кода	84

В данном примере содержимое регистра данных с нулевым адресом равно нулю, регистр данных с адресом 1 содержит значение 0002H.

Функция 10 – запись регистра настройки параметров

Данная функция позволяет установить в заданное значение табличный параметр настройки прибора.

Табличные параметры настройки располагаются в пространстве регистров настройки (каждый табличный параметр занимает один регистр настройки) и подробно рассматриваются в следующем разделе.

Структура запроса

Запрос определяет адрес регистра настройки, в котором хранится табличный параметр, и его новое значение.

Пример запроса для ведомого с адресом 17:

Имя поля	Пример (HEX)
Адрес ведомого	11
Код функции	10
Старший байт начального адреса регистра настройки	00
Младший байт начального адреса регистра настройки	01
Старший байт количества записываемых регистров	00
Младший байт количества записываемых регистров	01
Количество байт данных	02
Старший байт значения параметра	00
Младший байт значения параметра	01
Младший байт CRC-кода	AB
Старший байт CRC-кода	81

Внимание! Прибор при записи регистров настройки не проверяет значения параметров настройки на корректность - ответственность за правильность значений табличных параметров настройки (нахождение в диапазоне возможных значений) несет программное обеспечение ведущего (ЭВМ).

В данном примере записывается 1 регистр настройки с адресом 01, записываем в него значение 01. Можно одновременно записывать до 64 регистров данных.

Структура ответа

Для предотвращения возникновения условия тайм-аута прибор генерирует ответ ошибочной ситуации с кодом “подтверждение”.

Пример ответа для ведомого с адресом 17:

Имя поля	Пример (HEX)
Адрес ведомого	11
Код функции	10
Старший байт начального адреса регистра настройки	00
Младший байт начального адреса регистра настройки	01
Старший байт количества записываемых регистров	00
Младший байт количества записываемых регистров	01
Младший байт CRC-кода	52
Старший байт CRC-кода	99

Результат выполнения процедуры записи регистра настройки табличного параметра отражается прибором в регистре результата операции, входящего в пространство регистров данных и подробно описываемого ниже.

Ответ при ошибочной ситуации

За исключением широковежательного запроса, когда ведущий посылает ведомым запрос, он ожидает от ведомого нормального ответа. После получения ведомым запроса может произойти одно из четырех следующих событий:

- если ведомый принял запрос без ошибок и может его обработать, он возвращает нормальный ответ;
- если ведомый не принял запрос из-за ошибок связи, он не возвращает ответ. Программа ведущего будет фиксировать условие тайм-аута;

- если ведомый принял запрос, но обнаружил ошибки связи (CRC-код), он не возвращает ответ. Программа ведущего будет фиксировать условие тайм-аута;
- если ведомый принял запрос без ошибок связи, но не может обработать его (например, запрошен несуществующий в приборе ключ или регистр), ведомый будет возвращать *ответ ошибочной ситуации*, по которому ведущий может понять природу возникновения ошибки.

Два поля в ответе ошибочной ситуации имеют отличия от полей нормального ответа:

- поле кода функции;
- поле данных.

В случае нормального ответа ведомый повторяет код функции, принятой в запросе. Все коды функций имеют нулевой старший значащий бит (их значения меньше 80H). При ответе ошибочной ситуации ведомый устанавливает старший бит кода функции в единицу.

Получив в ответе код функции с установленным в единицу старшим битом, ведущий распознает ответ ошибочной ситуации и может узнать причину возникновения ошибки, анализируя поле данных ответа.

В случае нормального ответа ведомый возвращает в поле данных информацию, затребованную функцией запроса. При ответе ошибочной ситуации в поле данных ведомый возвращает *код ошибки*, определяющий, какие условия привели к возникновению ошибки.

Коды ошибок, выдаваемые прибором, представлены в таблице

Код ошибки	Название	Значение
01	Неверная функция	Код функции, принятый ведомым в запросе, не поддерживается ведомым
02	Неверный адрес данных	Адрес в запросе некорректен для ведомого
03	Неверное значение данных	Значение в поле данных запроса некорректно для ведомого
04	Сбой ведомого	Произошла неразрешимая ошибка в ведомом при попытке обработать запрос
05	Подтверждение	Принятый запрос начал выполняться ведомым, но для его обработки требуется длительное время

Регистры прибора.

Регистры настройки. (Чтение – функция 3h, запись – функция 10h)

Регистры настройки хранят значения параметров настройки прибора. Каждый из табличных параметров настройки хранится в отдельном регистре настройки. Все регистры настройки имеют формат unsigned int.

Регистры настройки ММП-1.

Адрес регистра (HEX)	Описание параметра
01	Напряжение замера. (Диапазон значений: 5-500)
02	Нижний предел отбраковки (Диапазон значений: 1-1000). Единица соответствует 100 кОм, т.е. для пересчета в Ом значение умножаем на 10^5 . В дальнейшем все значения сопротивлений задаем в данном формате.
03	Верхний предел отбраковки (Диапазон значений: 0-65535). Единица соответствует 100 кОм. Если значение 0 или 65535 – не используется
04	Количество замеров на каждый канал (Диапазон значений: 1-20)
05	Параметры канала 1. Битовая маска. Бит 0: 1 – канал вкл, 0 – канал выкл. Остальные биты – пока резерв. Остальные каналы – аналогичным образом.
06	Параметры канала 2.
07	Параметры канала 3.
08	Параметры канала 4.
09	Параметры канала 5.
0A	Параметры канала 6.
0B	Параметры канала 7.
0C	Параметры канала 8.
0D	Параметры канала 9.
0E	Параметры канала 10.
0F	Параметры канала 11.
10	Параметры канала 12.

11	Параметры канала 13.
12	Параметры канала 14.
13	Параметры канала 15.
14	Параметры канала 16.
15	Резерв
16	Резерв
17	Резерв
18	Резерв
19	Резерв
1A	Резерв
1B	Резерв
1C	Резерв
1D	Резерв
1E	Резерв
1F	Резерв
20	<p>Параметр запуска измерений.</p> <p>0 – останов опроса</p> <p>1 – старт опроса однократный. Прибор опрашивает все каналы однократно, после чего останавливается</p> <p>2 – старт опроса многократный, без запоминания. Прибор непрерывно опрашивает все каналы поочередно. В случае пропадания напряжения питания и перезагрузки, опрос прекращается.</p> <p>3 – старт опроса многократный, с запоминанием. Прибор непрерывно опрашивает все каналы поочередно. В случае пропадания напряжения питания и перезагрузки, опрос возобновляется с первого включенного канала.</p>
21	<p>Скорость передачи, бод. (Значение регистра – скорость).</p> <p>При попытке записи другого значения, не из списка, остается предыдущее</p>

	24 - 2400 бод 48 – 4800 бод 96 – 9600 бод 144 – 14400 бод 192 – 19200 бод 384 – 38400 бод 576 – 57600 бод 1152 – 115200 юод
22	Адрес прибора. (Диапазон 1- 240. При попытке записи другого значения, остается предыдущее)

Регистры данных ММП-1.

Адрес регистра (HEX)	Описание параметра
01	Текущий режим работы прибора 0 – останов измерений 1 – измерения запущены, результат не готов 2 – измерение завершено, результат готов 3 – идет измерение, результат предыдущего измерения готов 4 – Ошибка работы прибора. Значение описано в регистре ошибки
02	Статус канала 1. Битовая маска. Бит 0: Состояние канала 0 – выключен

	<p>1 – включен, измерения в норме</p> <p>Бит 1: Нижний предельный уровень.</p> <p>0 – в норме</p> <p>1 – значение ниже нижнего предельного уровня</p> <p>Бит 2: Верхний предельный уровень.</p> <p>0 – в норме</p> <p>1 – значение выше верхнего предельного уровня</p> <p>Бит 3: Авария.</p> <p>0 – в норме, нет аварии</p> <p>1 – канал не работает</p> <p>Остальные биты – резерв. Статус каналов 2-16 задается аналогично</p>
03	Статус канала 2.
04	Статус канала 3.
05	Статус канала 4.
06	Статус канала 5.
07	Статус канала 6.
08	Статус канала 7.
09	Статус канала 8.
0A	Статус канала 9.
0B	Статус канала 10.
0C	Статус канала 11.
0D	Статус канала 12.
0E	Статус канала 13.
0F	Статус канала 14.
10	Статус канала 15.
11	Статус канала 16.
12	Значение по каналу 1. (Диапазон значений: 0-65535). Единица

	соответствует 100 кОм. По остальным каналам значения выдаются аналогично.
13	Значение по каналу 2. (Диапазон значений: 0-65535).
14	Значение по каналу 3. (Диапазон значений: 0-65535).
15	Значение по каналу 4. (Диапазон значений: 0-65535).
16	Значение по каналу 5. (Диапазон значений: 0-65535).
17	Значение по каналу 6. (Диапазон значений: 0-65535).
18	Значение по каналу 7. (Диапазон значений: 0-65535).
19	Значение по каналу 8. (Диапазон значений: 0-65535).
1A	Значение по каналу 9. (Диапазон значений: 0-65535).
1B	Значение по каналу 10. (Диапазон значений: 0-65535).
1C	Значение по каналу 11. (Диапазон значений: 0-65535).
1D	Значение по каналу 12. (Диапазон значений: 0-65535).
1E	Значение по каналу 13. (Диапазон значений: 0-65535).
1F	Значение по каналу 14. (Диапазон значений: 0-65535).
20	Значение по каналу 15. (Диапазон значений: 0-65535).
21	Значение по каналу 16. (Диапазон значений: 0-65535).
22	Счетчик цикла замеров. Изменяется после замера по всем каналам.
23	Регистр ошибки. 0 – нет ошибок 1 – Ошибка выставления напряжения
24	Напряжение питания на выходе трансформатора * 0,01В
25	Питание инвертора * 0,01В
26	Напряжение на выходе источника питания мегаомметра* 0,1В
27	Выходное напряжение (после резистора) * 0,1В 0
28	Номер шунта

29	Значение АЦП
2А	Число замеров

Алгоритм работы прибора.

1. Начальная настройка. Задание требуемого адреса (начальный адрес =1), скорости передачи (Начальная скорость 9600)
2. Установить напряжение мегаомметра, пределы отбраковки, количество замеров и параметры каналов. (С установленным адресом и на заданной скорости).
3. Запустить измерения путем записи значения в регистр «Параметр запуска измерений»
4. Запустить опрос регистра «Текущий режим работы прибора». При появлении в регистре значений 2 или 3, считать регистры 2-21.
5. В случае многократного запуска, читать регистр «Счетчик цикла замеров», чтобы считать измененные показания, после чего считать повторно регистры 2-21.

Светодиоды.

«Питание» - показывает наличие напряжения питания микроконтроллера

«Работа» - горит при проведении измерений

«Авария» - мигает при наличии превышения/пренижения предельного уровня по любому из каналов. Горит при неработоспособности прибора в целом (например, невозможности выставить напряжение).