

ВСТРОЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОНТРОЛЛЕРА УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ БЛОКАМИ
ЭЛЕКТРОЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Описание функциональных характеристик



ООО «Силовая электроника»

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие сведения	2
2. Управление силовыми блоками.....	2
3. Взаимодействие с устройством контроля изоляции	3
4. Взаимодействие с контроллером управления ЭЭС по протоколу MODBUS	3
5. Протокол информационного обмена с силовыми блоками	6
6. Требования к аппаратному обеспечению	8

1. Общие сведения

Встроенное программное обеспечение (ПО) контроллера управления силовыми блоками (КУСБ) предназначено для организации взаимодействия подсистем электрической зарядной станции (ЭЗС) и силовых блоков (СБ). Встроенное программное обеспечение КУСБ обеспечивает:

- организацию совместной работы СБ и управление ими;
- взаимодействие с устройством контроля изоляции;
- информационный обмен с контроллером управления ЭЗС;
- управление электрическими параметрами зарядной сессии в соответствии с протоколом заряда;
- перераспределение мощности зарядки между зарядными портами ЭЗС в зависимости от их использования;
- сервисный интерфейс пользователя для оперативной диагностики и обслуживания.

2. Управление силовыми блоками

Силовые блоки (СБ) в процессе функционирования могут подключаться к одному из двух зарядных портов ЭЗС. Зарядные порты могут находиться в одном из трех режимов:

STANDBY - режим ожидания: контакторы питания СБ разомкнуты;

IDLE – дежурный режим: питание на СБ подано, но сами они выключены;

POWER_SUPPLY - режим зарядной сессии: на выход подается зарядный ток с заданными параметрами напряжения.

Подключение СБ к зарядным портам ЭЗС производится в соответствии с логикой, приведенной в таблице 1. Всего возможны 9 состояний. При управлении СБ предполагается следующая последовательность изменения состояний выходов: "Ожидание"-">"Дежурный"-">"Сессия"-">"Ожидание".

Таблица 1. Подключение силовых блоков к зарядным портам ЭЗС.

№	Состояние зарядных портов		Описание
	А	В	
1	Ожидание STANDBY	Ожидание STANDBY	Все СБ обесточены.
2	Ожидание STANDBY	Дежурный IDLE	Все рабочие СБ выключаются, их выходы подключаются к выходу "В". Заданный ток для выхода "В" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.
3	Ожидание STANDBY	Сессия POWER_SUPPLY	Все рабочие СБ, подключенные к выходу "В" включаются. Заданный ток для выхода "В" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.
4	Дежурный IDLE	Ожидание STANDBY	Все рабочие СБ выключаются, их выходы подключаются к выходу "А". Заданный ток для выхода "А" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.
5	Сессия POWER_SUPPLY	Ожидание STANDBY	Все рабочие СБ, подключенные к выходу "А" включаются. Заданный ток для выхода "А" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.
6	Дежурный IDLE	Дежурный IDLE	Все рабочие СБ выключаются, выходы СБ с нечетными номерами подключаются к выходу "А", выходы СБ с четными номерами подключаются к выходу "В". Заданный ток для выхода "А" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу. Аналогично заданный ток для выхода "В" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.
7	Дежурный IDLE	Сессия POWER_SUPPLY	Все рабочие СБ с нечетными номерами выключаются, их выходы подключены к выходу "А". Все рабочие СБ с четными номерами, подключенные к выходу "В" включаются. Заданный ток для выхода "В" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.

8	Сессия POWER_SUPPLY	Дежурный IDLE	Все рабочие СБ с четными номерами выключаются, их выходы подключены к выходу "В". Все рабочие СБ с нечетными номерами, подключенные к выходу "А" включаются. Заданный ток для выхода "А" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.
9	Сессия POWER_SUPPLY	Сессия POWER_SUPPLY	Все рабочие СБ с нечетными номерами, подключенные к выходу "А" включаются. Заданный ток для выхода "А" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу. Все рабочие СБ с четными номерами, подключенные к выходу "В" включаются. Заданный ток для выхода "В" равномерно распределяется между СБ, подключенными к этому выходу.

3. Взаимодействие с устройством контроля изоляции

На каждом выходе зарядного порта ЭЗС присутствует устройство контроля изоляции (УКИ). Если измеренное УКИ сопротивление изоляции окажется ниже допустимого значения, будет выставлена ошибка "Пробой изоляции зарядного кабеля". Кроме того, выполняется автоматическая проверка работоспособности самого УКИ, и при выявлении неисправности выставляется ошибка "Устройство контроля изоляции зарядного кабеля неисправно". Проверка автоматически происходит после того, как СБ включатся и выходное напряжение будет более 50 В. Если диагностика будет прервана из-за внешнего события (например, выполнится команда выключения БС) попытка тестирования будет произведена при следующем включении. Период проведения проверок установлен 60 минут (не менее).

4. Взаимодействие с контроллером управления ЭЗС по протоколу MODBUS

Взаимодействие с контроллером управления ЭЗС организовано по сети 100BASE-TX Ethernet с использованием протокола MODBUS TCP. Регистры, доступные для чтения и записи (Holding Registers) приведены в таблице 2. Значение Holding Register с адресом 0 определяет режим работы выхода. Содержимое этого регистра раскрыто в таблице 3.

Таблица 2 - Holding Registers протокола ModBus

Адрес	Описание	Min	Max	Формат данных
0	Режим работы	—	—	bin16
1	Ограничение выходного тока (1 А/1 бит)	1 А	250 А	uint16
2	Ограничение выходного напряжения (1 В/1 бит)	50 В	500 В	uint16

При попытке записи недопустимых значений электрических параметров будет установлено максимально/минимально допустимое значение. Максимальное значения тока определяется количеством работоспособных СБ, а напряжение ограничивается минимальной величиной из полученных значений от них. Кроме того, значение запрашиваемого тока ограничивается динамически, в зависимости от количества СБ, подключенных к данному выходу.

Старший бит Holding Register 0 "привязан" к устройству контроля сопротивления изоляции УКИ. При его наличии в включенном состоянии этот бит равен 0. В этом случае, по результатам измерений, может выставляться ошибка "Пробой изоляции зарядного кабеля" (см. таблицу 6). Кроме того, выполняется автоматическая проверка работоспособности устройства, и при выявлении неисправности выставляется ошибка "Устройство контроля изоляции зарядного кабеля неисправно" (см. таблицу 6). Команда включения-выключения УКИ будет выполнена в любом режиме.

После подачи питания или выполнения команды RESET состояние выхода — STANDBY. Загрузка любого значения режима работы не из таблицы 3 также переведет выход в режим ожидания.

Команда RESET приведет к сбросу микроконтроллера управления (аналогично нажатию на кнопку СБРОС!). Соответственно на время перезагрузки будут недоступны оба выхода, а измененные данные не сохранятся.

Таблица 3 - Режимы работы

Значение			Режим/Команда	Описание
N ₁₅	N ₁₄ - N ₈	N ₇ - N ₀		
-	x	AA _h	RESET	Команда сбрасывает микроконтроллер управления
-	x	F _h	STANDBY	Режим ожидания (если ожидание на всех выходах, то контакторы питания инверторов разомкнуты)
-	x	1 _h	IDLE	Дежурный режим: питание на СБ подано, но сами они выключены (ожидание начала зарядной сессии)
-	x	2 _h	POWER_SUPPLY	Режим зарядной сессии: на выход подается напряжение с параметрами по таблице 2.1
0	x	x	OUTPUT_IMD_ON	Команда включения УКИ (нулевой бит N ₁₅ индицирует состояние "вкл.")
1	x	x	OUTPUT_IMD_OFF	Команда выключения УКИ (единичный бит N ₁₅ индицирует состояние "выкл.")

Регистры СБ, доступные только для чтения (Input Registers) приведены в таблице 4. Содержимое регистров с различными флагами раскрыто ниже.

Таблица 4 - Input Registers протокола ModBus

Адрес	Описание	Min	Max	Формат данных
0	Флаги состояния СБ (см. таблицы 5 и 6)	—	—	—
1	Максимальная допустимая мощность, отдаваемая в нагрузку (0,1 кВт/1 бит)	25,0 кВт	150,0 кВт	uint16
2	Максимальное напряжение на выходе (1 В/1 бит)	500 В	—	uint16
3	Максимальный допустимый ток, отдаваемый в нагрузку (1 А/1 бит)	50 А	250 А	uint16
4	Текущее выходное напряжение (на выходных силовых разъемах) (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16
5	Текущий выходной ток (на выходных силовых разъемах) (1 А/1 бит)	- 16 А	+ 1650 А	int16
6, 7	Отпущенная электроэнергия (0,01 кВт·ч/1 бит)	0,00 кВт·час	42949672,95 кВт·час	uint32
8	Сопrotивление изоляции положительного выходного провода (1 кОм/1 бит)	0	20000 кОм	uint16
9	Сопrotивление изоляции отрицательного выходного провода (1 кОм/1 бит)	0	20000 кОм	uint16
10	Выходной ток СБ1 (0,1 А/1 бит)	- 1,0 А	102,3 А	int16
11	Выходное напряжение СБ1 (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16
12	Температура силового трансформатора СБ1 (младший байт) (1 °С/1 бит) Температура радиатора силовых элементов СБ1 (старший байт) (1 °С/1 бит)	-40 °С	+127 °С	int8 (Hi) int8 (Lo)
13	Флаги состояния СБ1: младший байт — предупреждения (см. табл 3.4) старший байт — ошибки (см. таблицу 3.5)	—	—	—
14	Выходной ток СБ2 (0,1 А/1 бит)	- 1,0 А	102,3 А	int16
15	Выходное напряжение СБ2 (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16
16	Температура силового трансформатора СБ2 Температура радиатора силовых элементов	-40 °С	+127 °С	int8 (Hi) int8 (Lo)
17	Флаги состояния СБ2	—	—	—
18	Выходной ток СБ3 (0,1 А/1 бит)	- 1,0 А	102,3 А	int16
19	Выходное напряжение СБ3 (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16

20	Температура силового трансформатора СБ3 Температура радиатора силовых элементов	-40 °С	+127 °С	int8 (Hi) int8 (Lo)
21	Флаги состояния СБ3	—	—	—
22	Выходной ток СБ4 (0,1 А/1 бит)	- 1,0 А	102,3 А	int16
23	Выходное напряжение СБ4 (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16
24	Температура силового трансформатора СБ4 Температура радиатора силовых элементов	-40 °С	+127 °С	int8 (Hi) int8 (Lo)
25	Флаги состояния СБ4	—	—	—
26	Выходной ток СБ5 (0,1 А/1 бит)	- 1,0 А	102,3 А	int16
27	Выходное напряжение СБ5 (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16
28	Температура силового трансформатора СБ5 Температура радиатора силовых элементов	-40 °С	+127 °С	int8 (Hi) int8 (Lo)
29	Флаги состояния СБ5	—	—	—
30	Выходной ток СБ6 (0,1 А/1 бит)	- 1,0 А	102,3 А	int16
31	Выходное напряжение СБ6 (1 В/1 бит)	0 В	1023 В	uint16
32	Температура силового трансформатора СБ6 Температура радиатора силовых элементов	-40 °С	+127 °С	int8 (Hi) int8 (Lo)
33	Флаги состояния СБ6	—	—	—

Регистр 0, определяющий состояние также содержит байт флагов предупреждений (старший) (Таблица 5) и байт флагов ошибок (Таблица 6) системы в целом (младший). Ненулевое значение байта ошибок приведет с смене режима работы на «STANDBY». Следует отметить, что флаг предупреждения «Тест IMD» выставляется перед моментом, когда необходимо проверить работоспособность УКИ. Проверка автоматически произойдет после того, как СБ включатся и выходное напряжение будет более 50 В. После проверки, при неисправности устройства, выставляется флаг «Устройство контроля изоляции зарядного кабеля неисправно». Если диагностика будет прервана из-за внешнего события (например, выполнится команда выключения СБ) попытка тестирования будет произведена при следующем включении, при этом возможно выставление флага «Устройство контроля изоляции зарядного кабеля неисправно». В любом случае по окончании проверки флаг «Тест IMD» снимается. Период проведения проверок установлен 60 минут (не менее). Если устройство контроля изоляции выключено или не отвечает (выставлен флаг «Отсутствует прибор IMD») флаг «Тест IMD» не выставляется, при включении сразу появится флаг «Тест IMD».

Регистры 1, 2 и 3 содержат значения границ электрических параметров, которые возможно достичь на выходе. Эти параметры зависят от электрического режима на другом выходе и могут динамически изменяться.

Регистры 6 и 7 содержат информацию об энергии, потраченной на заряд (нарастающим итогом).

В регистрах с 10 по 27 представлена информация обо всех СБ станции. К какому выходу подключен каждый СБ можно определить по флагам состояния (регистры 12, 15, 18, 21, 24 и 27).

Таблица 5 - Флаги предупреждений

Byte 0 (high)								Описание	Примечание
0	0	x	x	x	x	x	N ₀	Запрошены недопустимые электрические параметры	1 — несовместимая тяговая батарея, 0 — можно заряжать
0	0	x	x	x	x	N ₁	x	Необходима принудительная вентиляция	1 — питание необходимо для работы охлаждения, 0 — охлаждение не требуется
0	0	x	x	x	N ₂	x	x	Отсутствует прибор IMD	1 — оборудование, контролирующее сопротивление изоляции выходного кабеля не отвечает
0	0	1	1	N ₃	0	x	x	Тест IMD	1 — идет проверка устройства контроля изоляции на выходе
0	0	x	N ₄	x	x	x	x	Состояние БС	0 — БС выключены, 1 — БС включены
0	0	N ₅	x	x	x	x	x	Питание БС	0 — питание отсутствует, 1 — номинальное питание подается

Таблица 6 – Флаги ошибок

Byte 1 (low)								Описание	Примечание
0	x	x	x	0	0	x	N ₀	Фатальная ошибка силовых преобразователей	Все БС неработоспособны
0	x	x	x	0	0	N ₁	x	Интерфейс CAN в состоянии "Bus Off"	Нет обмена информацией с СБ по шине CAN
0	x	x	N ₄	0	0	x	x	Пробой изоляции зарядного кабеля	Сопrotивление изоляции выходного кабеля относительно заземления менее 100 Ом/В
0	x	N ₅	x	0	0	x	x	Устройство контроля изоляции зарядного кабеля неисправно	Обнаружена неисправность при проверке УКИ, например во время этапа заряда "CABLE CHECK"
0	N ₆	x	x	0	0	x	x	Ошибка питания БС	Питание невозможно обеспечить

5. Протокол информационного обмена с силовыми блоками

Информационный обмен с силовыми блоками осуществляется по шине CAN 2.0В. Используется стандартный формат кадра сообщения CAN с длиной ID 11 бит. Резервированные идентификаторы: 80_h, 281_h...294_h, 301_h...314_h, 381_h...394_h. Скорость передачи: 500 кбит/сек. Терминаторы устанавливаются в оборудовании на концах кабеля связи (в стандартной конфигурации на плате управляющего контроллера и на плате устройства контроля изоляции). В тексте шина обозначается как CAN0.

Каждый СБ однозначно идентифицируется в сети CAN своим уникальным адресом (NodeID) с диапазоном значений от 1 до 20. Адрес кодируется соединением контактов в кабельной части разъема, подключаемого к СБ.

Для опроса подключенных СБ управляющий контроллер посылает в сеть CAN синхронизирующее сообщение, формат которого представлен на рисунке 1 (служебные поля кадра CAN сообщения опущены). Период посылки — 100 мсек. Если синхронизирующее сообщение не будет принято ни одним узлом, будет установлен флаг ошибки «Интерфейс CAN0 в состоянии "Bus Off"» (см. табл. 6).

ID	RTR	DATA:
80 _h	0	отсутствует

Рисунок 1 – Формат кадра синхронизации

При необходимости выключить все СБ одновременно с минимальной задержкой (например, при возникновении перенапряжения в питающей сети) достаточно отправить сообщение, формат которого представлен на рисунке 2. Это сообщение принимается всеми СБ и выполняется команда на выключение, причем команда включения (INVERTER_ON см. таблицы 3.7 и 3.8) будет блокироваться в течение 500 мсек.

ID	RTR	DATA: 1 байт
80 _h	0	55 _h

Рисунок 2 – Формат сообщения о выключении СБ

После приема первого синхронизирующего сообщения СБ в течение не более 50 мс отправляет сообщение о критических параметрах, представленное на рисунке 3. Далее такие сообщения отправляются асинхронно, при изменении хотя-бы одного из передаваемых параметров.

ID	RTR	DATA 6 байт			
380 _h +NodeID	0	0, 1	2, 3	4	5
		Максимальное выходное напряжение (LSB - 1 В) (ui16)	Максимальный выходной ток (LSB - 0,1 А) (i16)	Температура радиаторов (i8)	Температура трансформатора (i8)

Рисунок 3 – Формат сообщения о критических параметрах СБ

После приема второго синхронизирующего сообщения и далее, в ответ на каждое в течении окна времени 50 мс СБ отправляет сообщение, представленное на рисунке 4. Далее такие сообщения отправляются только синхронно. Содержание байтов 4 и 5 раскрыто в таблицах 7 и 8.

ID	RTR	DATA 6 байт			
		0, 1	2, 3	4	5
280 _h +NodeID	0	Текущее выходное напряжение (LSB - 1 В) (ui16)	Текущий выходной ток (LSB - 0,1 А) (i16)	Флаги предупреждений (ui8)	Флаги ошибок (ui8)

Рисунок 4 – Формат сообщения о текущих параметрах СБ

Четвертый бит флагов предупреждений дублирует состояние триггера включения/выключения силового преобразователя СБ (1 — преобразователь включен). Пятый бит сообщает о состоянии контактора, подключающего силовой преобразователь к питающей сети (1 — подключен). Остальные флаги сигнализируют об изменении параметров и не влияют на состояние включения/выключения силового преобразователя.

Таблица 7 - Флаги предупреждений (восстанавливаемых ошибок)

Byte					Описание			Примечание	
x	x	x	x	N ₃	x	x	x	Силовой преобразователь выключен (= 0 — работает!)	Если = 0 - на выходе СБ присутствует высокое напряжение!
x	x	x	N ₄	x	x	x	x	Входной контактор разомкнут (= 0 — замкнут!)	При срабатывании защиты по диапазону входного напряжения контактор размыкается
x	x	N ₅	x	x	x	x	x	Температура радиатора охлаждения силовых элементов достигла критического значения	Для ограничения запрашиваемого выходного тока будет соответственно понижено значение максимального выходного тока
x	N ₆	x	x	x	x	x	x	Запрашиваемое выходное напряжение не может быть получено	Параметры СБ не получены или не обработаны управляющим контроллером
N ₇	x	x	x	x	x	x	x	Запрашиваемый выходной ток не может быть получен	Параметры СБ не получены или не обработаны управляющим контроллером

Выставление любого флага ошибки приводит к выключению силового преобразователя СБ и после снятия флага выключенное состояние сохраняется. Выставленный старший бит сигнализирует о принудительной перезагрузке микроконтроллера СБ.

В случае выставления любого флага параметр: «Максимальный выходной ток» становится нулевым, причем посылка сообщения о критических параметрах СБ (рисунок 3) возможно придет ранее синхронного сообщения о текущих параметрах СБ (рисунок 4).

Таблица 8 - Флаги ошибок (невосстанавливаемых ошибок)

Byte					Описание			Примечание	
x	x	x	x	x	x	x	N ₀	Напряжение на входе СБ ниже допустимого значения	при восстановлении нормального значения ошибка снимается
x	x	x	x	x	x	N ₁	x	Напряжение на входе СБ выше допустимого значения	при восстановлении нормального значения ошибка снимается
x	x	x	x	x	N ₂	x	x	Ток преобразователя превысил максимальное допустимое значение	Для снятия ошибки требуется перезапуск питания силового преобразователя

x	x	x	x	N ₃	x	x	x	Сработала защита "ненасыщение" в драйверах силовых транзисторов	Для снятия ошибки требуется перезапуск питания силового преобразователя
x	x	x	N ₄	x	x	x	x	Температура радиатора охлаждения силовых элементов превысила допустимое значение	При снижении температуры до допустимого значения ошибка снимается
x	x	N ₅	x	x	x	x	x	Температура выходного трансформатора превысила допустимое значение	При снижении температуры до допустимого значения ошибка снимается
x	N ₆	x	x	x	x	x	x	Ошибка шины CAN	После приема синхросообщения, в течении 2 сек не принят ни один кадр CAN. Для снятия ошибки требуется перезапуск
N ₇	x	x	x	x	x	x	x	Произошел сбой программы управляющего микроконтроллера СБ	Источник информации — WatchDog микроконтроллера СБ, для снятия ошибки требуется перезапуск

Для управления СБ используется сообщение, формат которого приведен на рисунке 5.

	<i>ID</i>	<i>RTR</i>	<i>DATA</i> 5 байт		
	300 _h +NodeID	0	0, 1	2, 3	4
			Заданное выходное напряжение (ui16)	Заданный выходной ток (ui16)	Команда (ui8)

Рисунок 5 – Формат сообщения управления параметрами СБ

Поддерживаемые команды приведены в таблице 9. Все иные значения байта команды игнорируются.

Таблица 5 - Команды включения и выключения СБ

Byte	Команда	Примечание
01 _h	INVERTER_OFF	Выключить силовой преобразователь
02 _h	INVERTER_ON	Включить силовой преобразователь

6. Требования к аппаратному обеспечению

Минимальные требования к аппаратному обеспечению для функционирования встроенного программного обеспечения контроллера управления силовыми блоками:

- процессорное ядро ARM Cortex-M4;
- тактовая частота не менее 120 МГц;
- объем Flash памяти – 1024 КВ;
- объем ОЗУ – 256 КВ.