ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «Ай-Тор»

(ООО «Ай-Тор»)



Программное обеспечение ADC/DAC

Инструкция по сопровождению встроенного программного обеспечения

Екатеринбург, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4
1.1. Назначение документа 4
1.2. Область применения 4
1.3. Цель 4
1.4. Основные термины 4
2. ОПИСАНИЕ ВПО И АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ 5
2.1. Назначение ВПО 5
2.2. Сопровождение 5
2.3. Ключевые функции модуля ADC 6
2.4. Ключевые функции модуля DAC 6
2.5. Аппаратная платформа 7
2.6. Система мониторинга I-TOR C.O.B.A. 8
3. ОБНАРУЖЕНИЕ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ ОШИБОК 9
3.1. Обнаружение ошибок 9
3.2. Категории ошибок 9
3.3. Приоритизация ошибок 10
4. ПРОЦЕДУРА РЕАГИРОВАНИЯ НА ОШИБКИ 11
4.1. Общая схема реагирования 11
4.2. Действия по типам ошибок 11
5. ОБНОВЛЕНИЕ ПРОШИВКИ 13
5.1. Порядок обновления 13
5.2. Процедура обновления через ST-Link 13
5.3. Важные предупреждения 14
6. УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЯМИ И ВЕРСИЯМИ 15
6.1. Версионирование прошивки 15
6.2. Хранение исходных кодов 15
6.3. Документация 15
6.4. Конфигурация модулей 15
6.5. Совершенствование программного обеспечения 16
7. ДЕЙСТВИЯ ПРИ СБОЯХ 17

8. СОСТАВ ПЕРСОНАЛА 20
9. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ 21

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Назначение документа

Настоящая инструкция определяет порядок сопровождения, эксплуатации и устранения неисправностей встроенного программного обеспечения программного комплекса ADC/DAC (далее — ВПО), предназначенного для работы на аппаратных платформах с микроконтроллерами STM32F0xx (модуль ADC) и STM32F3xx (модуль DAC).

1.2. Область применения

Инструкция предназначена для специалистов, ответственных за эксплуатацию, поддержку и обслуживание устройств, содержащих ВПО, а также для команды разработки.

1.3. Цель

Обеспечение стабильной и надёжной работы ВПО, минимизация простоев устройств, оперативное реагирование на сбои и восстановление функциональности программного комплекса.

1.4. Основные термины

- **Устройство:** аппаратная платформа (модуль ADC или модуль DAC), на которой функционирует ВПО.
- **ВПО:** версия встроенного программного обеспечения модуля ADC или модуля DAC.
- **Система мониторинга:** I-TOR C.O.B.A. — система, собирающая телеметрические данные и фиксирующая ошибки работы ВПО.
- **Ошибка (Error):** отклонение в работе ВПО, зарегистрированное системой мониторинга I-TOR C.O.B.A.
- **Инцидент:** событие, вызванное ошибкой, которое приводит к нарушению нормального функционирования устройства.
- **Прошивка:** скомпилированная и готовая к загрузке в микроконтроллер STM32 версия ВПО.
- **ST-Link:** программатор/отладчик, используемый для загрузки прошивки и отладки.

2. ОПИСАНИЕ ВПО И АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ

2.1. Назначение ВПО

Программный комплекс ADC/DAC предназначен для организации оптического канала передачи измерительных данных в системах учёта электроэнергии высоковольтных линий.

- **Модуль ADC** (передатчик): управление внешним 16-битным АЦП для получения высокоточных измерений, цифровая фильтрация, формирование и передача данных по оптическому интерфейсу UART.
- **Модуль DAC** (приёмник): приём данных по оптическому каналу, декодирование, цифро-аналоговое преобразование, анализ параметров сигнала и управление исполнительными реле.

В режиме «Работа» модули функционируют автоматически, обеспечивая непрерывный обмен данными. Получение данных от внешних устройств и изменение конфигурации возможны только в режиме «Конфигурация» / «Настройки», который используется в лабораторных условиях или при сервисном обслуживании.

2.2. Сопровождение

Разработчик обязуется осуществлять техническую поддержку оборудования и ПО, направленную на их корректное функционирование, устранять ошибки, не выявленные во время тестирования на этапе внедрения.

2.3. Ключевые функции модуля ADC

- Инициализация и настройка внешнего 16-битного АЦП через интерфейс SPI.
- Чтение данных преобразования от АЦП.
- Применение цифровой фильтрации (скользящее среднее) к полученным данным.
- Формирование и передача данных по оптическому интерфейсу UART (USART1, 2 Мбит/с).
- Чтение датчика температуры с интерфейсом 1-Wire.
- Сохранение и загрузка настроек во внутреннюю энергонезависимую память (Flash).
- Обслуживание запросов ModBus RTU (USART2, 115200 бит/с) в режиме настройки.

2.4. Ключевые функции модуля DAC

- Инициализация и настройка внешнего 16-битного ЦАП через интерфейс SPI.
- Валидация принятых по оптическому каналу пакетов данных, их расшифровка и цифровая обработка.
- Выдача данных на ЦАП.
- Анализ сигнала: определение амплитуды, частоты и формы.
- Управление реле при наличии корректного сигнала.
- Обмен данными с системой мониторинга I-TOR C.O.B.A.
- Сохранение и загрузка настроек в энергонезависимую память EEPROM (I2C).
- Обслуживание запросов ModBus RTU (USART1, 115200 бит/с) в режиме конфигурации.

2.5. Аппаратная платформа

Модуль ADC:

- Микроконтроллер: семейство STM32F0 (ядро Cortex-M0);
- Внешний 16-битный АЦП: TPC5161;
- Интерфейс связи с АЦП: SPI;
- Периферия:
    - SPI — связь с внешним АЦП;
    - Таймеры (TIM) — управление частотой измерений;
    - UART — передача данных (оптический канал и ModBus);
    - GPIO — управление периферией;
    - Flash — хранение настроек.

Модуль DAC:

- Микроконтроллер: семейство STM32F3 (ядро Cortex-M4);
- Внешний 16-битный ЦАП;
- Интерфейс связи с ЦАП: SPI;
- Периферия:
    - SPI — выходной интерфейс;
    - USART1 — ModBus RTU;
    - USART2 — оптический приёмник;
    - I2C — EEPROM;
    - Таймеры (TIM6, TIM7, TIM17, TIM18);
    - CRC — расчёт контрольных сумм.

2.6. Система мониторинга I-TOR C.O.B.A.

Функционал: I-TOR C.O.B.A. собирает информацию о состоянии ВПО непосредственно с устройств (модулей ADC и DAC).

Собираемые данные:

- коды ошибок (согласно разделу 3.2);
- состояние ключевых модулей ВПО;
- последние полученные значения с АЦП / ЦАП (для внутренней обработки);
- сообщения о событиях.

Уведомления: I-TOR C.O.B.A. отправляет уведомления ответственным специалистам при обнаружении ошибок, превышении пороговых значений параметров или при срабатывании заданных условий.

3. ОБНАРУЖЕНИЕ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ ОШИБОК

3.1. Обнаружение ошибок

Ошибки ВПО фиксируются системой мониторинга I-TOR C.O.B.A. автоматически. I-TOR C.O.B.A. отправляет уведомления ответственным специалистам при обнаружении ошибок или аномальных значений параметров.

3.2. Категории ошибок

Код ошибки	Описание	Модуль	Возможные причины
F_ADC_OVR	Перегрузка АЦП / ошибка входного сигнала	ADC	Превышение входного диапазона АЦП, некорректные настройки, проблема с источником сигнала
F_ADC_TOUT	Таймаут АЦП / потеря связи	ADC	Сбой связи по SPI, АЦП в некорректном состоянии, высокая нагрузка на процессор, аппаратный сбой
F_FLASH_ERR	Отказ внутренней памяти (Flash)	ADC	Проблема при чтении/записи настроек или служебной информации во внутреннюю Flash-память
F_MEM_ERR	Отказ внутренней памяти (EEPROM)	DAC	Проблема при чтении/записи параметров в EEPROM по I2C
F_E_NO_INPUT	Входной сигнал отсутствует	DAC	Обрыв оптического канала, отключение передатчика, некорректная работа модуля ADC
F_RELAY_ERR	Ошибка управления реле	DAC	Некорректный сигнал на входе, ошибка алгоритма управления

Примечание: В документации на модуль DAC коды ошибок F_ADC_OVR, F_ADC_TOUT, F_FLASH_ERR приведены в соответствии с унифицированной

классификацией I-TOR C.O.B.A. При локализации неисправности следует учитывать функциональное назначение модуля (приёмник).

3.3. Приоритизация ошибок

Код ошибки	Приоритет	Уровень	Обоснование
F_ADC_TOUT	PRI-1	Критический	Полная или временная остановка получения данных от АЦП, что критично для функционирования системы измерения
F_FLASH_ERR	PRI-1	Критический	Отказ в сохранении/загрузке настроек приводит к некорректной работе устройства после перезагрузки
F_MEM_ERR	PRI-1	Критический	Отказ EEPROM приводит к невозможности сохранить/загрузить конфигурацию модуля DAC
F_ADC_OVR	PRI-2	Высокий	Может указывать на проблему с входным сигналом или настройками, влияющими на точность измерений
F_E_NO_INPUT	PRI-2	Высокий	Указывает на разрыв оптического канала или отказ передатчика, требует оперативного вмешательства
F_RELAY_ERR	PRI-3	Средний	Ошибка управления реле, требует диагностики, но не приводит к немедленной потере функциональности

4. ПРОЦЕДУРА РЕАГИРОВАНИЯ НА ОШИБКИ

4.1. Общая схема реагирования

1. **Получение уведомления.** Специалист, ответственный за мониторинг, получает уведомление от I-TOR C.O.B.A. (push, e-mail или SMS).
2. **Анализ в I-TOR C.O.B.A.** Специалист открывает инцидент для просмотра полной информации: код ошибки, время возникновения, серийный номер устройства, контекст (включая параметры АЦП/ЦАП, значения регистров).
3. **Первичная диагностика.** Выполнение действий в соответствии с типом ошибки (см. раздел 4.2).
4. **Эскалация (при необходимости).** При ошибках PRI-1 и PRI-2 — немедленная эскалация команде разработки ВПО через систему Service Desk I-TOR C.O.B.A. с приложением всей собранной информации.
5. **Диагностика командой разработки.** Анализ данных, собранных I-TOR C.O.B.A.; попытка воспроизвести ошибку на тестовой платформе; использование отладочных инструментов (ST-Link) для пошагового анализа кода.
6. **Разработка исправления.** Внесение изменений в исходный код.
7. **Тестирование исправления.** Проверка работоспособности на тестовой платформе, проведение регрессионного тестирования.
8. **Подготовка к обновлению.** Формирование новой версии прошивки, инструкции по обновлению и передача в сервисный центр.

4.2. Действия по типам ошибок

F_ADC_OVR — Перегрузка АЦП (модуль ADC):

1. Проверить в I-TOR C.O.B.A. последние полученные значения АЦП и текущие настройки.
2. Получить максимальное количество информации о состоянии источника входного сигнала — не превышает ли он допустимый диапазон АЦП.
3. Если проблема с входным сигналом — принять меры к устранению её на источнике.

4. Если проблема связана с настройками ВПО — обновить прошивку с корректными параметрами.

F_ADC_TOUT — Таймаут АЦП (модуль ADC):

1. Проверить, восстановилась ли нормальная работа ВПО после ошибки.
2. Если работоспособность восстановилась — уделить повышенное внимание объекту с данным устройством.
3. Если работа не восстановилась — проверить аппаратную часть устройства (соединение по SPI, питание АЦП, целостность кварцевого резонатора).

F_FLASH_ERR — Отказ внутренней памяти (модуль ADC):

1. Устройство может работать некорректно или не запускаться.
2. Необходима физическая замена микроконтроллера на устройстве (восстановление Flash невозможно программно).

F_MEM_ERR — Отказ EEPROM (модуль DAC):

1. Проверить целостность соединения по I2C.
2. Попытаться перезаписать параметры в режиме конфигурации.
3. При повторной ошибке — замена микросхемы EEPROM или модуля.

F_E_NO_INPUT — Отсутствие входного сигнала (модуль DAC):

1. Проверить целостность оптического кабеля и соединителей.
2. Убедиться в наличии питания и нормальной работе модуля ADC (передатчика).
3. Проверить настройки оптического интерфейса (скорость, инверсия).
4. При отсутствии неисправностей линии — эскалация разработчикам для диагностики протокола.

F_RELAY_ERR — Ошибка управления реле (модуль DAC):

1. Проверить состояние регистров SIG_AMPL и FFT_FREQ.
2. Убедиться в корректности входного сигнала.
3. Проверить аппаратную часть цепи управления реле.

5. ОБНОВЛЕНИЕ ПРОШИВКИ

5.1. Порядок обновления

- Обновление прошивки модулей ADC и DAC возможно только через программатор ST-Link.
- Данная процедура выполняется командой разработки ВПО или сервисными инженерами.
- I-TOR C.O.B.A. используется для мониторинга статуса устройств после обновления и проверки отсутствия ошибок.
- При обновлении комплекса рекомендуется обновлять оба модуля до взаимосовместимых версий.

5.2. Процедура обновления через ST-Link

1. Обесточить устройство (модуль ADC или модуль DAC).
2. Физически подключить разъём программатора ST-Link к соответствующему разъёму на плате устройства.
3. Подключить ST-Link к компьютеру.
4. Запустить утилиту STM32 ST-LINK Utility.
5. Выбрать пункт меню **Program & Verify** или нажать сочетание клавиш Ctrl + P.
6. Выбрать скомпилированный файл прошивки (.hex или .bin) соответствующего модуля.
7. Выполнить операцию **Download** (загрузка) или **Program** (программирование).
8. Дождаться завершения процесса и подтверждения верификации.
9. Отключить ST-Link.
10. Подать питание на устройство.
11. Проверить корректность работы устройства, отсутствие ошибок в I-TOR C.O.B.A. и корректность данных, передаваемых по оптическому каналу.

5.3. Важные предупреждения

- **Никогда не прерывать процесс обновления прошивки через ST-Link.** Это может привести к повреждению загрузчика («окирпичиванию») устройства.
- Убедиться, что прошивка соответствует аппаратной части (ревизии платы и типу микроконтроллера).
- Использовать только проверенные и утверждённые версии прошивок из системы версионирования.
- После обновления обоих модулей выполнить комплексную проверку обмена данными по оптическому каналу.

6. УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЯМИ И ВЕРСИЯМИ

6.1. Версионирование прошивки

Каждая версия прошивки имеет уникальный идентификатор:

- ADC_vX.XX — для модуля передатчика;
- DAC_vX.XX — для модуля приёмника.

Версии модуля ADC и модуля DAC, выпущенные в рамках одного комплекта, должны иметь совместимые номера (например, ADC_v1.00 и DAC_v1.00).

6.2. Хранение исходных кодов

Исходные коды ВПО хранятся в системе контроля версий **GitLab Community**. Доступ к репозиторию ограничен и предоставляется только уполномоченным разработчикам и инженерам по качеству.

6.3. Документация

Версии документации (руководства, инструкции) должны соответствовать актуальной версии прошивки. При выпуске новой версии прошивки обновляются:

- описание программы;
- инструкция по эксплуатации и сопровождению;
- инструкция по загрузке прошивки;
- журнал изменений (changelog).

6.4. Конфигурация модулей

Модуль ADC:

- Все параметры настройки АЦП (каналы, частота, разрешение, диапазоны) и фильтрации хранятся во внутренней энергонезависимой памяти Flash.
- При ошибке F_FLASH_ERR настройки могут быть сброшены к заводским или загружены из образа прошивки.

- I-TOR C.O.B.A. отслеживает текущие настройки и уведомляет о любых отклонениях от заданных.

Модуль DAC:

- Все параметры настройки ЦАП (частота, разрешение, диапазоны) и фильтрации хранятся в энергонезависимой памяти EEPROM.
- При ошибке F_MEM_ERR настройки могут быть сброшены к заводским или загружены из образа прошивки.

6.5. Совершенствование программного обеспечения

Совершенствование ПО производится по внутреннему соглашению предприятия и по предложениям Заказчиков с целью:

- изменения и/или расширения функционала модулей;
- исправления ошибок, выявленных в результате эксплуатации;
- повышения производительности и надёжности.

Вопрос расширения функционала рассматривается с точки зрения целесообразности и универсальности использования у других заказчиков.

По результатам внесения изменений выпускается новая версия ПО с предоставлением её Заказчику для обновления в соответствии с разделом 5 настоящей инструкции.

7. ДЕЙСТВИЯ ПРИ СБОЯХ

Код ошибки	Описание	Приоритет	Действия при обнаружении	Ответственный
F_ADC_OVR	Перегрузка АЦП	PRI-2	1. Проверить в I-TOR C.O.B.A. последние полученные значения АЦП и настройки. 2. Проверить состояние источника входного сигнала. 3. Если проблема с сигналом — устранить на источнике. 4. Если проблема с настройками — обновить прошивку.	Инженер поддержки, Разработчик
F_ADC_TOUT	Таймаут АЦП / потеря связи	PRI-1	1. Проверить, восстановилась ли работа. 2. Если восстановилась — повышенное внимание объекту. 3. Если не восстановилась — проверить аппаратную часть (SPI, питание).	Разработчик, Сервисный центр
F_FLASH_ERR	Отказ Flash-памяти	PRI-1	1. Устройство может работать некорректно или не	Сервисный центр, Разработчик

			запускаться. 2. Необходима физическая замена микроконтроллера.	
F_MEM_ERR	Отказ EEPROM	PRI-1	1. Проверить связь по I2C. 2. Попытаться перезаписать параметры. 3. При повторной ошибке — замена микросхемы/модуля.	Сервисный центр, Разработчик
F_E_NO_INPUT	Отсутствие входного сигнала	PRI-2	1. Проверить оптический кабель и коннекторы. 2. Проверить питание и работу модуля ADC. 3. Проверить настройки оптического интерфейса. 4. Эскалация разработчикам при отсутствии внешних неисправностей.	Инженер поддержки, Разработчик
F_RELAY_ERR	Ошибка управления реле	PRI-3	1. Проверить регистры SIG_AMPL и FFT_FREQ. 2. Проверить корректность входного сигнала.	Инженер поддержки, Сервисный центр

			3. Проверить цепь управления реле.	

8. СОСТАВ ПЕРСОНАЛА

Постоянный персонал (Сервисный центр)

- **Техник / Сервисный инженер**
    - Разбирает устройства, подключает программатор, заливает готовые бинарные файлы прошивки, проводит финальный чек-лист проверки.
- **Специалист по логистике и рекламациям**
    - Принимает устройства от клиентов, ведёт учёт версий прошивок, отправляет приборы обратно, общается с клиентами на этапе приёма.

Инженерный состав (R&D / Разработчики — привлекаются при обнаружении системных багов)

- **Firmware-инженер (Разработчик STM32)**
    - Исправляет код, компилирует новые стабильные сборки прошивок (.hex / .bin), передаёт их в сервисный центр с инструкцией по прошивке.
- **Инженер-схемотехник**
    - Помогает локализовать проблему, если АЦП/ЦАП выдаёт неверные данные из-за аппаратных проблем платы, а не из-за программных ошибок.

9. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- **Служба поддержки / Специалист по мониторингу (I-TOR C.O.B.A.):**
  - Телефон: +7 (343) 351-76-08
  - E-mail: info@i-tor.ru
  - Система: I-TOR C.O.B.A.
- **Команда разработки ВПО «ADC/DAC»:**
  - E-mail: info@i-tor.ru
- **Сервисный центр:**
  - Телефон: +7 (343) 351-76-08
  - E-mail: sgo@i-tor.ru