Оценка задержки обработки прерываний в ОСРВ FX-RTOS

Сергей Рыбкин, Арсений Захаров, Михаил Черкасов, Александр Сушков

Введение

Когда речь заходит об операционных системах реального времени (ОСРВ), наша команда часто сталкивается с вопросом: «А какая задержка обработки прерываний?» Скажем сразу – время реакции на событие в ОСРВ – это не единственная и не самая важная характеристика операционных систем. Тем не менее мы попробуем разобраться со столь частым вопросом путём проведения эксперимента на отечественном оборудовании.

Стенд для проведения эксперимента

В целях проверки мы остановились на отечественном микроконтроллере К1986ВЕ92FI (маркировка на корпусе MDR1211FI), выпускаемом АО «ПКК Миландр». Данный микроконтроллер применяется в различных платформах и на отладочных платах российских разработчиков. Наша команда выбрала плату MDR32 Miluino (рис. 1), так как она обеспечивает основные технические характеристики, необходимые для проведения эксперимента.

Для обеспечения быстрого старта работы с ОСРВ на микроконтроллерах принято решение использовать конфигуратор для встраиваемых систем FX-Designer и ОСРВ FXRTOS.

Один из таймеров с ШИМ-выходом выберем в качестве источника прерываний. В целях оценки задержки вызова обработчика прерывания будем в нём формировать сигнал на другой свободный вывод. Для измерения задержки используем осциллограф. Сразу отметим, что обращение к периферии микроконтроллера из прерывания не совсем корректно, так как это может вступить в конфликт с другими операциями обращения к тем же периферийным модулям в основной программе. Следует отметить, что такая ситуация может привести к непредсказуемому поведению устройства в целом. Но в данном случае мы это учитываем и предполагаем, что обращение из основной программы к одному и тому же периферийному модулю микроконтроллера исключено.

Настройка периферии микроконтроллера

В целях выполнения эксперимента проведём ряд настроек микроконтроллера и платы MDR32 Miluino в конфигураторе FX-Designer.

1. Для генерации выходного сигнала используем таймер TMR3, он же в нашем случае будет являться источником прерываний. В конфигураторе включаем таймер «MDR_TMR3», и в его настройках включаем для канала № 3 режим работы «ШИМ В» – ШИМ с прямым выходом на вывод микроконтроллера, в данном случае автоматически назначается вывод PB5 (рис. 2).
2. Частоту тактирования ядра микроконтроллера поднимаем до максимальной – 80 МГц. Для этого на вкладке «Тактирование» (рис. 3) указываем частоту внешнего кварцевого резонатора и переключаем мультиплексоры CPU_C1_SEL и CPU_C2_SEL так, чтобы частота с выхода внешнего генератора HSE прошла через PLL, в котором указываем множитель x5. После этого переключаем мультиплексор HCLK_SEL

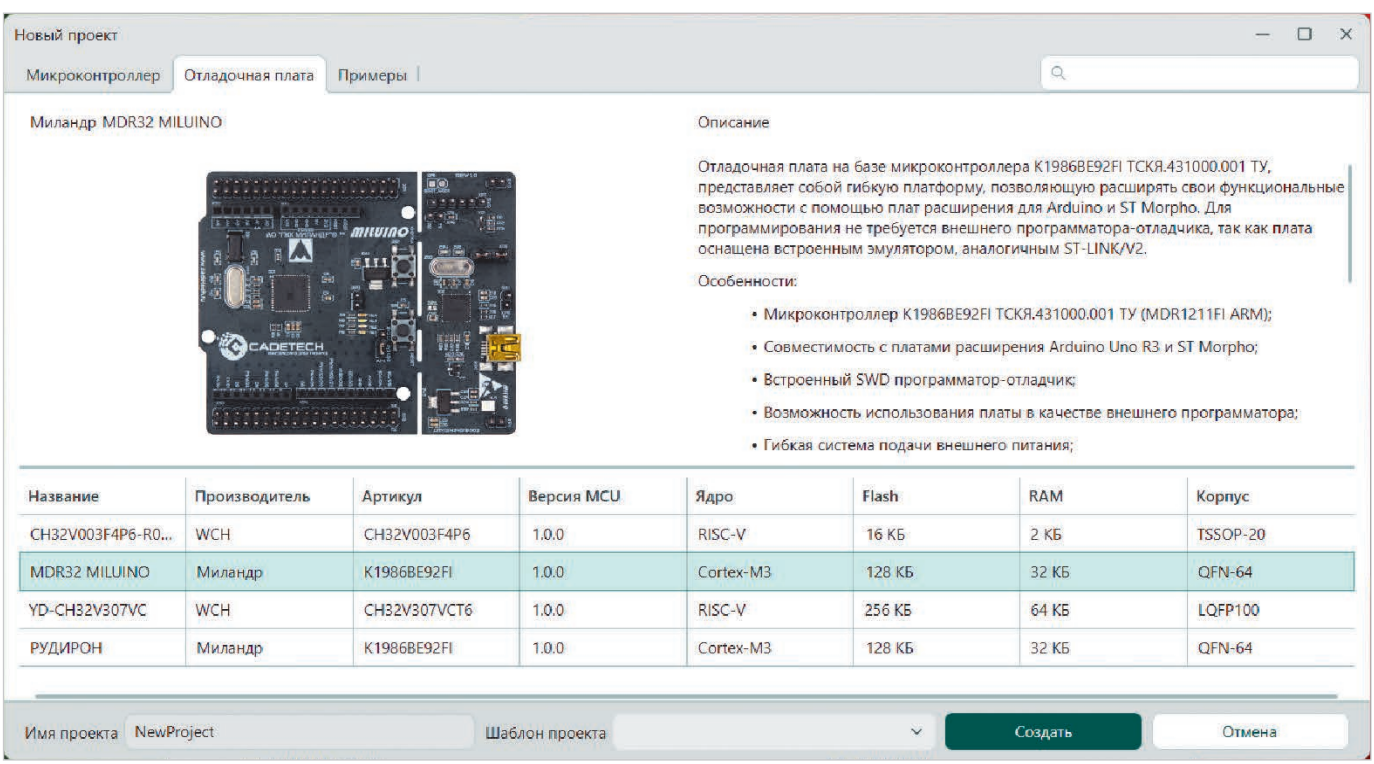

Рис. 1. Отладочная плата MDR32 Miluino

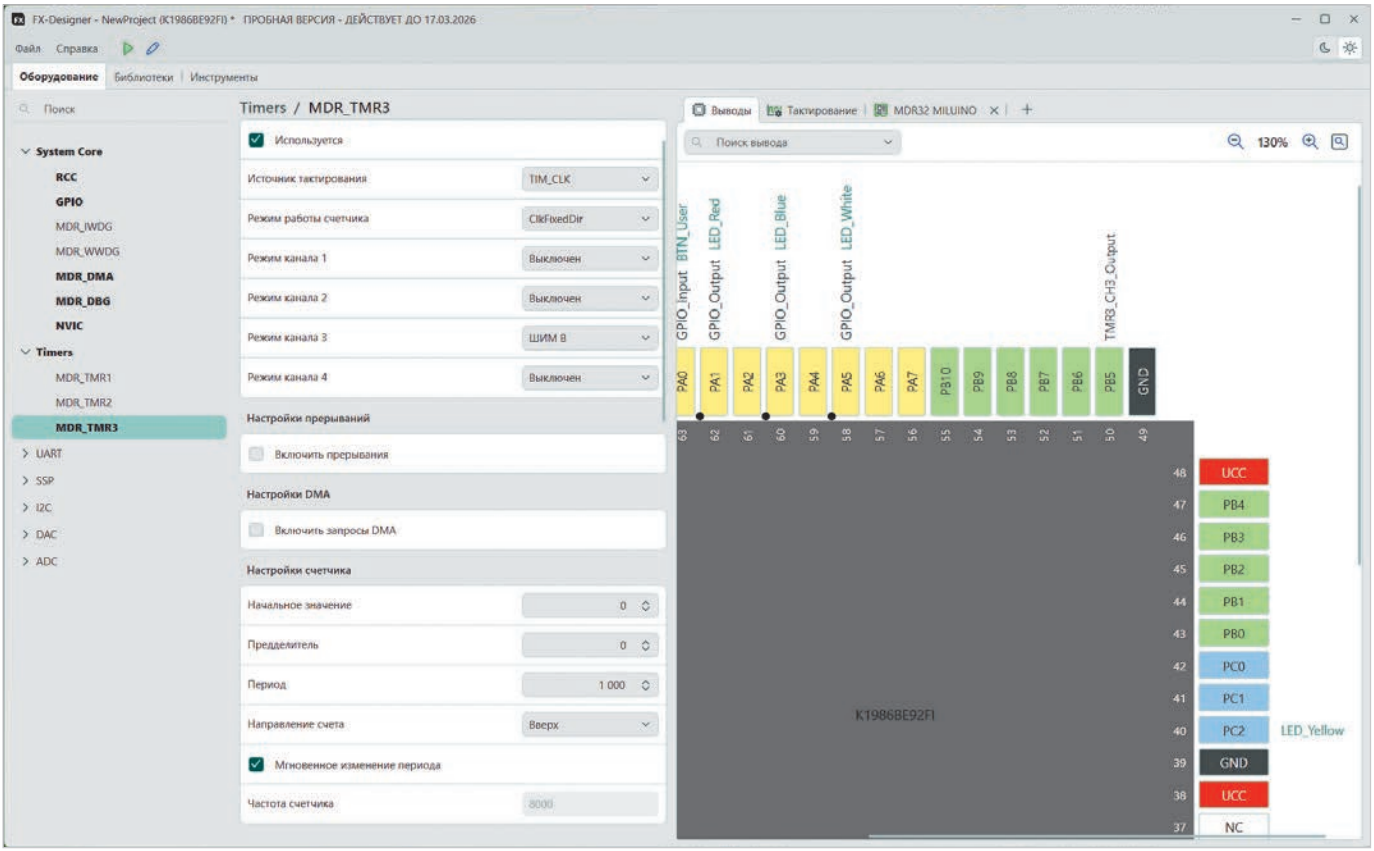

Рис. 2. Настройка таймера TMR3 в FX-Designer

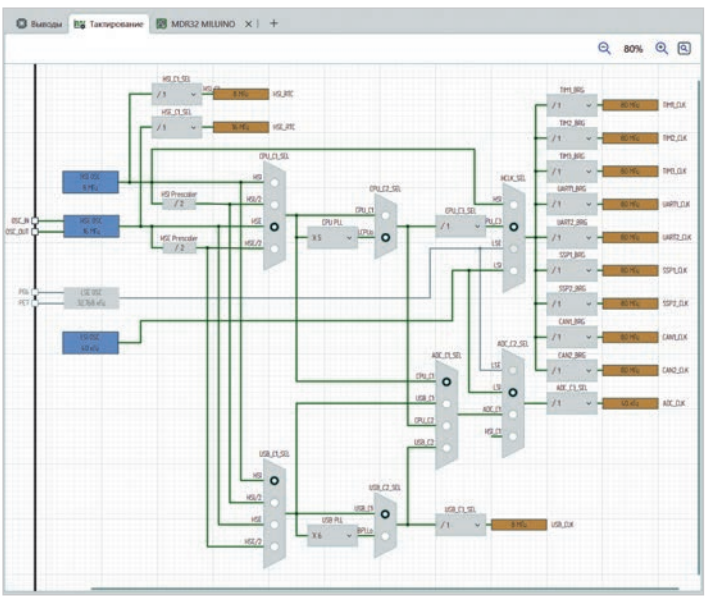

Рис. 3. Графическое представление схемы тактирования микроконтроллера

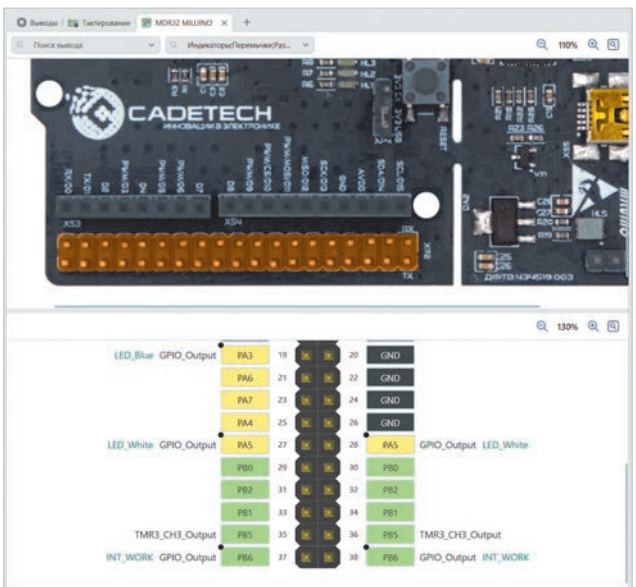

Рис. 4. Визуализация расположения разъёма на отладочной плате и назначение его выводов

```
void Timer3_IRQHandler(void)
{
    // USER CODE BEGIN Timer3_IRQHandler_Init

    PORT_WriteBit(INT_WORK_Port, INT_WORK_Pin, SET);

    // USER CODE END Timer3_IRQHandler_Init

    // USER CODE BEGIN Timer3_IRQHandler_Exit

    // Сбрасываем флаг прерывания
    MDR_TIMER3->STATUS = ~TIMER_STATUS_CCR_REF_CH3;
    PORT_WriteBit(INT_WORK_Port, INT_WORK_Pin, RESET);

    // USER CODE END Timer3_IRQHandler_Exit
}
```

Рис. 5. Исходный код обработчика прерывания таймера TIM3

на PLL, чтобы он использовался как источник тактирования для HCLK.

3. Назначенные ранее выводы микроконтроллера отображаются на разъёме XP2 отладочной платы MDR32 Miluino (рис. 4): выход таймера (вывод PB5) и выход сигнала INT_WORK (вывод PB6).
4. После генерации исходного кода проекта добавляем код в обработчик прерывания. В начале обработчика прерывания выставляем «1» на вывод INT_WORK, после сбрасываем флаг прерывания, чтобы избежать повторного вызова, и выставляем «0» на вывод INT_WORK (рис. 5).

После этого подключаем осциллограф к выводам микроконтроллера PB5 и PB6. На выводе PB5 наблюдаем периодический сигнал запроса на прерывание. На выводе INT_WORK (PB6) наблюдаем короткие импульсы, передний фронт которых означает начало

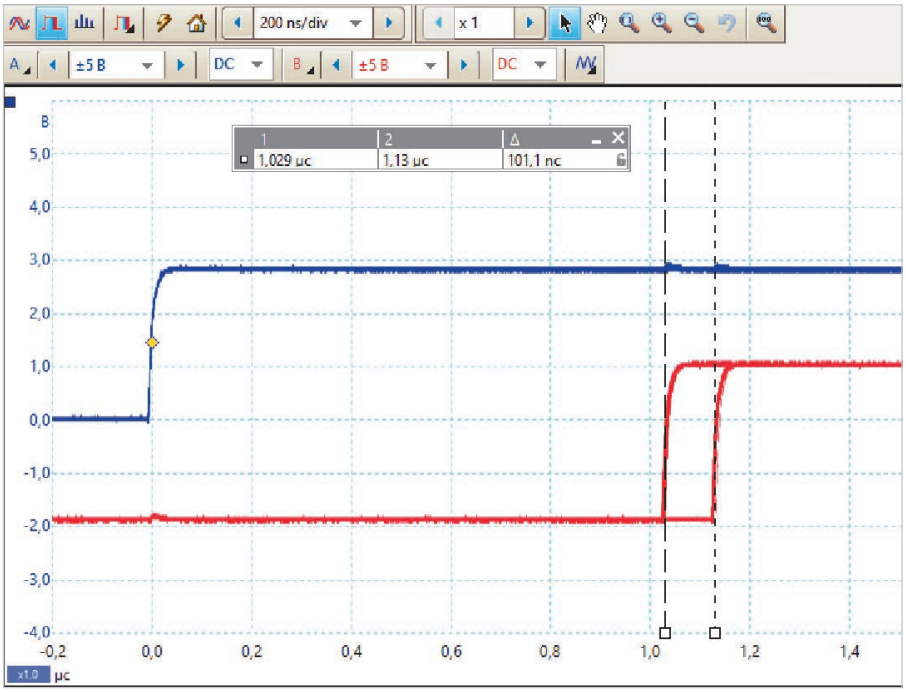

Рис. 6. Осциллограмма задержки обработки прерывания без ОСРВ

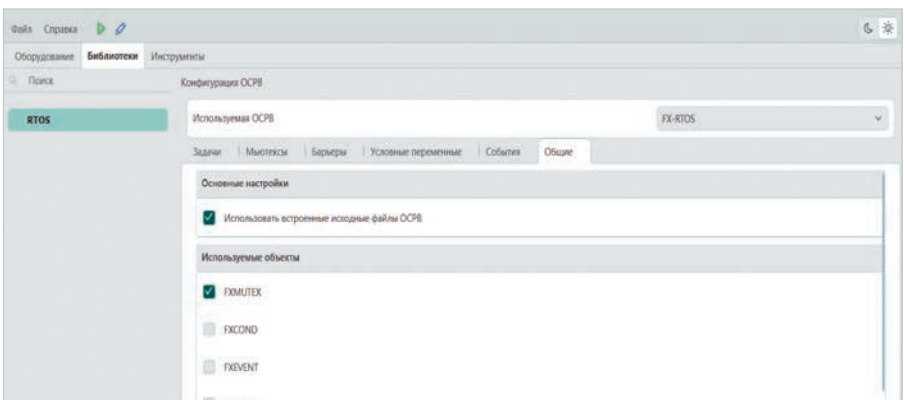

Рис. 7. Настройка ОСРВ FX-RTOS в интерфейсе конфигуратора FX-Designer

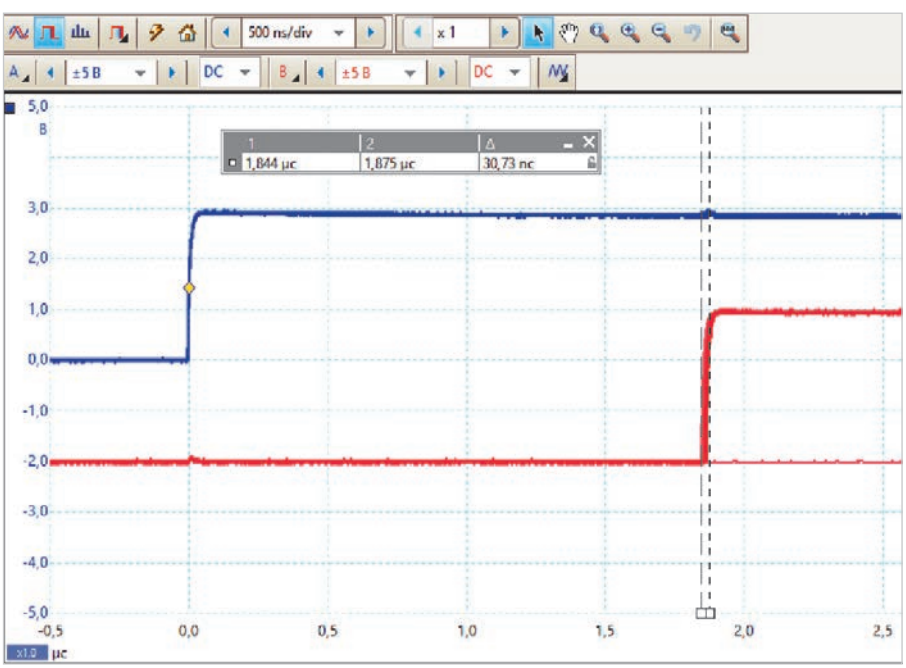

Рис. 8. Осциллограмма задержки обработки прерывания под управлением ОСРВ

выполнения пользовательского кода в обработчике прерывания. Далее измерим задержки между прерыванием и началом выполнения пользовательского кода в самом прерывании.

Результаты измерений

Вариант № 1 – проверка задержки прерывания без ОСРВ (рис. 6)

Осциллограмма в режиме накопления – захватывается большое количество сигналов для визуализации возможного джиттера. Синий график – источник прерывания, по нему включена синхронизация захвата сигнала. Красный график – сигнал INT_WORK.

На основании полученного графика определяем минимальную и максимальную задержки обработки прерывания: 1,029 мкс и 1,13 мкс соответственно.

Вариант № 2 – подключаем ОСРВ FX-RTOS для проверки задержки (рис. 7)

Проводим повторную генерацию исходного кода проекта и проверяем изменения в задержке обработки прерывания (рис. 8).

При работе прерываний под управлением ОСРВ добавилась небольшая задержка. Минимальная задержка составляет 1,844 мкс, а максимальная – 1,875 мкс. На основании вышеуказанного можно сделать следующий предварительный вывод: применение ОСРВ может добавить задержку обработки прерываний 0,8 мкс относительно задержки без ОСРВ.

Если в прерывании не используются функции ОСРВ, то его можно обрабатывать, как и в варианте № 1. Но в этом случае прерывание может происходить на стеке любых потоков, что необходимо учитывать при разработке встраиваемого программного обеспечения.

Заключение

В результате проведённого эксперимента получены максимальная и минимальная задержки реакции на прерывание. Важно понимать, что данные характеристики не являются исчерпывающими для корректной оценки параметров конечного изделия, хоть и позволяют сформировать представление о требованиях, которым оно может соответствовать. На практике необходимо учитывать и ряд других параметров, например, таких как максимальная частота прерываний, при которой не происходит пропусков событий, средняя и медианная задержки, а также их изменение при работе под нагрузкой.

НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

Текстильные отходы – в энергию: российские учёные разработали быстрый способ получения материалов для суперконденсаторов

Исследователи из Национального исследовательского технологического университета МИСИС совместно со специалистами НИИ перспективных материалов и технологий представили технологию переработки текстильных отходов в высокоэффективные углеродные материалы для накопителей энергии. Новый метод позволяет превращать хлопковый мусор в основу для электродов суперконденсатора всего за несколько минут – вместо примерно полутора часов, требуемых при традиционной термической обработке.

Ключевая особенность технологии заключается в использовании микроволнового излучения в специальном волноводе, работающем в режиме «бегущей волны». Такой подход обеспечивает равномерный и чрезвычайно быстрый нагрев материала по всему объёму. В отличие от классического обжига в печах, где тепло распространяется постепенно от поверхности к центру, микроволновая обработка позволяет практически мгновенно преобразовывать органическое сырьё в пористый углерод.

В качестве исходного материала используются обычные отходы текстильной промышленности – прежде всего, хлопковые ткани. Это делает процесс не только технологически эффективным, но и экологически выгодным, поскольку переработка текстиля позволяет сократить объёмы промышленного мусора и соответствует принципам экономики замкнутого цикла.

Полученный углерод обладает оптимальной пористой структурой для электрохимических устройств. В материале сочетаются поры разных размеров: крупные каналы облегчают транспорт ионов электролита, а мелкие увеличивают активную поверхность электрода. Такая архитектура значительно улучшает характеристики накопителей энергии, особенно при работе на высоких токах.

Испытания показали, что изготовленные из нового материала электроды демонстрируют высокую долговечность. После 20 тысяч циклов зарядки и разрядки они сохраняют более 95% своей первоначальной ёмкости, что является важным показателем для практического применения.

Разработчики считают, что технология может стать основой для производства недорогих и долговечных накопителей энергии. Потенциальные области применения включают системы питания электротранспорта, гибридные энергетические установки, а также портативную электронику, где суперконденсаторы используются для быстрого накопления и отдачи энергии.