

Характеристики реального времени: особенности реакции на прерывания в обработчиках, пользовательских потоках и в особом привилегированном потоке

Владимир Махилёв

Руководитель группы разработки
Отдел операционных систем

План мастер-класса



◆ **Методика замеров характеристик реального времени**

- ◆ Общие понятия: задержка обработки прерывания, задержка планирования и получения управления в пользовательском потоке
- ◆ Стенд для замеров

◆ **Анализ результатов для модуля INMYS Rockchip RK3568**

- ◆ Время реакции на внешние прерывания
- ◆ Максимальная выдерживаемая частота внешних прерываний без потерь
- ◆ Сравнение характеристик с другими платформами

◆ **Дополнительные практические вопросы**

- ◆ Установка порога срабатывания для прерываний в привилегированном пользовательском потоке
- ◆ Распределение прерываний по процессорным ядрам

Характеристики реального времени



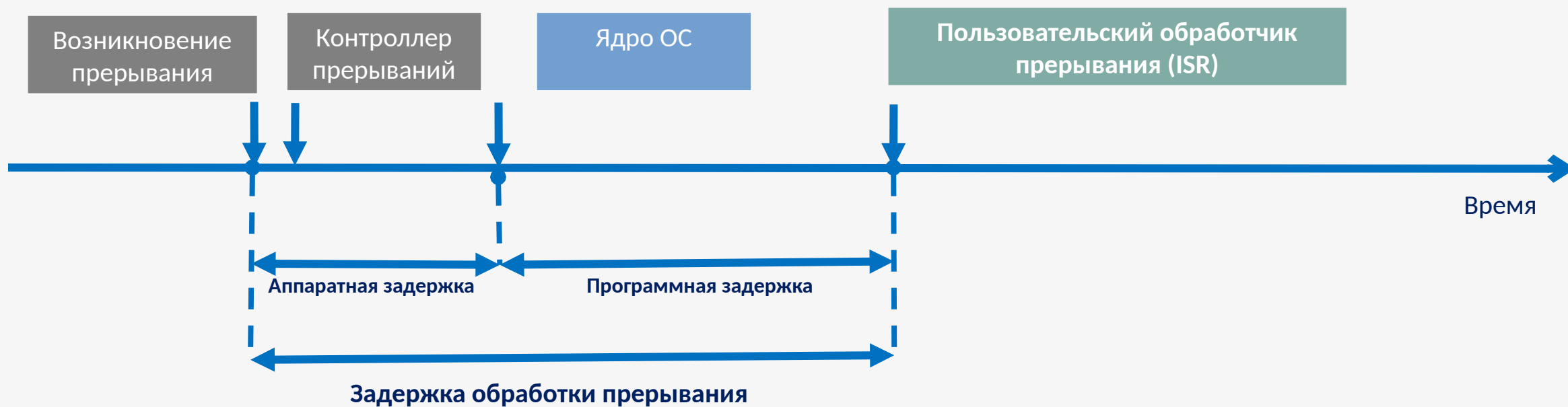
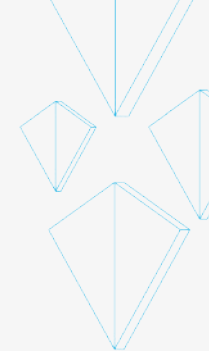
- ◆ **Время реакции на внешнее событие (прерывание)**

- ◇ Задержка
- ◇ Разброс значений (джиттер)

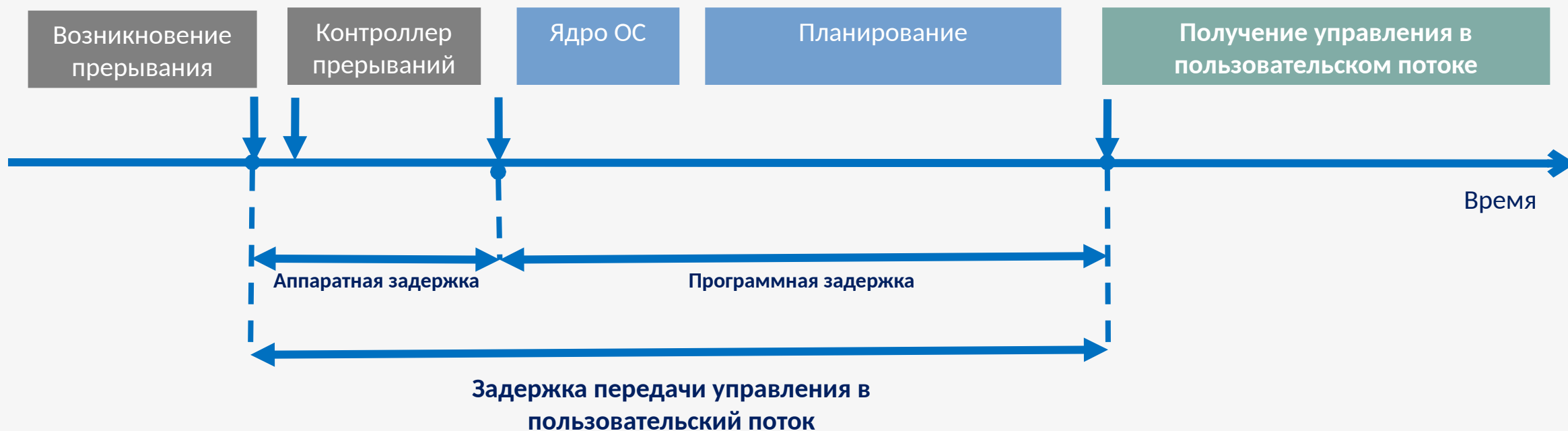
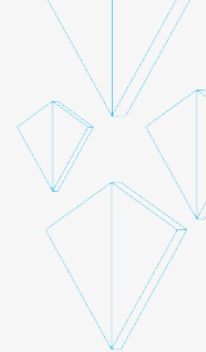
- ◆ **Пропускная способность системы**

- ◇ Частота внешних событий/прерываний
- ◇ Количество потерянных событий/прерываний

Задержка обработки прерывания



Задержка планирования и получения управления в пользовательском потоке



Стенд для замеров характеристик реального времени

◆ Генератор

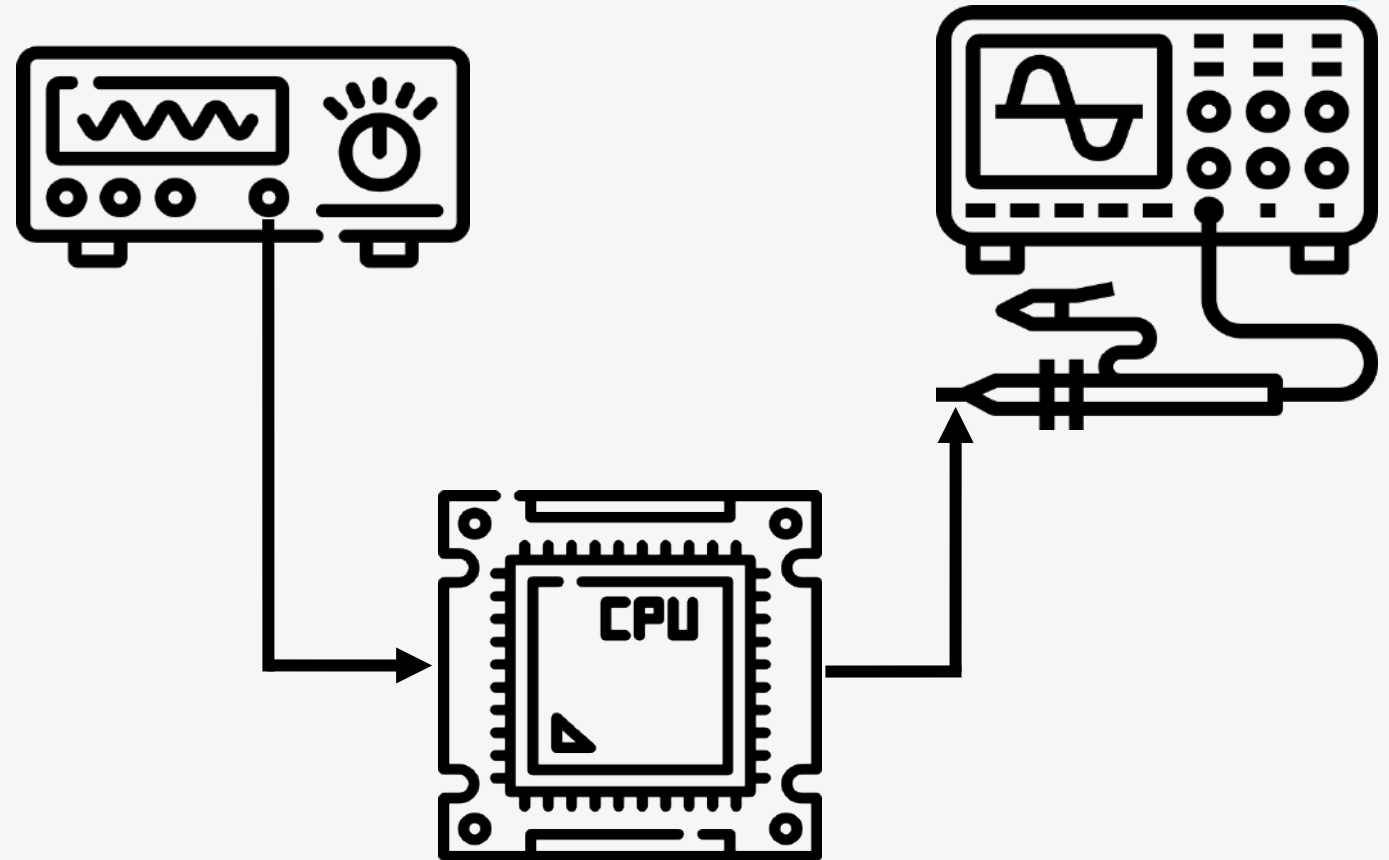
- ◆ Прямоугольный импульс (меандр) с заданной частотой
- ◆ Коэффициент заполнения 50%
- ◆ Пакетный режим с заданием количества импульсов

◆ Целевая система

- ◆ Вход: сигнал от генератора
- ◆ Выход: сигнал для осциллографа

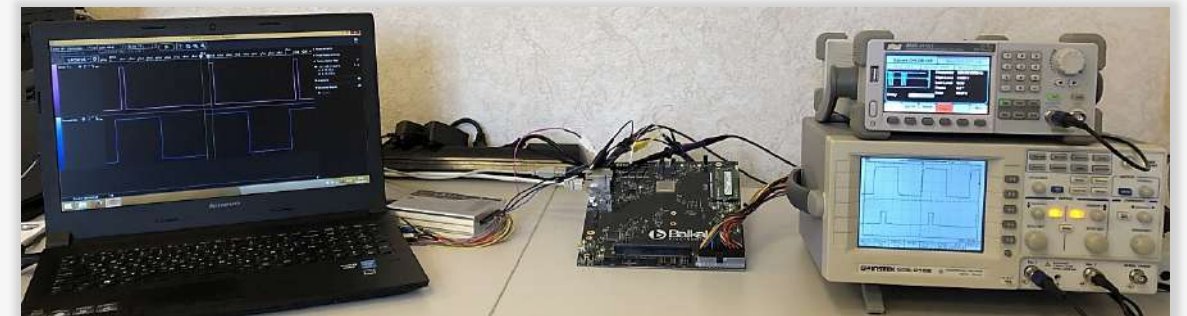
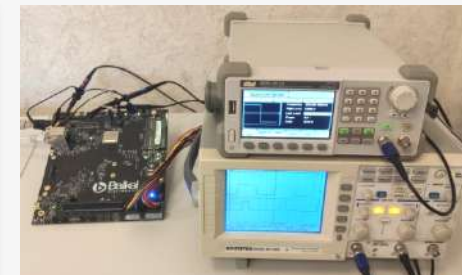
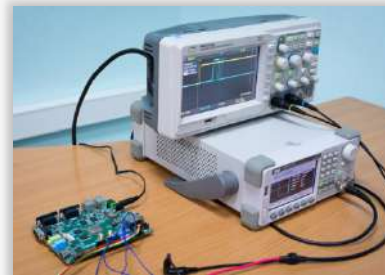
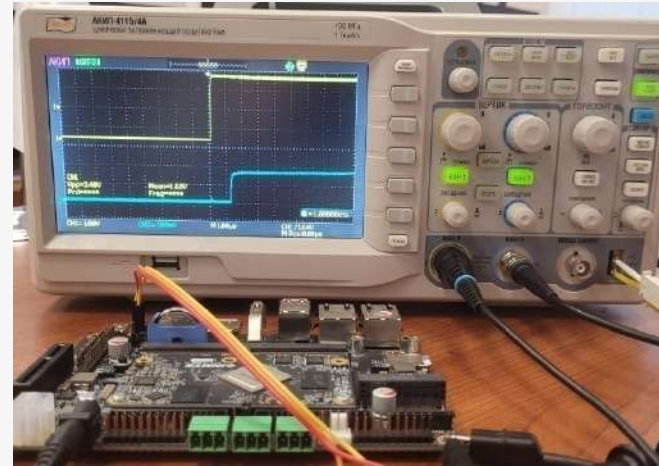
◆ Осциллограф

- ◆ 1 вход: генератор
- ◆ 2 вход: целевая система
- ◆ Режим накопления данных



Стенд для замеров характеристик реального времени

- ◆ **Генератор АКИП-3413**
 - ◇ Пакетный Burst режим до 1 миллиона импульсов
- ◆ **Осциллограф АКИП-4115**
 - ◇ 2 канала
 - ◇ Режим накопления данных
- ◆ **Целевая система**
 - ◇ Процессорный модуль RK3568 с GPIO



Целевая система: INMYS Rockchip NMS-SM-RK3568

◆ Четырехядерный процессор ARM Cortex A55

- ◇ Частота CPU 816МГц

◆ Контроллер прерываний ARM GICv3

- ◇ Приоритеты прерываний
- ◇ Установка порога срабатывания
- ◇ Распределение прерываний по ядрам

◆ Состав тестового образа «Нейтрино»

- ◇ Ядро ОС
- ◇ Минимальный набор сервисов
- ◇ Тестовая программа работы с GPIO

◆ Штатные прерывания системы

- ◇ Таймер 1мс
- ◇ Межядерные IPI



Программный цикл обработки

◆ Обработчик прерывания

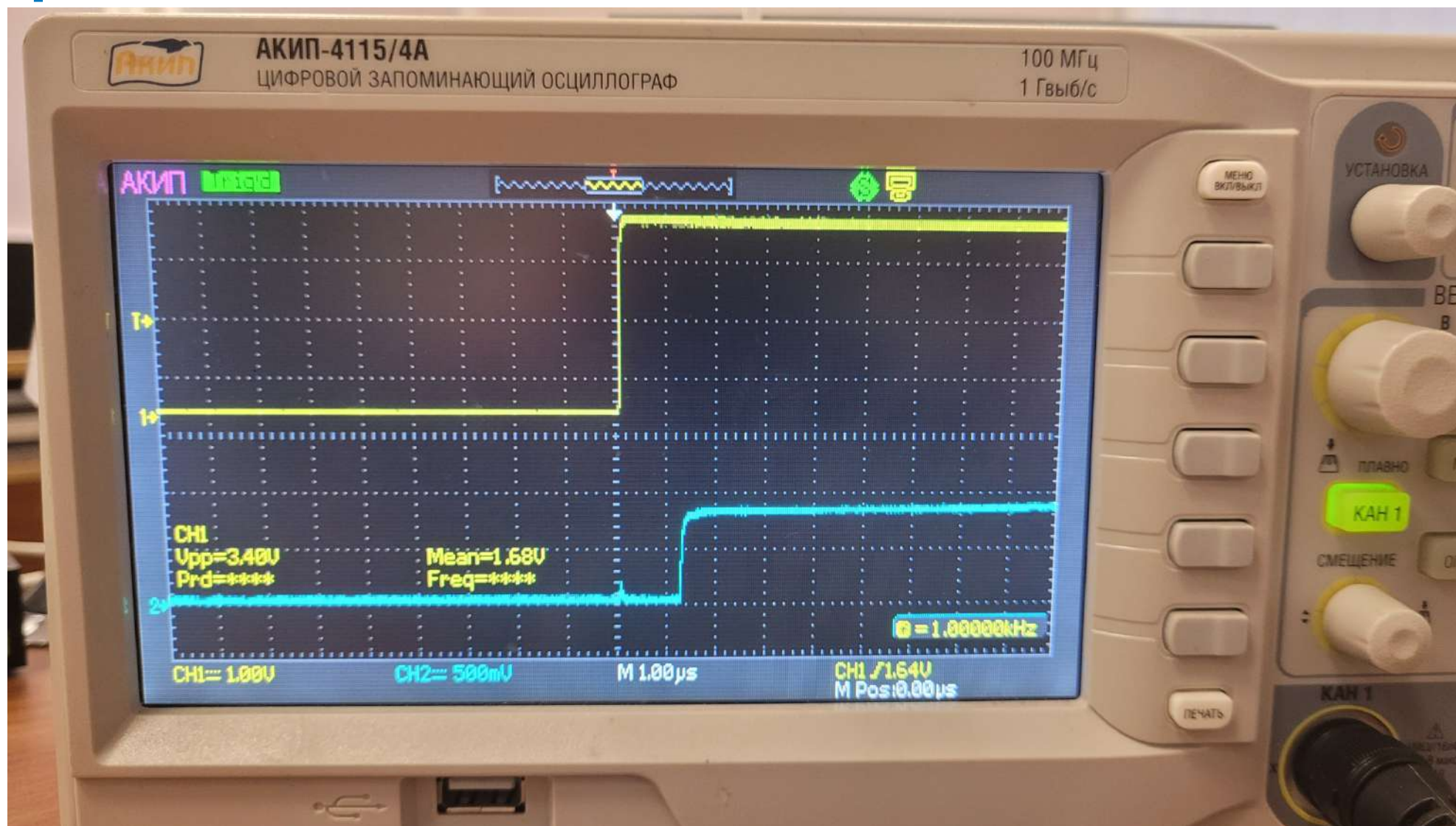
- ◆ Установка линии GPIO

◆ Основной цикл

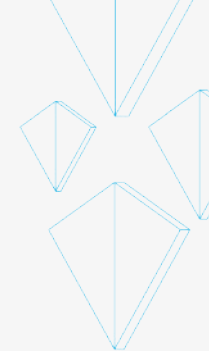
- ◆ Ожидание прерывания от входа GPIO
- ◆ Эмуляция нагрузки (для более наглядного импульса на выходе)
- ◆ 2 сценария: с обработчиком InterruptAttach и событием InterruptAttachEvent

```
1  const struct sigevent *interrupt_handler (void *area, int id)
2  {
3      » gpio_pin_set(gpio_base, OUT_PIN_NUM);
4      » gpio_intr_clear(gpio_base, IN_PIN_NUM);
5      » current_irq_counter++;
6      »
7      » return (&int_event);
8  }
9
10
11
12
13  int main( int argc, char **argv )
14  {
15      » if (thread_test)
16      » » id = InterruptAttachEvent( INTR_NUM, &int_event, _NTO_INTR_FLAGS_TRK_MSK);
17      » else
18      » » id = InterruptAttach( INTR_NUM, &interrupt_handler, NULL, 0, _NTO_INTR_FLAGS_TRK_MSK);
19
20      » if (!thread_test)
21      » {
22      » » printf("Interrupt handler \n");
23      » » while (current_irq_counter < total_irq_num)
24      » » {
25      » » » if (InterruptWait(0, NULL) == -1)
26      » » » » break;
27      » » »
28      » » » current_handler_counter++;
29      » » »
30      » » » if (busy_emulate)
31      » » » » nanospin_ns(busy_time);
32      » » »
33      » » » gpio_pin_clear(gpio_base, OUT_PIN_NUM);
34      » » }
35      » }
```

Стенд для замеров характеристик реального времени

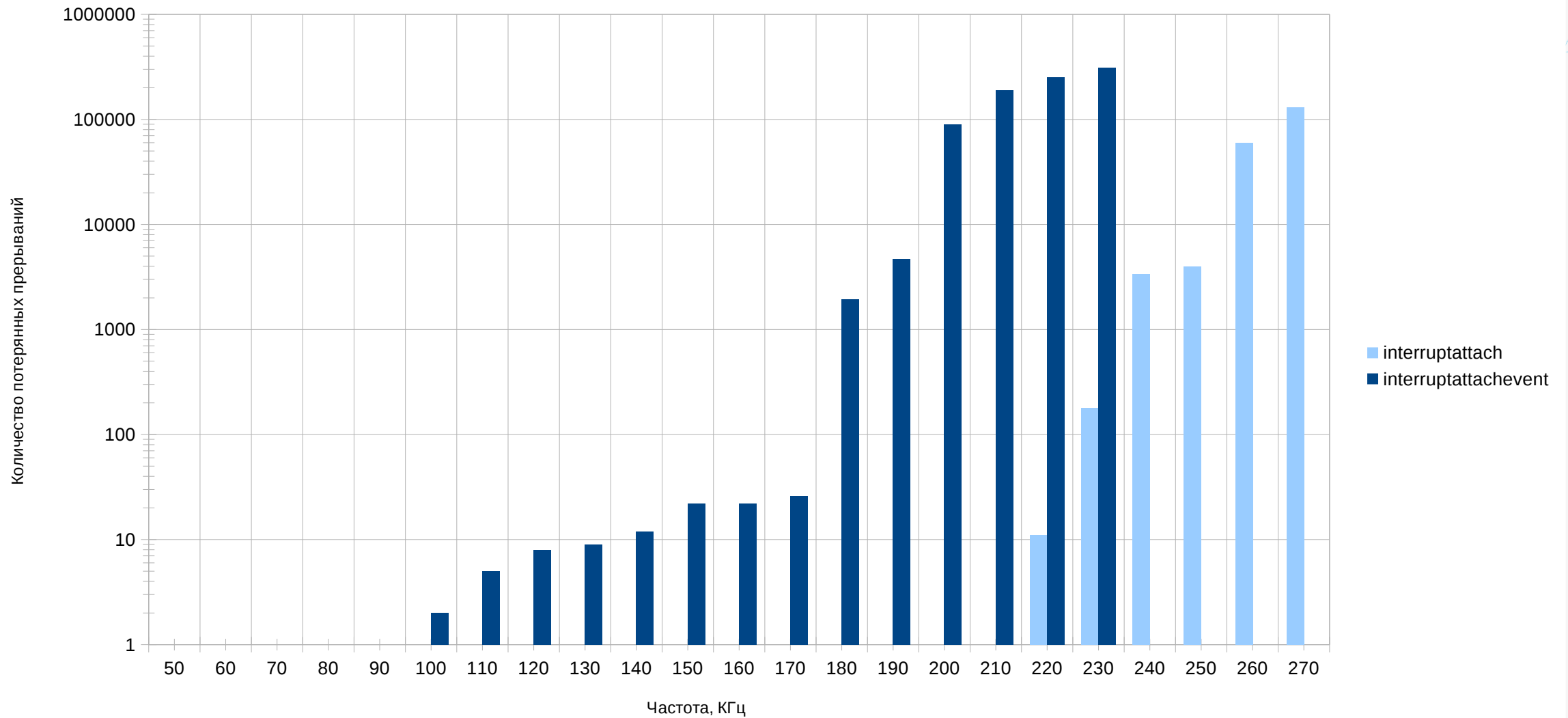


Характеристики реального времени «Нейтрино» на модуле INMYS Rockchip NMS-SM-RK3568



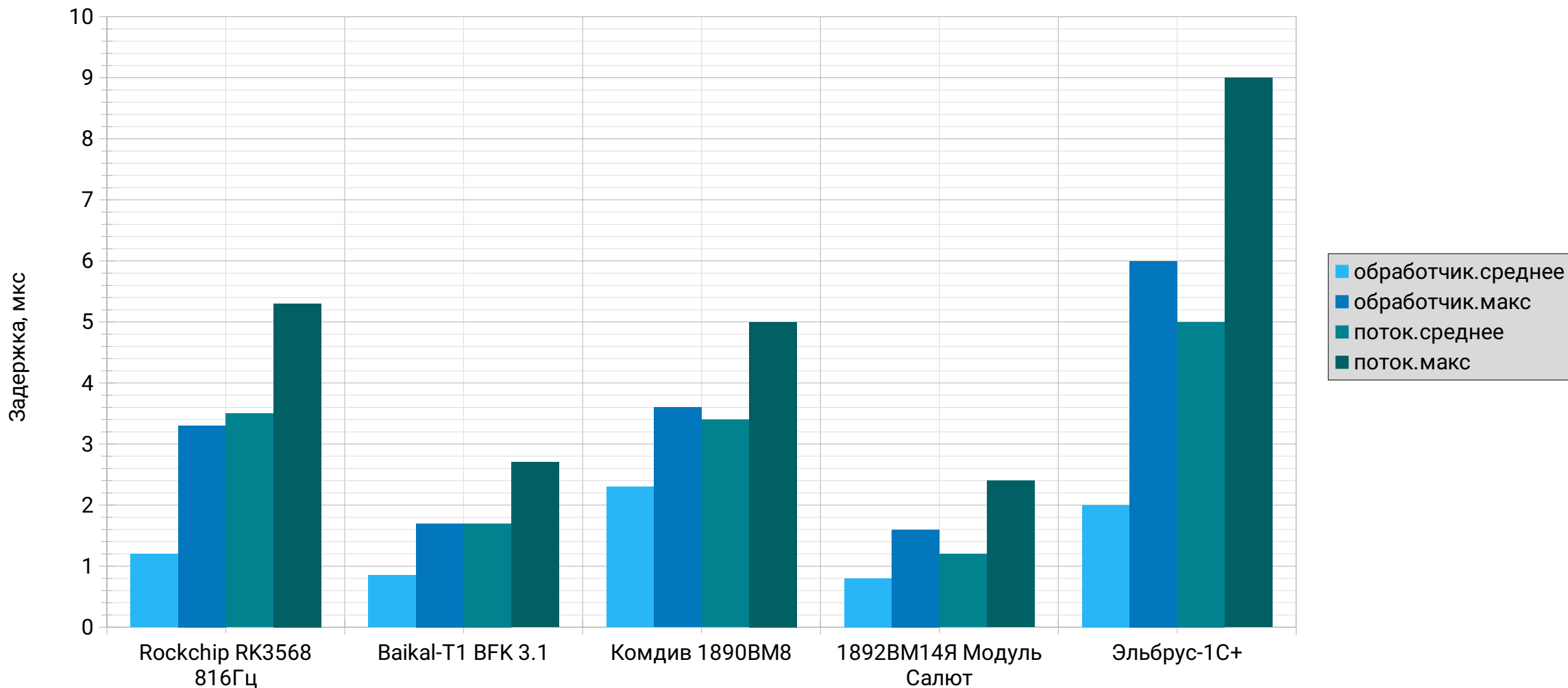
Среднее время реакции на прерывание в обработчике	1.2 мкс
Максимальное время реакции на прерывание в обработчике	3.3 мкс
Среднее время реакции на прерывание в пользовательском потоке	3.5 мкс
Максимальное время реакции на прерывание в пользовательском потоке	5.3 мкс
Период обработки прерываний без потерь в обработчике	5 мкс (200кГц)
Период обработки прерываний без потерь в пользовательском потоке	11.1 мкс (90кГц)

Количество потерянных прерываний из 1000000



Сравнение характеристик реального времени

Задержка времени реакции на прерывания

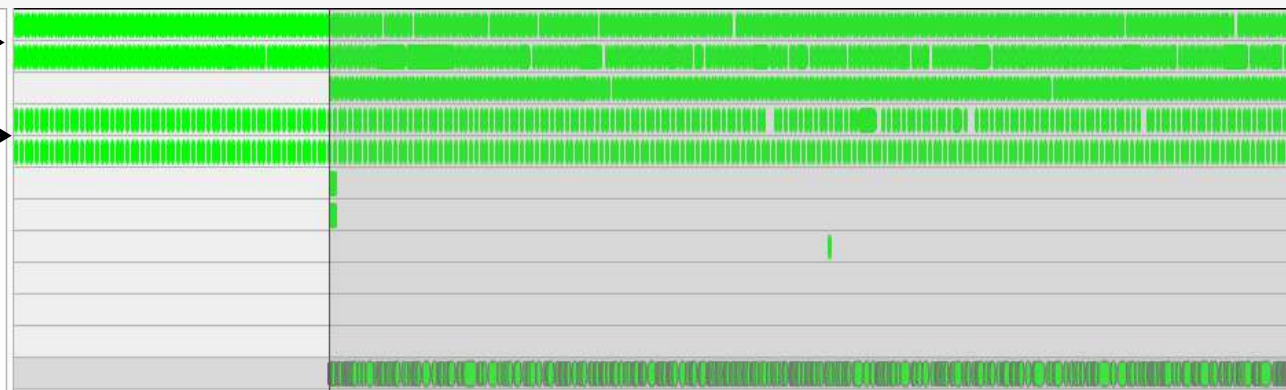


Установка порога срабатывания прерываний для привилегированного пользовательского потока



Прикладные прерывания
Прерывание таймера

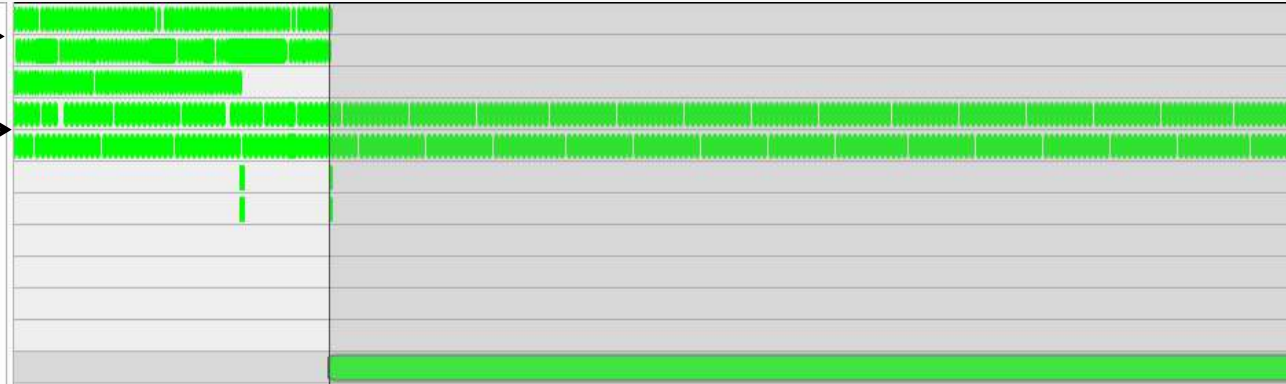
▼ Interrupt 0x98			
Interrupt 0x98	4108		
Interrupt 0x98	192528		
▼ Interrupt 0x1b			
Interrupt 0x1b	1		
▼ Interrupt 0x3b			
Interrupt 0x3b	6		
Interrupt 0x4dda40	2013973688		
▼ proc/boot/procnto-smp-instr	1	0	0
▼ proc/boot/mksh	49165	0	1
▼ proc/boot/mksh->proc/boot/on->proc/boot/test_cpr	192528	0	49165
Thread 2	192528	2	192528



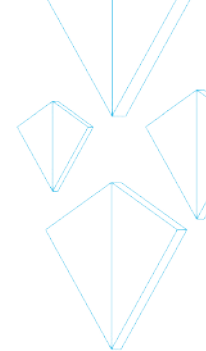
↑ Прерываемый поток

Прикладные прерывания
Прерывание таймера

▼ Interrupt 0x98			
Interrupt 0x98	4108		
Interrupt 0x98	192528		
▼ Interrupt 0x1b			
Interrupt 0x1b	1		
▼ Interrupt 0x3b			
Interrupt 0x3b	6		
Interrupt 0x4dda40	2013973688		
▼ proc/boot/procnto-smp-instr	1	0	0
▼ proc/boot/mksh	49165	0	1
▼ proc/boot/mksh->proc/boot/on->proc/boot/test_cpr	204816	0	49165
Thread 2	204816	2	204816



Установка порога срабатывания прерываний для привилегированного пользовательского потока



◆ Установка порога срабатывания прерываний для привилегированного потока

- ◇ На основе приоритетов прерываний
- ◇ Во время активного исполнения потока не срабатывают прерывания ниже заданного приоритета
- ◇ При переключении контекста ядро сохраняет и восстанавливает порог срабатывания, т.е. другие потоки продолжают работать штатно

◆ Организация критической секции кода

- ◇ Поток получает только требуемые прерывания
- ◇ Увеличение получаемого процессорного времени
- ◇ Повышение предсказуемости поведения

◆ Подводные камни

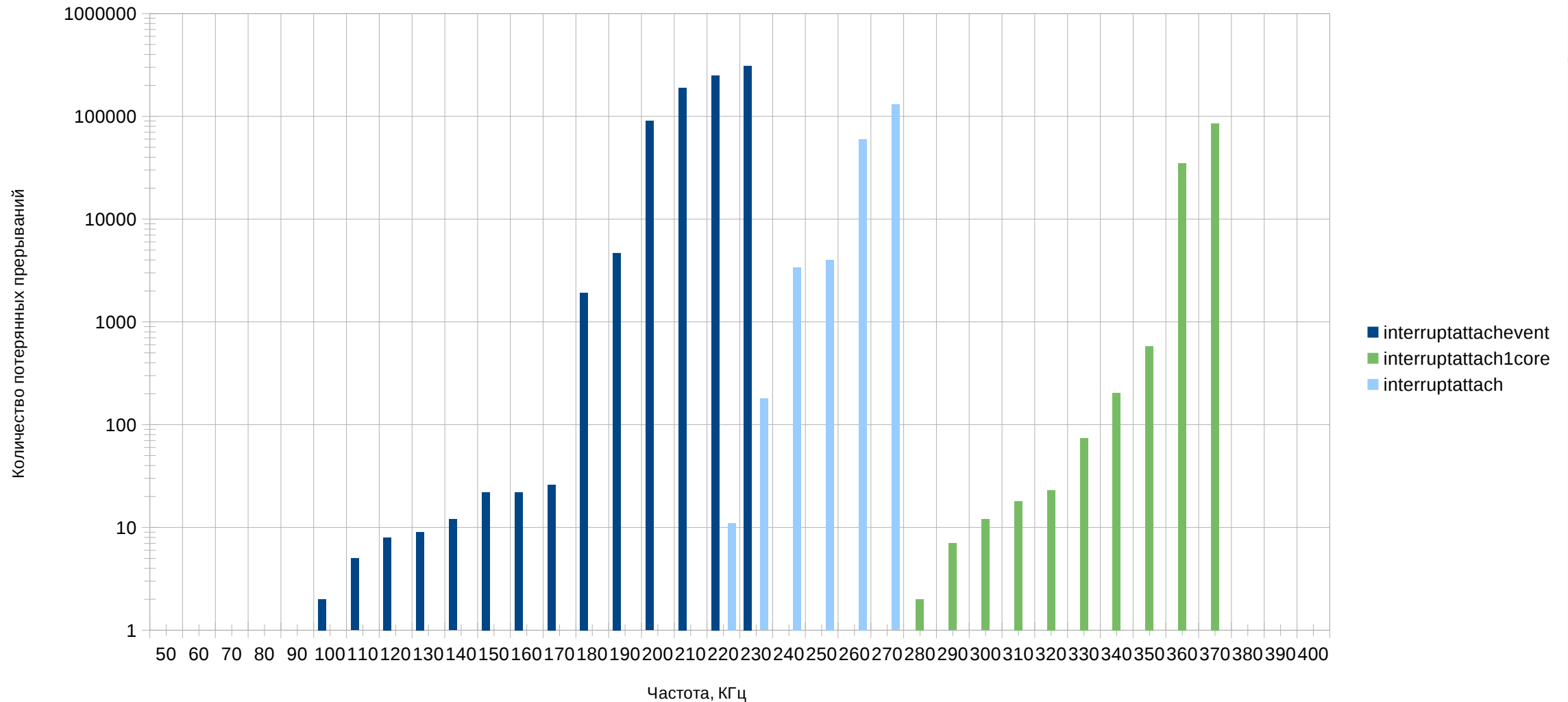
- ◇ Запрет прерываний
- ◇ Незначительное увеличение накладных расходов (включается опцией ядра)
- ◇ Поддерживается для систем с GICv3 и Эльбрус

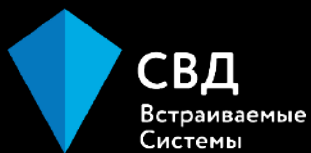
Распределение прерываний по процессорным ядрам



	Прерывание приходит на 1 ядро	Прерывание приходит на 0 ядро (по-умолчанию)
Среднее время реакции на прерывание в обработчике	1.9 мкс	1.2 мкс
Максимальное время реакции на прерывание в обработчике	2.1 мкс	3.3 мкс
Среднее время реакции на прерывание в пользовательском потоке	8 мкс	3.5 мкс
Максимальное время реакции на прерывание в пользовательском потоке	11 мкс	5.3 мкс
Период обработки прерываний без потерь в обработчике	3.85 мкс (260кГц)	5 мкс (200кГц)

Количество потерянных прерываний из 1000000





Спасибо за внимание!

Владимир Махилёв

Руководитель группы разработки
Отдел операционных систем

ул. Кузнецовская, д. 19,
г. Санкт-Петербург
+7 (812) 346-89-56
www.kpda.ru
support@kpda.ru