Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Лекция 5

Симуляция временных задержек выполнения команд

Микроконтроллеры в смарт-системах IoT

Лекция 5

План лекции

Требования к средствам МК-техники

Классы аппаратных средств

Альтернатива: ПЛИС

Откуда берутся задержки

Задержка выполнения кода

Время преобразования АЦП и частота дискретизации

Время передачи по RS-232

Как считать длительность пакета

Прерывания и время реакции

Измерение времени в программе

Вопросы и задачи

Итоги лекции

Лекция 5

Требования к средствам МК-техники

- Надёжность: работа без сбоев круглосуточно
- Служба времени: таймеры и часы реального времени
- Система прерываний: быстрая реакция на события
- Малое энергопотребление и устойчивость к помехам
- Гарантированное время реакции на событие

Лекция 5

Классы аппаратных средств

Промышленные мини-ПК

Мощные, на базе процессоров ПК; для сложной обработки.

ПЛК

Программируемые логические контроллеры: надёжные, с модулями ввода-вывода.

DSP

Сигнальные процессоры для быстрой цифровой обработки.

МК

Дёшевые и компактные; ядро, память и периферия в одном корпусе.

Альтернатива: ПЛИС

- Программируемые логические интегральные схемы
- Логика выполняется параллельно в аппаратуре, а не по тактам процессора
- Время реакции задаётся схемой и очень стабильно
- Дороже и сложнее в разработке, чем МК
- Дополнение: на практике используют связки МК + ПЛИС

Лекция 5

Откуда берутся задержки

Выполнение команд

Каждая команда занимает определённое число тактов.

Преобразования

АЦП и ЦАП требуют времени на преобразование.

Передача данных

Время зависит от скорости интерфейса и длины пакета.

ОС и прерывания

Диспетчер и обработчики добавляют задержку.

Лекция 5

Задержка выполнения кода

$$t = N / f$$

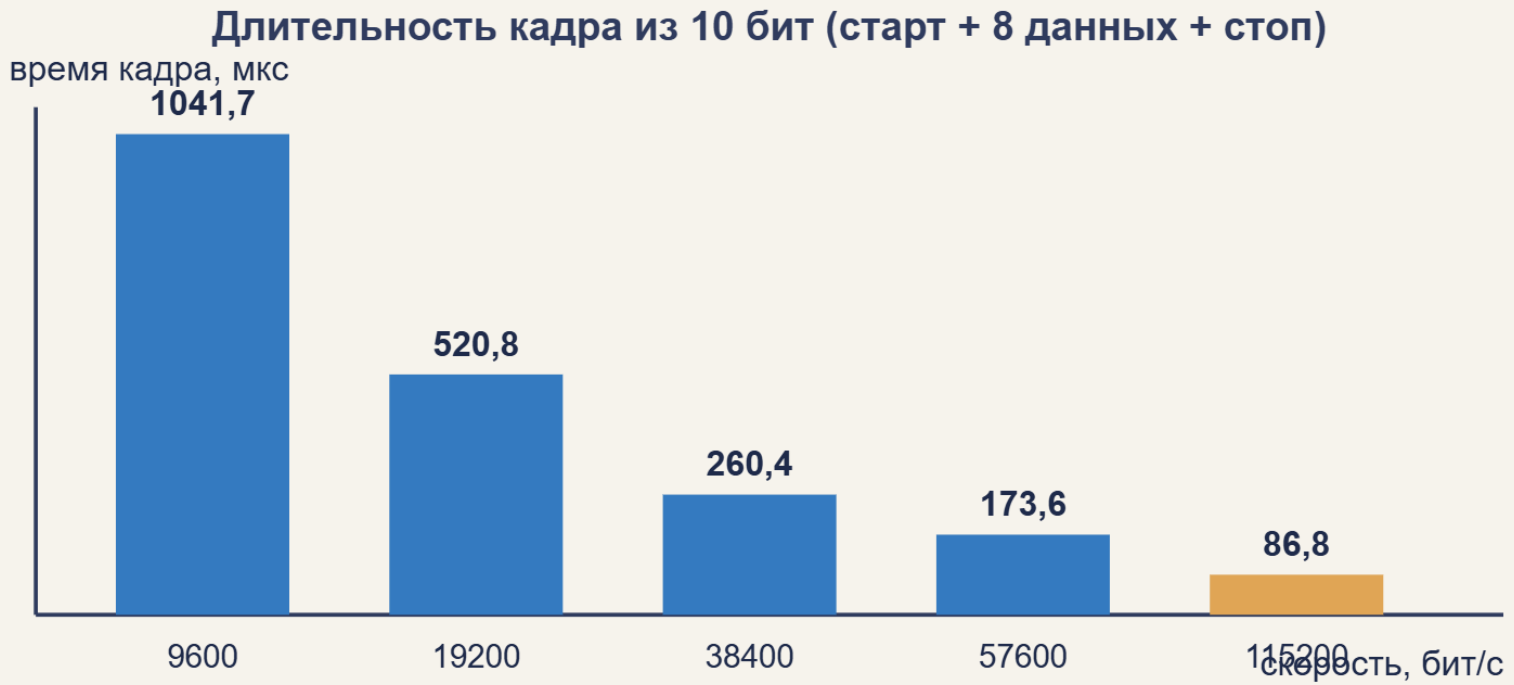
N – число тактов, f – тактовая частота. Пример: при f = 240 МГц (ESP32) один такт длится около 4,2 нс, функция delay(500) вносит паузу в 500 мс.

Лекция 5

Время преобразования АЦП и частота дискретизации

- Время преобразования T — от долей мкс до миллисекунд
- Максимальная частота дискретизации: fmax = 1 / T
- Пример: T = 22,7 мкс → fmax ≈ 44 кГц
- Теорема Котельникова: частота дискретизации не меньше удвоенной максимальной частоты сигнала

Время передачи по RS-232



Лекция 5

Как считать длительность пакета

- Длительность бита: Tbit = 1 / скорость
- Кадр: 1 старт + 8 данных + 1 стоп = 10 бит
- Пример: 115 200 бит/с → Tbit ≈ 8,68 мкс, кадр ≈ 86,8 мкс
- Пакет из 20 байт → около 1,74 мс
- Скорость в бодах равна бит/с при двухуровневом коде

Лекция 5

Прерывания и время реакции

Прерывание: основной цикл приостанавливается и затем продолжается



время реакции = задержка входа в ISR + время работы ISR

Лекция 5

Измерение времени в программе

```
unsigned long t0 = micros();
doWork();                   // измеряемый участок
unsigned long dt = micros() - t0;
Serial.println(dt);         // время в мкс
```

Лекция 5

Вопросы и задачи

- Назовите три требования к МК-технике реального времени
- Почему ПЛИС дают более стабильную задержку, чем МК?
- Найдите время передачи 50 байт при 57 600 бит/с (10 бит на байт)
- АЦП имеет время преобразования 10 мкс. Какая максимальная частота дискретизации?

Лекция 5

Итоги лекции

- Время реакции — ключевая характеристика АСУ реального времени
- Задержки возникают при выполнении, преобразовании и передаче
- Прерывания сокращают время реакции
- Для расчётов нужны тактовая частота, время АЦП и скорость интерфейса

Лекция 5

Источники и дополнительные материалы

- IEC 61131-3 – международный стандарт языков программирования ПЛК
- Siemens: документация TIA Portal и LOGO! (support.industry.siemens.com)
- Espressif: ESP32 Technical Reference Manual (docs.espressif.com)
- Arduino Language Reference (arduino.cc/reference)