

Программирование микроконтроллеров: Лекция 1. Схемотехника цифровых устройств

Колесников Никита Сергеевич

БФУ им. И. Канта

17 января 2022

Интегральные микросхемы

Интегральная (микро)схема (ИМС, IC=Integrated Circuit) - электронная схема произвольной сложности (кристалл), изготовленная на полупроводниковой подложке (пластине или пленке) и помещенная в неразборный корпус или без такового.



DIP18



LQFP32



SOIC8



TO-220

Примеры корпусов микросхем

Функциональное назначение ИМС

Аналоговые ИМС (*пример*):

- ▶ Стабилизаторы тока, напряжения (*78L05=KP142EH5*)
- ▶ Усилители низкой (=звуковой) частоты (УНЧ=УЗЧ) (*LM386*)
- ▶ Драйверы управления строчной, кадровой разверткой аналогового ТВ
- ▶ Операционные усилители (можно использовать и в цифровых схемах) (*LM358*)
- ▶ ШИМ-контроллеры (*UC3843*)

Функциональное назначение ИМС

Цифровой сигнал - это сигнал, имеющий два стабильных уровня - "логического нуля" и "логической единицы".

Обрабатывают цифровой сигнал цифровые ИМС (*пример*):



- ▶ Логика=Logic gates (*CD4011=K561ЛА7*)
- ▶ Триггеры=Flip flops (*CD4013=K561ТМ2*)
- ▶ Счетчики=Counters (*CD4017=K561ИЕ8*)
- ▶ Мультиплексоры=Multiplexers (*CD4052=K561КП1*)
- ▶ EEPROM=ЭСППЗУ (*24С64*)
- ▶ Интерфейсы RS232 (*MAX232*), Ethernet, USB, ...
- ▶ **Микроконтроллеры** (*PIC16F84A*), микропроцессоры

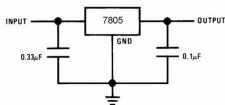
Технология производства цифровых ИМС

- ▶ **ТТЛ** = Транзисторно-транзисторная логика
- ▶ **Ш** = Диод Шоттки
- ▶ **КМОП** = Комплементарные металл-оксид-полупроводник

	ТТЛ (TTL)	ТТЛШ (TTL high-speed)	КМОП (CMOS)	Быстродейств. КМОП (CMOS High-speed)
Серии микросхем	K155 (74)	K555, K1533 (74LS)	K561, K176 (CD40, H4000)	KP1554 (74AC, 74HC)
Макс. частота, МГц	15	50 ... 70	1 ... 5	50 ... 150
Упит, В	5 ± 0.5	5 ± 0.5	3 ... 15	2 ... 6
Ток без нагрузки, мА	20	4 ... 40	0.002 ... 0.1	0.002 ... 0.1
Лог. 0, В	0.4	0.5	≤ 0.1	≤ 0.1
Лог. 1, В	2.4	2.7	$\approx U_{пит}$	$\approx U_{пит}$

Питание схем с КМОП и ТТЛ логикой

Обозначение	Земля (U=0 Вольт)	Питание
	GND (на всю схему)  ($AGND$ - аналоговая)  ($DGND$ - цифровая)	$+V$ $+U$
CMOS	V_{SS}	V_{DD}
TTL	V_{EE}	V_{CC}



INPUT = +7.5 ... + 35V unstable
OUTPUT = +5V to IC's V_{DD} or V_{CC}

Что представляет собой микроконтроллер?

Микроконтроллер = процессор + память (ОЗУ и/или ПЗУ)
+ периферийные устройства

Для справки:

Патент на однокристальную микроЭВМ был выдан в 1971 г. инженерам М. Кочрену и Г. Буну, сотрудникам американской TI (Texas Instruments).

Микросхема 4004 выпускалась в корпусе DIP16, площадь кристалла $< 1\text{см.}^2$, выполняла 60 тыс. операций в секунду (сравн., один из первых электронных компьютеров ЭНИАК выполнял 5000 инструкций/сек., занимал площадь 278.7м.^2 и весил 30 тонн).



Архитектура микроконтроллеров

Большинство современных микроконтроллеров имеют
Гарвардскую архитектуру

Архитектура микроконтроллеров

Большинство современных микроконтроллеров имеют **Гарвардскую архитектуру** и содержат на кристалле три вида памяти:

- ▶ FLASH - память программ;
- ▶ SRAM (Static Random Access Memory) - оперативная память;
- ▶ EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) - энергонезависимая память.

Память программ

- ▶ Технологически FLASH \subset EEPROM, обычно гарантируется не менее $> 10'000$ циклов перезаписи;
- ▶ FLASH обычно допускает внутрисхемное программирование, но стирать ее "изнутри программы" затруднительно;
- ▶ может поддерживать команды с разрядностью > 8 бит;
- ▶ иногда память программ разделена на секцию загрузчика (**Boot Program**) и секцию прикладных программ (**Application Program**);
- ▶ память программ – память с последовательным доступом. Для адресации используется счетчик команд **Program Counter (PC)**;
- ▶ FLASH хранит **вектор сброса** (адрес, с которого МК начинает работу) и таблицу **векторов прерываний** - адреса команд, на которые переходит МК при наступлении некоторого события;
- ▶ FLASH может хранить константы.

Оперативная память SRAM

- ▶ Технологически SRAM - энергозависимая память с произвольным доступом;
- ▶ Оперативная память, как правило, содержит 3 области:
 - ▶ **Регистры общего назначения** – содержат данные, обрабатываемые АЛУ (арифметико-логическим устройством процессора);
 - ▶ **Служебные регистры** – предназначены для задания параметров работы МК и периферии;
 - ▶ Память для хранения пользовательских данных.
- ▶ Разрядностью микроконтроллера обычно называется разрядность указанных регистров памяти SRAM. Мы будем рассматривать 8-битные микроконтроллеры. Это означает, что по одному адресу оперативной памяти хранится 8-битное число [0 . . . 255].

Энергонезависимая память данных EEPROM

- ▶ Технологически EEPROM – энергонезависимая память с произвольным доступом;
- ▶ Возможна перезапись EEPROM командами процессора, однако гарантируется не менее 100'000 циклов перезаписи;
- ▶ Обычно используется для хранения настроек и конфигурации программы;
- ▶ Запись и чтение EEPROM осуществляется с помощью служебных регистров SRAM:
 - ▶ Регистра адреса EEPROM;
 - ▶ Регистра данных, считанных или записанных в EEPROM;
 - ▶ Регистра управления чтением-записью данных.

Процессор и его тактирование

- ▶ Процессор выполняет одну инструкцию, расположенную в памяти программ по адресу счетчика **Program counter**, затем инкрементирует счетчик. Количество выполняемых операций в секунду называется **тактовой частотой**.
- ▶ Тактовую частоту задает **сигнал тактирования (clock signal)** – меандр, переключающийся между уровнями логического нуля и единицы с фиксированной частотой.

Процессор и его тактирование

- ▶ Процессор выполняет одну инструкцию, расположенную в памяти программ по адресу счетчика **Program counter**, затем инкрементирует счетчик. Количество выполняемых операций в секунду называется **тактовой частотой**.
- ▶ Тактовую частоту задает **сигнал тактирования (clock signal)** – меандр, переключающийся между уровнями логического нуля и единицы с фиксированной частотой.

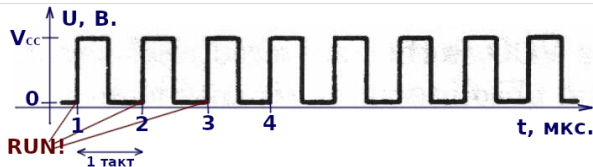
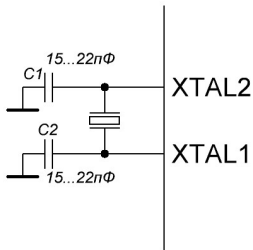


Рис. Тактовый сигнал с периодом $T = 1$ мкс., частотой $f = 1$ МГц

Источники тактового сигнала

- ▶ Некоторые МК имеют встроенный *RC*-генератор, его можно включить с помощью соответствующего служебного регистра из SRAM. Однако его частота может меняться в зависимости от температуры кристалла.
- ▶ Чтобы стабилизировать частоту, используют внешнее тактирование. Тактовый сигнал генерируют с помощью **кварцевого резонатора**.



Периферийные устройства МК

- ▶ Порты ввода-вывода (I/O Ports);
- ▶ прерывания (interruptions);
- ▶ таймеры и счетчики (counters), сторожевой таймер (watchdog timer);
- ▶ аналоговый компаратор;
- ▶ аналого-цифровой преобразователь (АЦП=ADC);
- ▶ внутренний тактовый генератор;
- ▶ генератор ШИМ;
- ▶ внешние интерфейсы: UART, SPI, I2C,...

Производители 8-битных МК: PIC Microchip

	Baseline Architecture	Mid-Range Architecture	Enhanced Mid-Range Architecture	PIC18 Architecture
Pin Count	6-40	8-64	8-64	18-100
Interrupts	No	Single interrupt capability	Single interrupt capability with hardware context save	Multiple interrupt capability with hardware context save
Performance	5 MIPS	5 MIPS	8 MIPS	Up to 16 MIPS
Instructions	33, 12-bit	35, 14-bit	49, 14-bit	83, 16-bit
Program Memory	Up to 3 KB	Up to 14 KB	Up to 28 KB	Up to 128 KB
Data Memory	Up to 134B	Up to 368B	Up to 1.5 KB	Up to 4 KB
Hardware Stack	2 level	8 level	16 level	32 level
Features	<ul style="list-style-type: none"> • Comparator • 8-bit ADC • Data Memory • Internal Oscillator 	In addition to Baseline: <ul style="list-style-type: none"> • SPI/I²C™ • UART • PWMs • LCD • 10-bit ADC • Op Amp 	In addition to Mid-Range: <ul style="list-style-type: none"> • Multiple Communication Peripherals • Linear Programming Space • PWMs with Independent Time Base 	In addition to Enhanced Mid-Range: <ul style="list-style-type: none"> • 8x8 Hardware Multiplier • CAN • CTMU • USB • Ethernet • 12-bit ADC
Highlights	Lowest cost in the smallest form factor	Optimal cost to performance ratio	Cost effective with more performance and memory	High performance, optimized for C programming, advanced peripherals
Total Number of Devices	16	58	29	193
Families	PIC10, PIC12, PIC16	PIC12, PIC16	PIC12F1XXX, PIC16F1XXX	PIC18

Средства программирования и отладки МК

	PIC	AVR	STM8/32
IDE	MPLab X MikroC	WinAVR MikroC	IAR Embedded Workbench STVD
Compilers	XC8 - C++ MPASM (Assembler) MicroC (C, C++)	GCC (C, C++) MikroC (C, C++)	Cosmic C Compiler CXSTM8 (C, C++) IAR (C, C++)
Programmer Debugger	PICKit (ISP, JTAG)	AVR-ISP, JTAG	ST-Link (SWIM Interface)
Proteus simulator	+	+	-

Free or free limited / Commercial