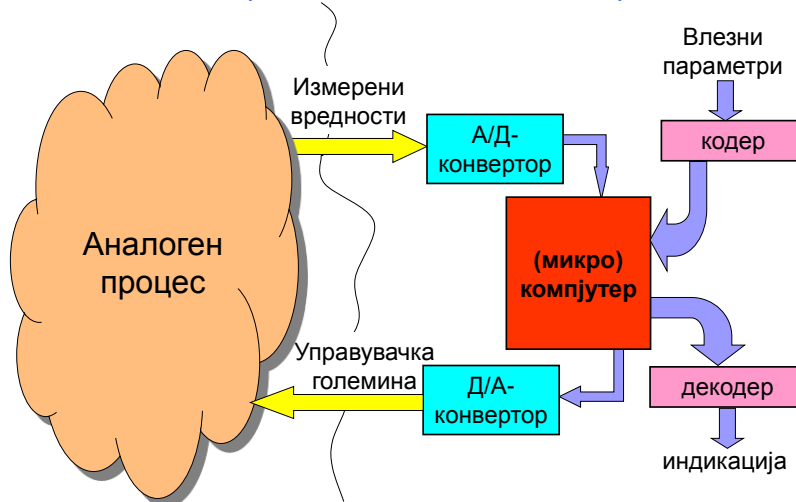


# Системи со дигитални и комбинирани сигнали (микрокомпјутери, A/D, D/A)

Проф. д-р Јосиф Ќосев  
Доц. д-р Томислав Карталов

(во соработка со проф. д-р Методија Камиловски)

## Аналогна околина / дигитален систем (тек на податоците)

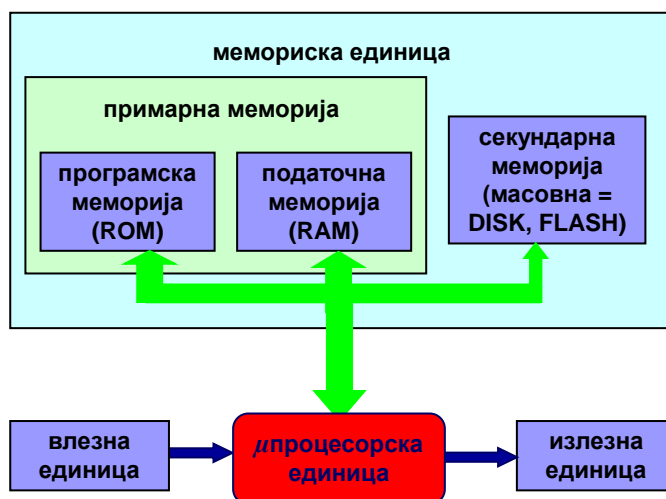


## Системи за дигитални и аналогни сигнали (комбинирани)

- Аналогниот и дигиталниот „свет“ се поврзани преку A/D и D/A конверторите
- Централниот дел во дигиталните системи денес е редовно (микро)компјутер
- Интеракцијата на човекот со (микро)компјутерот се остварува преку
  - Влезна единица (за поставување параметри)
  - Излезна единица (за следење на работата преку индикатори/дисплеи)

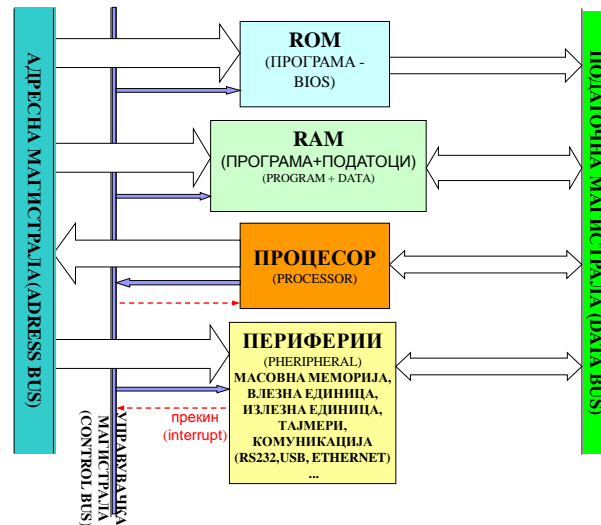
Електроника, 3ФЕИТ053018

## Општа структура на дигитален компјутер (компоненти)



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Магистрална градба на дигитален компјутер (движење на податоците)



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Магистрали

- „Снопови жици“ по кои „патуваат“ битовите во вид на импулси
- Податочна
  - Пренесува податоци (што се обработуваат и/или инструкции)
- Адресна
  - Пренесува податоци за тоа каде се наоѓаат податоците што треба да ги пренесе податочната магистрала (адреси)
- Управувачка (control)
  - Пренесува податоци за тоа што да се направи со податоците (запис, читање)
  - Прекин = „свонче“ за процесорот дека има податок за влез/излез

Електроника, 3ФЕИТ053018

## Податоци

- Низи од битови (дигитални зборови) што имаат некакво значење за нас (носат информација)
  - Адреси = податоци за тоа каде се наоѓаат податоците
  - Програма = податоци за тоа што да се направи со податоците
- Кодирање на податоците
  - BCD
  - Бинарен
    - Без знак, со знак (2-комплемент)
    - Целобројни, со фиксна точка, со плочечка точка (FLOAT)
  - ASCII и UNICODE за кодирање азбуки и интерпункција

Електроника, ЗФЕИТ053018

## Големина на збор (информативно)

- 4-бита = нибл (nibble)
- 8-бита = бајт (byte)
- 16-бита = збор (word)
- 32-бита = збор (word / doubleword)
- 64-бита = збор (word / doubleword / quadword)
- Внимание! **word** зависи од процесорот (16,32,64 – битен) варијации: halfword =16, doubleword=64

Електроника, ЗФЕИТ053018

## Броеви со знак (информативно)

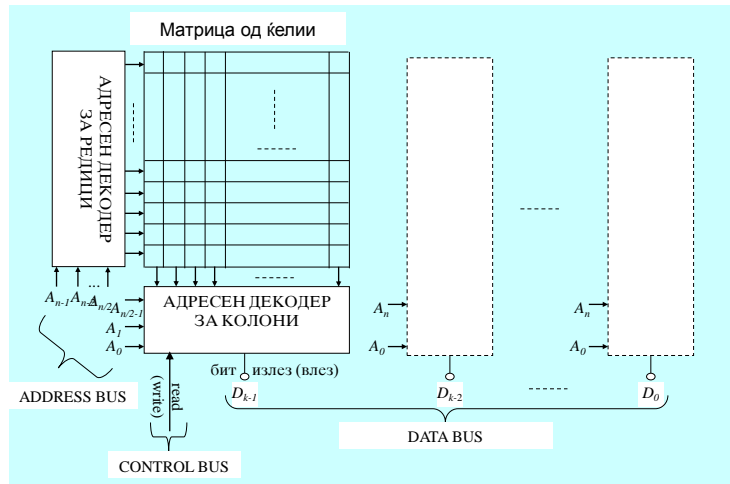
- Знак и големина (SM) ...
- 2-комплемент (!)
  - Најзначајниот бит за знак ( $1 \Rightarrow$  знак минус)
  - Добивање спротивен знак = комплентирање на сите битови и додавање 1. Пример со 8 бита:
    - $5 = 00000101_{(2)}$ ,  $-5 = 11111010 + 1 = 11111011_{(2)}$
    - $-(-5) = 00000100 + 1 = 00000101_{(2)}$
  - Знакот при собирање автоматски се добива. Пример со 8 бита:
    - $5 + (-6) = 00000101 + 11111010 = 11111111_{(2)} = -1$
  - Опсег на вредности:  $-2^{n-1}$  до  $2^{n-1}-1$  (8 бита: -128 до 127)
- Фиксна точка – само договор дека вредностите се сметаат поделени со  $2^k$  (последните k-бита се „бинарни децимали“)
  - Целобројни  $\Leftrightarrow$  со фиксна точка крајно десно

Електроника, ЗФЕИТ053018

## ■ КОМПОНЕНТИ НА ДИГИТАЛНИТЕ СИСТЕМИ

Електроника, ЗФЕИТ053018

## Генерална структура на меморија (2D)



Електроника, 3ФЕИТ053018

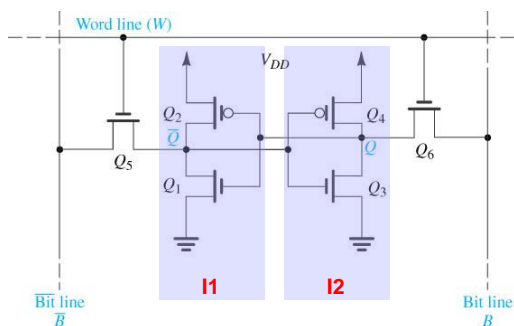
## Генерална структура на меморија (2D)

- За меморирање  $k$ -битни зборови потребни се  $k$  матрици од основни мемориски ќелии.
- Преку соодветните **декодери**, пониските адреси селектираат **колона**, а повисоките селектираат **редица** од матрицата. Така адресираат една ќелија.
- За поврзување со податочната магистрала постојат **трисостојбени бафери/засилувачи**.
  - За читање тие пропуштаат/засилуваат од битската колона кон магистралата, а за запишување – обратно.
  - Кога управувачката магистрала не ги селектира, баферите се во состојба на **висока имеданса**.

Електроника, 3ФЕИТ053018

## RAM меморија

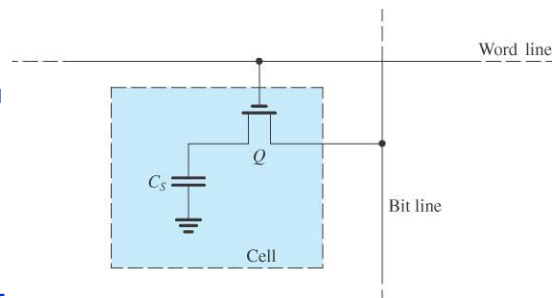
- Постои **статички** и **динамички** RAM.
- Ќелиите кај статичкиот RAM се CMOS **S-R** **лечеви** составени од два инвертори (**I1** и **I2**).



Електроника, 3ФЕИТ053018

## RAM меморија

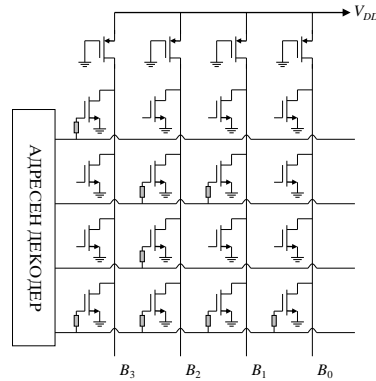
- Кај динамичкиот RAM ќелиите се состојат од еден **транзистор** и еден **кондензатор**.
- „1“ = полн кондензатор
- Бидејќи кондензаторот постепено се празни, битовите мора периодично **да се освежуваат** со читање и презапишување. (посебна логика во RAM-от.)



Електроника, 3ФЕИТ053018

## ROM меморија (CMOS)

- Современите ROM мемории содржат **декодер и кодер** изработени со мосфети.
- Гејтовите на pmos транзисторите може да бидат поврзани или откачени од линиите на декодерот според битот што треба да го меморираат (0 или 1).
- Pmos транзисторите секогаш водат и ги држат излезните линии високо, но се „**послаби**“ од nmos транзисторите.
- Декодерот го „прозива“ зборот од одредена редица, а pmos транзисторите одредуваат која колона ќе биде 0.
- Мосфетите може да бидат „програмира-ни“ фабрички (**mask ROM**) или од корисникот (**PROM**) – со посебен програматор.
  - Кај PROM-от врските се всушност мосфети во улога на т.н. **антиосигурувачи** (antifuse) со чие „горење“ (пробив со пренапон низ посебно коло) се **воспоставуваат** споевите кон гејтовите.

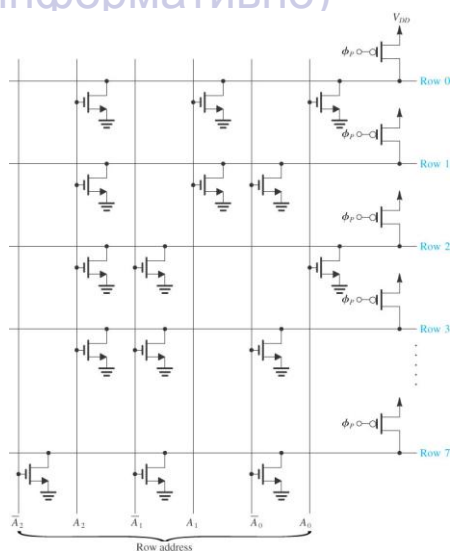


Пример: ROM со капацитет 4 нибла

Електроника, 3ФЕИТ053018

## ROM меморија (информативно)

- Ако декодерот е направен од ожичени НИЛИ-кола (wired NOR) тогаш се нарекува **NOR-меморија**.
- Принципот на работа е како кај кодерот (претходниот слајд)
  - Сега влезови се адресите, а излези линиите за редици



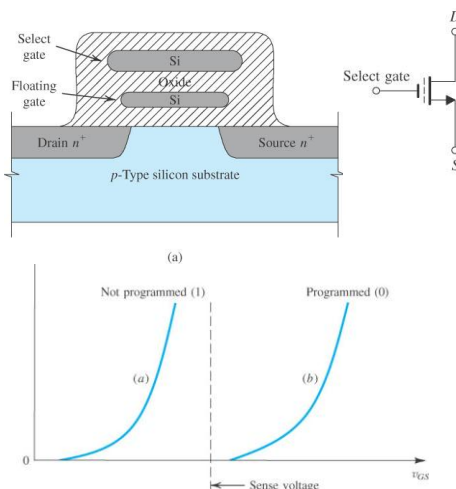
Пример: NOR декодер 3-на-8

Електроника, 3ФЕИТ053018



## (E)EPROM меморија (информативно)

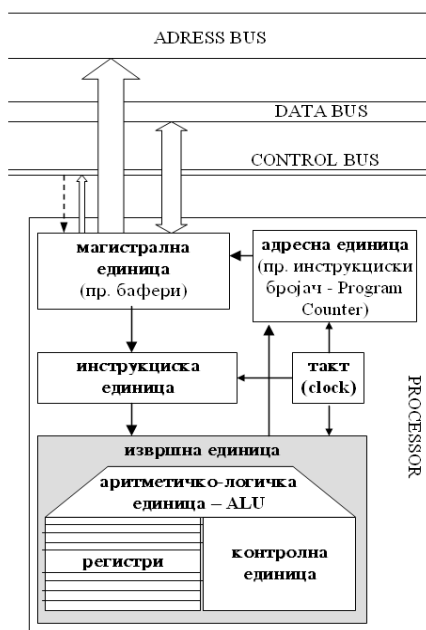
- (E)PROM меморијата ги содржи сите мосфети во кодерот и сите имаат **двоен гејт**.
- **Програмирањето** се состои во уфрлање електрони низ оксидот во изолираниот (**пловечки**) гејт со помош на повисок напон (12-25V) на селектирачкиот гејт.
- Полнежот спречува селектирачкиот гејт да го вклучи мосфетот (практично го „откачува“).
- **Бришењето** е отстранување на електроните:
  - EPROM: со **UV светлина**
  - EEPROM: со обратен напон од програмирањето
- Пловечкиот гејт го држи полнежот преку **100 години**.
- Бројот на пиши/бриши операции е ограничен (10000 пати)
- **NOR-FLASH** меморијата работи на истиот принцип



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Процесор

- Синхрона состојбена машина (конечен автомат)
  - Влез:
    - инструкции и податоци од меморијата и перифериите
    - такт
  - Излез:
    - податок кон меморијата/перифериите
  - Внатрешни состојби:
    - Програмски бројач
    - Регистри
  - Комбинациони мрежи:
    - Инструкциска единица (декодер)
    - Аритметичко-логичка единица (потполн собирач и друго)
    - Контролна единица (мултиплексери)



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Процесор (принцип на работа - информативно)

- Основни операции со податоците:
  - преместување,
  - споредба,
  - аритметички и логички операции.
- Под дејство на тактот програмскиот бројач генерира **адреси** за земање на програмските **инструкции** (**кодот**) од меморијата
- Инструкциската единица ги **декодира** и ги проследува до контролната единица
- Контролната единица:
  - Преку мултиплексерите **отвора пат** од регистрите кон ALU и од ALU кон регистрите,
  - Избира **операција** што ќе ја изведе **ALU**.
  - Со помош на **адресната** единица чита податок од меморијата во регистер и/или запишува податок од регистер во меморијата.
- Основен циклус на процесорот: **земи(инструкција)-декодирај-изврши** (fetch-decode-execute)

Електроника, 3ФЕИТ053018

## Процесор (програмирање) (информативно)

- Машински јазик (**machine language**) = (бинарен) код со кој се кодирани инструкциите
- Асемблер (**assembly language**) = текстуален израз за (мнемоничко) претставување на бинарниот код
  - Погодно за човечко разбирање
- Асемблер (**assembler**) = програма за преведување од текстуален израз (асемблерски јазик) во бинарен код (машински јазик)
- Преведувач (**compiler**) = програма за преведување од повисок јазик (на пр. C) во асемблерски јазик

Електроника, 3ФЕИТ053018

# Пример за елементарен микрокомпјутер (информативно)

- <http://courses.cs.vt.edu/csonline/MachineArchitecture/Lessons/CPU/Lesson.html>

The diagram illustrates a simple microcomputer architecture. It features a central processing unit (CPU) with the following components and connections:

- Instruction Register:** Receives instructions from the Program Counter and outputs to the Decoder.
- Program Counter:** Holds the current instruction address, initialized to 0. It outputs to the Multiplexer and the RAM.
- Decoder:** Receives control signals from the Instruction Register and outputs to the Multiplexer.
- Multiplexer:** Selects between the Instruction Register and the Program Counter to output to the Arithmetic / Logic Unit.
- Arithmetic / Logic Unit:** Performs operations on data from the Accumulator and outputs to the Accumulator.
- Accumulator:** Stores the result of operations performed by the Arithmetic / Logic Unit.
- RAM:** Random Access Memory, consisting of 16 cells (0-15). It is connected to the Program Counter and the Data Bus.

The CPU is connected to a 16-pin bus system:

- Data Bus:** Represented by a blue line, connecting the Instruction Register, Decoder, Multiplexer, Arithmetic / Logic Unit, Accumulator, and RAM.
- Address Bus:** Represented by a green line, connecting the Program Counter and RAM.
- Control Bus:** Represented by an orange line, connecting the Instruction Register, Decoder, and Multiplexer.

The diagram illustrates a simple computer architecture with the following components and connections:

- Instruction Register:** Receives control signals and provides data to the Decoder and Multiplexor.
- Program Counter:** Receives address signals and provides data to the Multiplexor. It includes a counter labeled 'n=1'.
- Decoder:** Receives control signals and provides data to the Multiplexor.
- Multiplexor:** Receives data from the Instruction Register, Program Counter, and Decoder. It provides data to the Arithmetic / Logic Unit.
- Arithmetic / Logic Unit:** Receives data from the Multiplexor and provides data to the Accumulator.
- Accumulator:** Receives data from the Arithmetic / Logic Unit and provides data to the Data Bus.
- RAM:** A memory unit with 16 locations (0-15). It receives address signals and provides data to the Data Bus.

**Legend:**

- Data Bus
- Address Bus
- Control Bus

Электроника. 3ФЕИТ053018

[illegible]

The diagram illustrates a computer architecture with the following components and connections:

- Control FSM:** A block on the left that provides control signals to the ALUs and registers.
- Top ALU:** Receives 16-bit inputs from the **REG** and **AC** registers. It outputs an 8-bit **Z** flag and an **N** flag. It also receives an **OP** (operation) signal.
- Bottom ALU:** Receives 16-bit inputs from the **IR** and **PC** registers. It outputs a 16-bit result. It also receives an **OP** signal.
- Registers:**
  - REG (16-bit):** Receives data from the **load path** and outputs to the top ALU.
  - AC (16-bit):** Receives data from the **load path** and outputs to the top ALU.
  - IR (16-bit):** Receives data from the **store path** and outputs to the bottom ALU.
  - PC (16-bit):** Receives data from the **store path** and outputs to the bottom ALU.
- Memory Address Register (MAR):** Receives a 16-bit address from the **PC** register and outputs to the **Data Memory**.
- Data Memory (16-bit words):** Has **rd** (read) and **wr** (write) control signals. It outputs 16-bit data to the **store path**.
- Data Paths:**
  - load path:** Carries 16-bit data from the **Data Memory** to the **REG** and **AC** registers.
  - store path:** Carries 16-bit data from the top ALU to the **IR** and **PC** registers.

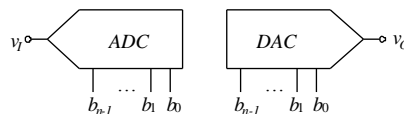
Электроника. 3ФЕИТ053018

## А/Д и Д/А конверзија

### ■ Симбол за конвертор

### ■ Параметри на конверторите:

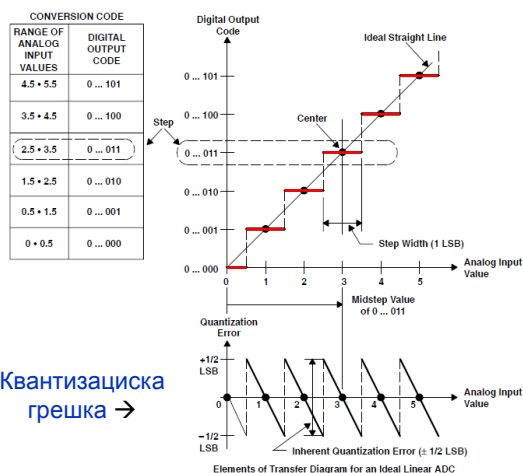
- Опсег на влезниот (излезни-от) напон  $FSR = \text{Full Scale Range}$  ( $\Delta V = V_{\max} - V_{\min}$ )
- Број на битови во дигиталниот збор ( $n$ )
- Резолуција – најмалата аналогна вредност што може да ја разликува [ $1\text{LSB} = \Delta V / (2^n - 1)$ ]
- Квантизациска грешка – разлика меѓу конвертираната вредност и точната (аналогната)



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Преносна карактеристика на А/Д конвертор (информативно)

### ■ Претставува низа од хоризонтални линии (скала)



Квантизациска грешка →

Електроника, 3ФЕИТ053018

## Преносна карактеристика на Д/А конвертор (информативно)

- Претставува низа од точки

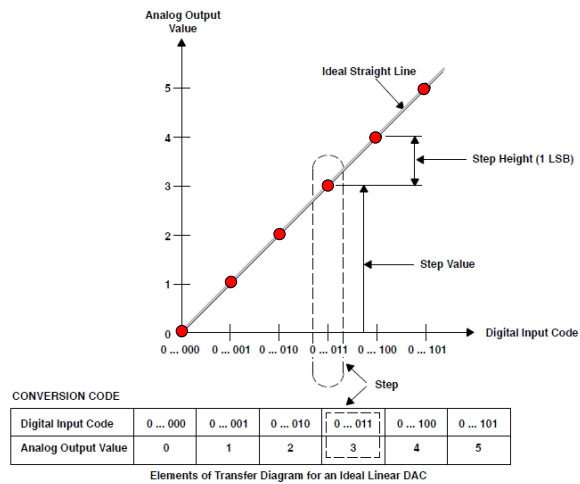
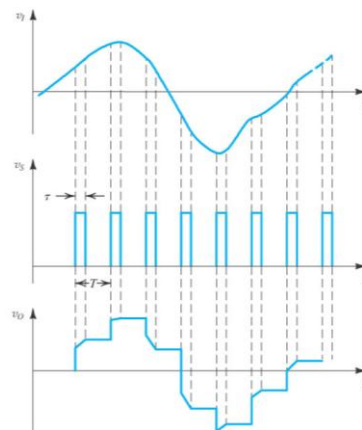
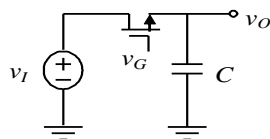


Figure 2. The Ideal Transfer Function (DAC)

Електроника, ЗФЕИТ053018

## Коло за земање примероци (sample-and-hold) (информативно)

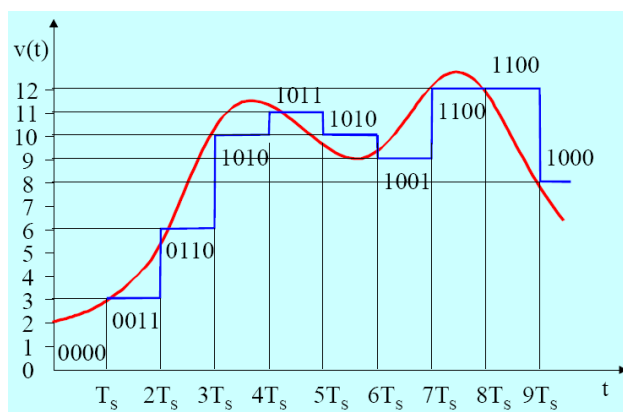
- Најелементарна структура:
  - Мосфет како прекинувач
  - Кондензатор
- Принципот на работа е видлив од дијаграмот
  - Кондензаторот треба да го следи влезот во многу кусо време, а потоа да држи додека А/Д конверторот ја изврши конверзијата.



Електроника, ЗФЕИТ053018

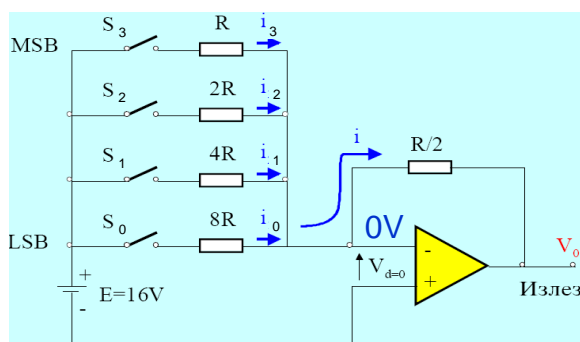
## Д/А-конвертор

- Излезот во време е дисконтинуирана (скалеста) линија
- Може да се додаде излезен филтер за „измазнување“



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Д/А-конвертор со тежинска мрежа (пр. четирибитен)



$$i_0 = \frac{16V}{8R} S_0$$

$$i_1 = \frac{16V}{4R} S_1$$

⋮

$S_k=0$  отворен

$S_k=1$  затворен

$$\text{Суматор: } i = (i_3 + i_2 + i_1 + i_0) = \frac{0 - V_o}{R/2} \Rightarrow$$

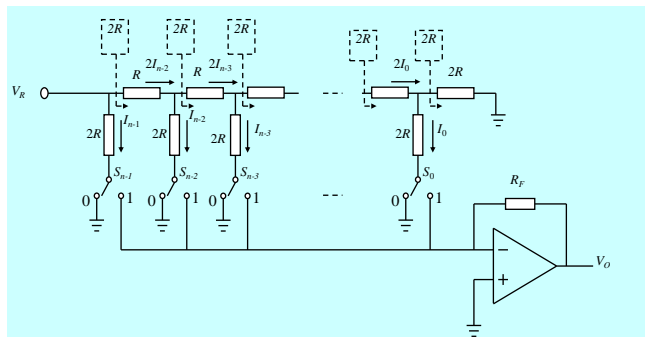
$$V_o = -\frac{R}{2} \cdot i = -(8S_3 + 4S_2 + 2S_1 + S_0) = \sum_{k=0}^3 2^k S_k \quad [V]$$

Електроника, 3ФЕИТ053018

## D/A конвертор со R-2R мрежа (информативно)

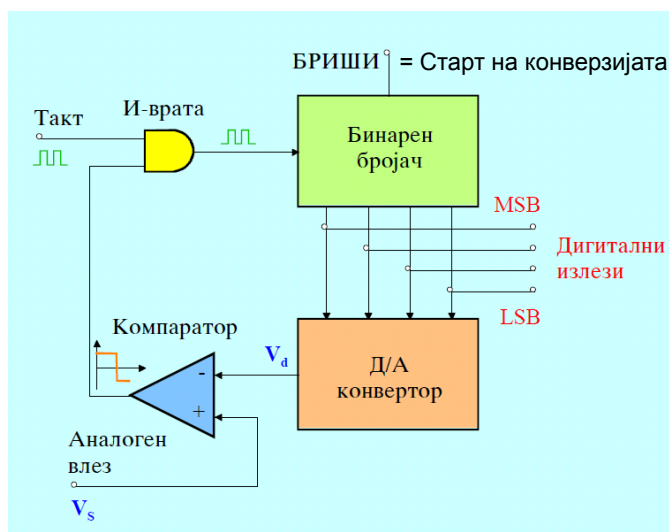
- Од секој јазел во R-2R отпорничката мрежа кон десно се гледа отпорност  $2R \Rightarrow$  струите низ вертикалните гранки се удвојуваат од десно кон лево.
- Бидејќи е  $I_{n-1} = V_R/2R$ , за излезниот напон се добива:

$$V_O = -R_F \cdot \sum_{k=0}^{n-1} I_k b_k = -\frac{V_R R_F}{2^n R} \sum_{k=0}^{n-1} 2^k b_k = -\frac{V_R R_F}{2^n R} \overline{b_{n-1} b_{n-2} \dots b_0} = K_1 \cdot B$$



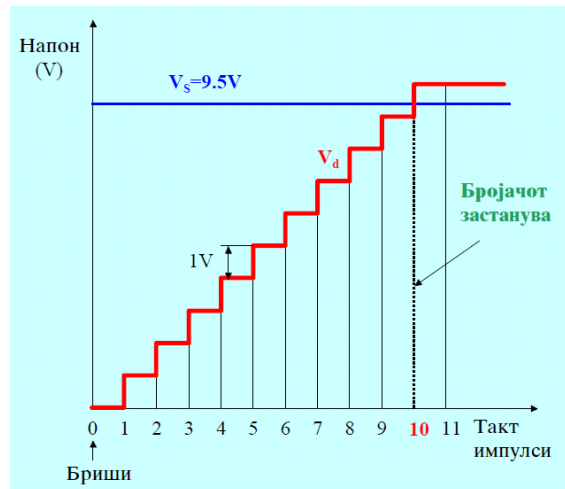
Електроника, 3ФЕИТ053018

## А/Д-конвертор со бројач и D/A конвертор



Електроника, 3ФЕИТ053018

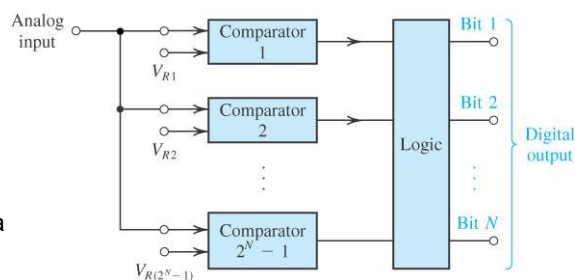
## А/Д-конвертор со бројач и D/A конвертор



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Паралелен А/Д-конвертор (flash)

- Содржи низа од  $2^n - 1$  компаратори.
- $V_{Ri}$  се добиваат со отпорнички делител со  $2^n$  отпорници.
- Приоритетниот (ен)кодер дава бинарен код со  $n$  бита.
- Има најголема брзина, но и најголема потрошувачка и комплексност при поголем број битови
- пр:  $2^8 = 256$  компаратори !



Електроника, 3ФЕИТ053018

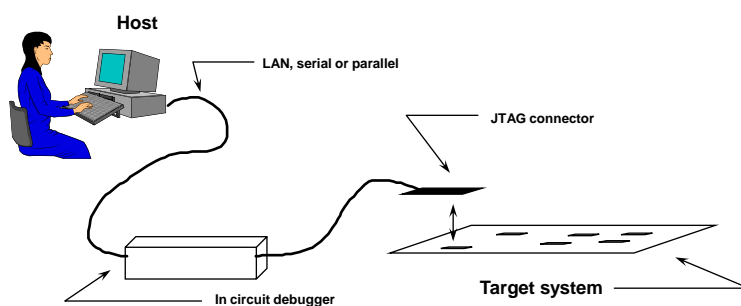


## Вгнездени (вградливи) системи (embedded systems - информативно)

- Системи кај кои микрокомпјутерот е „скриен“ (вграден) во склопот и извршува наменска функција.
- Примери:
  - Телевизор, аудиозасилувач, машина за перење, клима уред, микробранова печка, фотоапарат, ...
  - Автомобил (содржи преку 50 микроконтролери)
  - Мерни инструменти
  - ...
  - ...
- Денес практично не постои електронски уред без микрокомпјутер

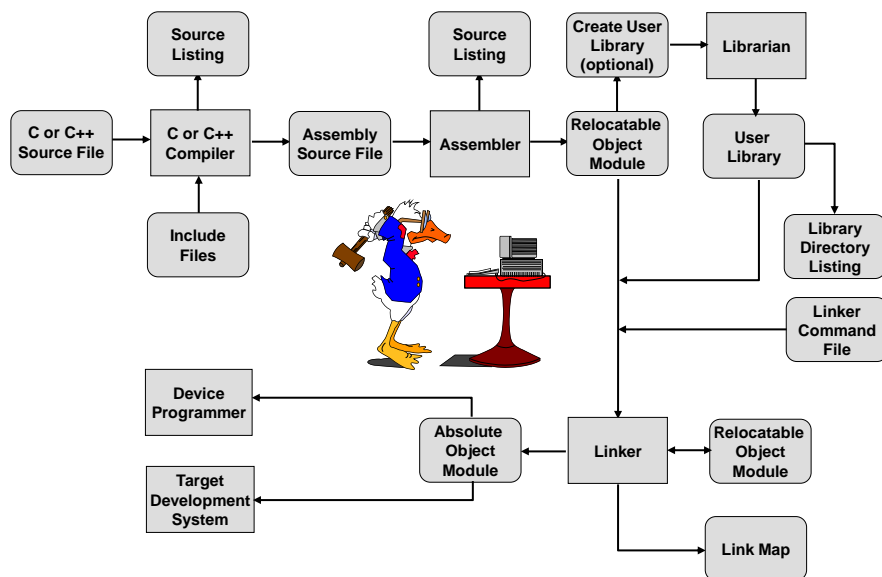
Електроника, 3ФЕИТ053018

## Развој на вгнездени системи (информативно)



Електроника, 3ФЕИТ053018

## Развој на софтвер за вгнездени системи (информативно)



Електроника, 3ФЕИТ053018