

## Projektovanje elektronskih kola

Prof. dr Predrag Petković,  
dr Miljana Milić

**Katedra za elektroniku  
Elektronski fakultet Niš**

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



1

## Projektovanje elektronskih kola

Literatura:

**V. Litovski**

*Projektovanje elektronskih kola*

**Simulacija**

**Optimizacija**

**Testiranje**

**Fizičko projektovanje**

**П. Петковић,**

*Пројектовање CMOS интегрисаних кола са мешовитим сигнаlima, Уводно поглавље, Електронски факултет.*

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



2

## Projektovanje elektronskih kola

Dodatna literatura:

П. Петковић, М. Андрејевић Стошовић,

М. Милић, Д. Мирковић,

*Практикум лабораторијских вежби из предмета Пројектовање електронских кола и Пројектовање дигиталних електронских кола, Поглавље Пројектовање електронских кола,*

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



3

## Projektovanje elektronskih kola

Kolokvijumi:

<b>VHDL</b>	<b>25%</b>	<b>poslednja neelja</b>	<b>mart</b>
<b>Spice</b>	<b>30%</b>	<b>poslednja neelja</b>	<b>april</b>
<b>Optimizacija</b>	<b>50%</b>	<b>poslednja neelja</b>	<b>maj</b>
<b>Prisustvo</b>	<b>5%</b>		

**50% ocene**

Projekat (ispit):

Zadatak **19.05** Odbrana **6 Juni**

**50% ocene**

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



4

## Projektovanje elektronskih kola

### Sadržaj:

1. Uvod - osnovni pojmovi
2. Stilovi projektovanja
3. Projektovanje digitalnih kola
4. Projektovanje analognih kola
5. Osnove fizičkog projektovanja (projektovanje štampanih ploča)



## Projektovanje elektronskih kola

### 1. Uvod - osnovni pojmovi

- 1.1 Definicija
- 1.2 Faze projektovanja
- 1.3 Projektovanje u užem smislu
- 1.4 Aspekti projektovanja



## Projektovanje elektronskih kola

### 2. Stilovi projektovanja i izrade prototipa

- 2.1 Stilovi projektovanja
- 2.2 Izbor stila projektovanja
- 2.3 Stilovi izrade prototipa



## Projektovanje elektronskih kola

### 3. Projektovanje digitalnih kola

- 3.1 Osnovi VHDL
- 3.2 Faze projektovanja digitalnih
- 3.3 Sinteza
- 3.4 Verifikacija
- 3.5 Izrada prototipa



## Projektovanje elektronskih kola

### 4. Projektovanje analognih kola

- 4.1 Faze projektovanja analognih
- 4.2 Analiza kola
- 4.3 Optimizacija
- 4.4 Izrada prototipa



## Projektovanje elektronskih kola

### 5. Fizičko projektovanje

- 5.1 Šta su štampane ploče?
- 5.2 Tipovi štampanih ploča
- 5.3 Projektovanje štampane ploče
- 5.4 Izazovi fizičkog projektovanja
  - Integritet signala
  - Razvođenje napajanja
  - Temperaturski efekti



## 1. Osnovni pojmovi

### 1. Uvod - osnovni pojmovi

- 1.1 Definicija
- 1.2 Faze projektovanja
- 1.3 Projektovanje u užem smislu
- 1.4 Aspekti projektovanja



## 1.1 Definicija

**Projektovanje (el. kola) podrazumeva skup aktivnosti koje od opisa željene funkcije kola dovode do realizacije prototipa.**

**Rezultat ove aktivnosti jeste potpuna dokumentacijom neophodna da bi kolo ušlo u redovnu proizvodnju**



## 1.1 Definicija

### ▪ Kako se opisuje projekat?



### Šta je mobilni telefon?

To je sprava koja omogućava bežični telefonski razgovor i prenos poruka u digitalnom obliku.



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



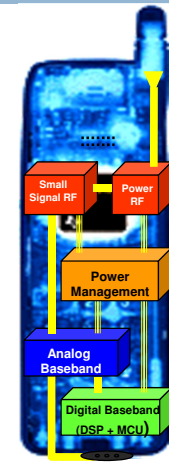
13

## 1.1 Definicija

### ▪ Kako se opisuje projekat?

### Šta je mobilni telefon?

To je sprava koja ima integrisani mikrofon, ADC, pojačavač, primopredajnik, DAC, antenu



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



14

## 1.1 Definicija

### ▪ Kako se opisuje projekat?

### Šta je mobilni telefon?

To je sprava od plastike, dimenzija 10x5x1 cm sa LCD ekranom i nekoliko tastera



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



15

## 1.1 Definicija

### ▪ Kako se opisuje projekat?

### DOMENI opisa projekta

1. Funkcionalni opis ⇔ Šta kolo/sistem radi (opis ponašanja)
2. Strukturni opis ⇔ Čime se ostvaruje
3. Fizički opis ⇔ Kako izgleda

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



16

## 1.1 Definicija

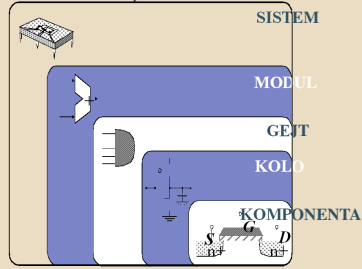
### ▪ Kako se opisuje projekat?

#### NIVOI opisa projekta

Zavise od toga ŠTA opisujemo

Digitalni sistem (PC ili digitalno kolo)

1. **Sistemske**
2. **Algoritamske**
3. **RTL**
4. **Logičke**
5. **Električne**



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.

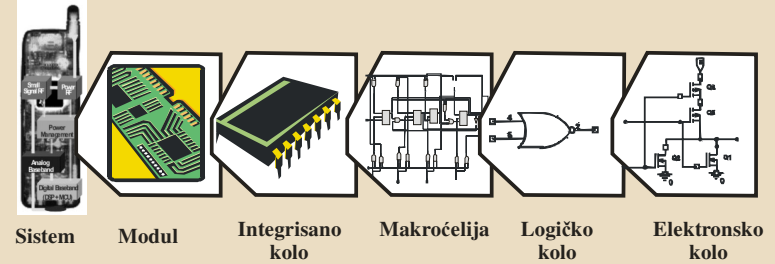


17

## 1.1 Definicija

### ▪ Kako se opisuje projekat?

#### NIVOI opisa projekta



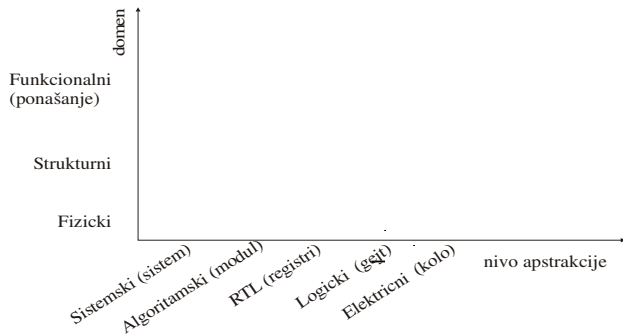
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



18

## 1.1 Definicija

### ▪ Ravan projektovanja između ose domena i ose nivoa (apstrakcije)



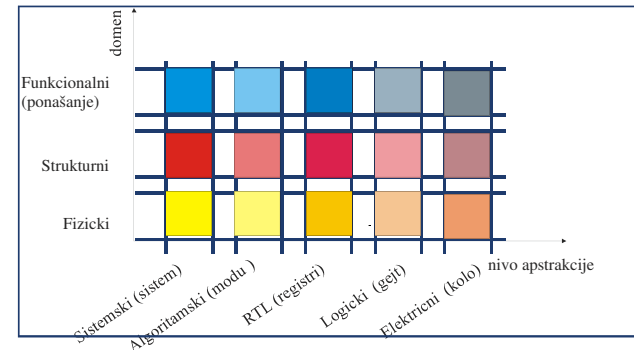
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



19

## 1.1 Definicija

### ▪ Ravan projektovanja između ose domena i ose nivoa (apstrakcije)



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



20

## 1.1 Definicija

Nivo	Sistemska (arhitekturni)	Algoritamski	RTL	Logički	Električni	
Domeni	ponašanje	Prenos procesa	Ulaz/ izlaz	Prenos na nivou registara	Logičke jednačine, tablice	Jednačine kola
	struktura	Procesori, memorije, kontroleri, magistrale	ALU, Memorije, portovi, procesori,	Sabirači, množači, magistrale, multiplekseri, registri	kombinaciona kola (OR, NOR, AND, NAND,...), Sekvencijalna kola (flip-flopovi)	Tranzistori i veze (električna šema)
	fizički	Kutije, kablovi, štampane ploče	Ploče, čipovi	Integrirana kola, složene ćelije	lejaut ćelija	lejaut tranzistora i veza

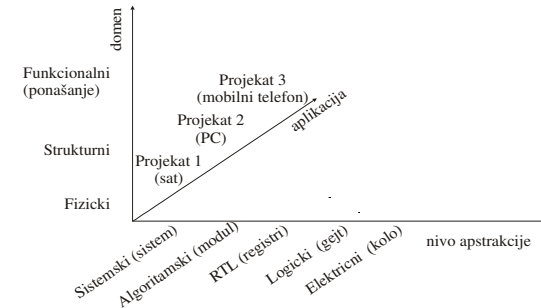
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



21

## 1.1 Definicija

- Dodavanjem ose aplikacije, ravan prerasta u prostor projektovanja



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



22

## 1.1 Definicija

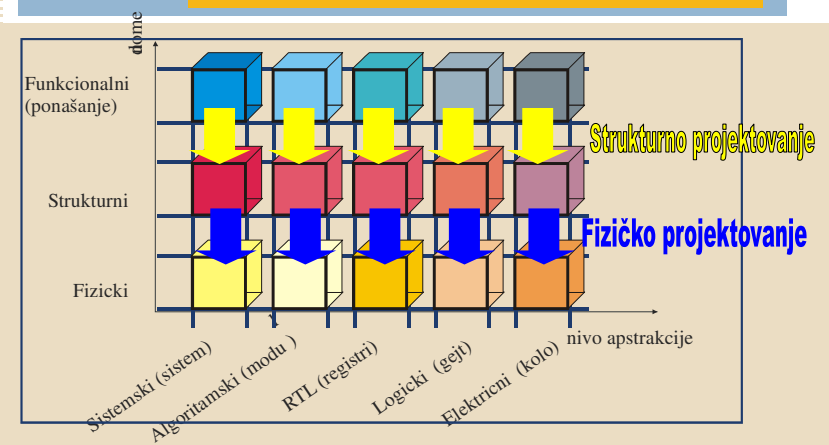
- Projektovanje predstavlja kretanje kroz projektni prostor
  - Prelazak iz opisa ponašanja u strukturni opis predstavlja strukturno projektovanje
  - Prelazak iz strukturnog u fizički je fizičko projektovanje

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



23

## 1.1 Definicija

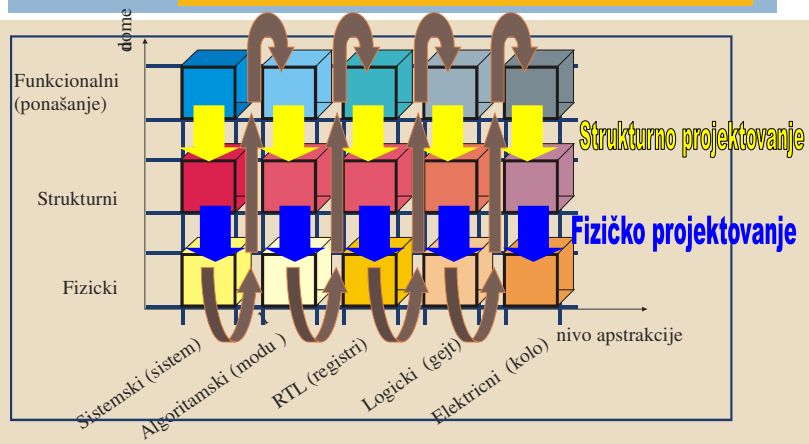


LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>



24

## 1.1 Definicija

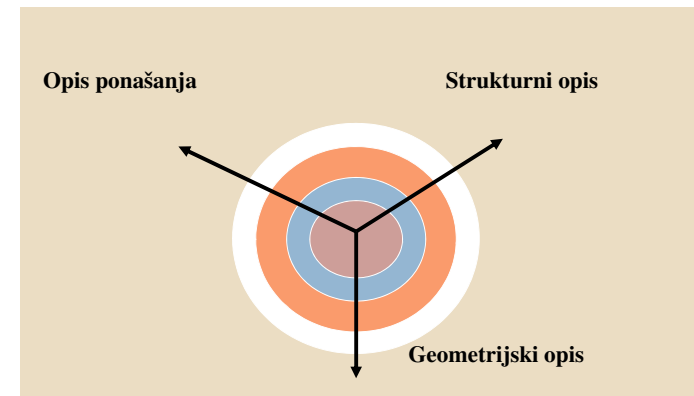


LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>



25

## 1.1 Definicija

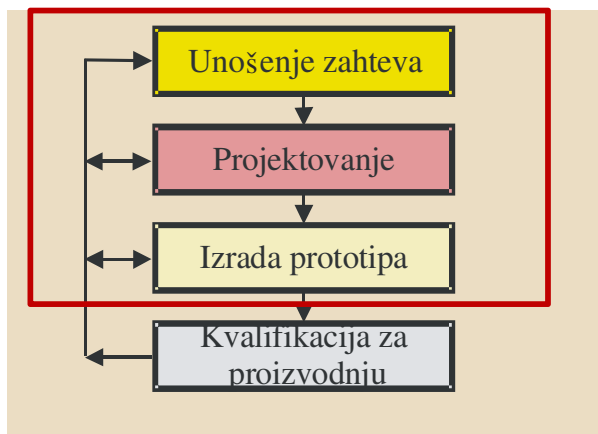


LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



26

## 1.2 Faze projektovanja

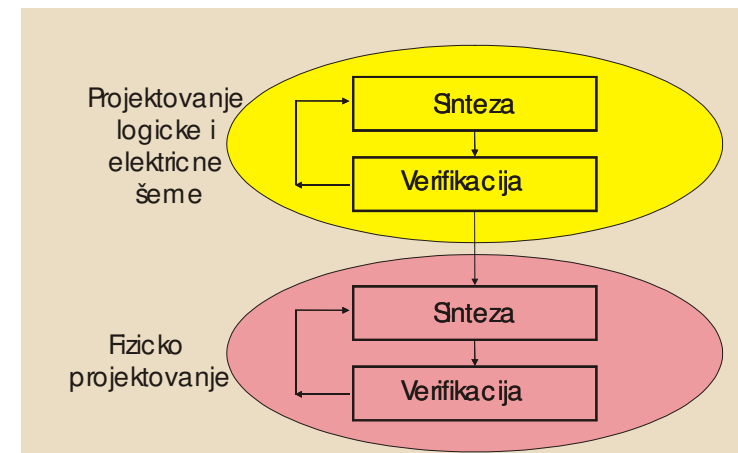


LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



27

## 1.3 Projektovanje u užem smislu



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.

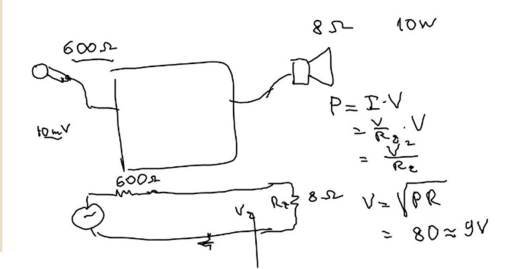


28

## 1.1 Definicija

Čime ćemo se mi baviti?

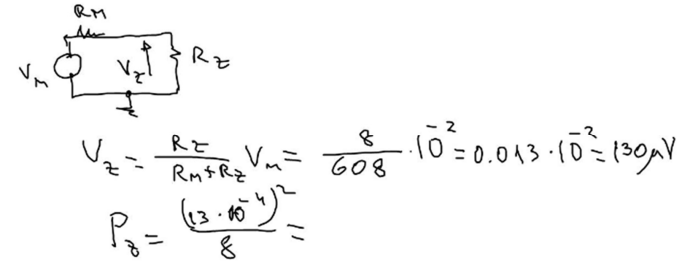
Projektovati kolo koje će omogućiti da na zvučniku  $8\Omega$  dobijemo  $10W$  ako je pobuda iz mikrofona  $600\Omega$ .



## 1.1 Definicija

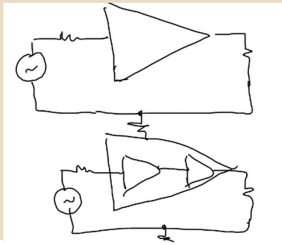
Čime ćemo se mi baviti?

Ako ih direktno vezemo na zvučniku se dobija:



## 1.1 Definicija

O pojačavačima smo učili iz Osnova elektronike. Treba nam neki pojačavač, da pojača signal. Najverovatnije nam treba dvostepeni, prvi da pojača, a drugi da „prilagodi“ impedansu.

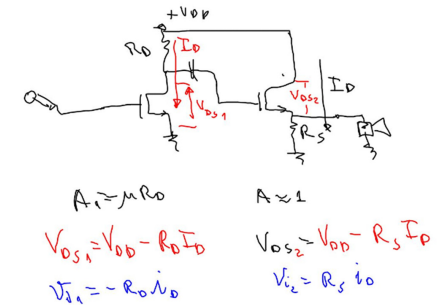


## 1.1 Definicija

Znamo da pojačavač sa zajedničkim sorsom ima veliko naponsko pojačanje, a sa zajedničkim drejnom, malu izlaznu otpornost.

Ne znamo vrednosti parametara kola.

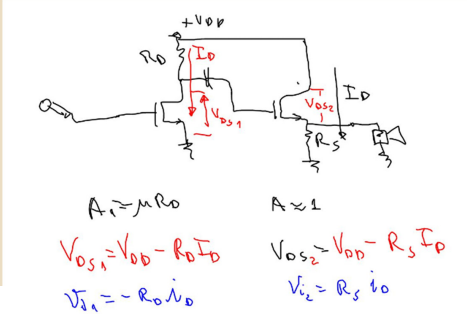
Kako naći prave?





## 1.1 Definicija

O pojačavačima smo učili iz Osnova elektronike. Najverovatnije nam treba dvostepeni, prvi da pojača, a drugi da „prilagodi“ impedansu.



## 1.4. Aspekti projektovanja

1. Tehnološki aspekt projektovanja
2. Sistemski aspekt projektovanja
3. Aspekt testiranja
4. Ekonomski i pravni aspekt
5. Ekološki aspekt projektovanja

## 1.4. Aspekti projektovanja

### Tehnološki

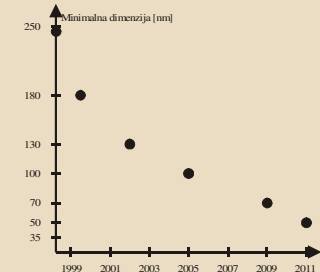
Mora se voditi računa o sudbini projekta i kada dođe do promene tehnologije.

Idealno bi bilo da projektovanje ne zavisi od tehnologije u kojoj će se kolo proizvesti.

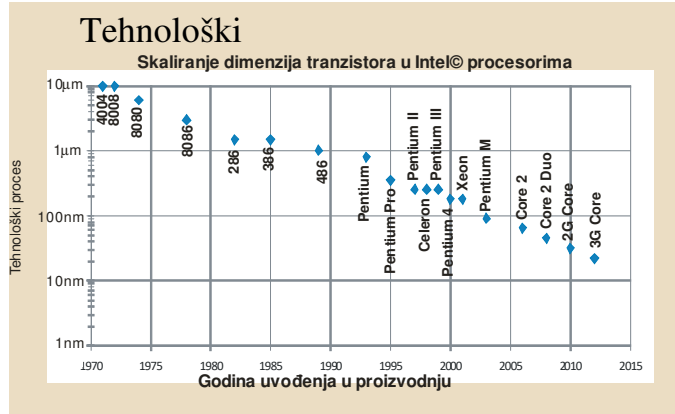
Nije moguća potpuna nezavisnost.

## 1.4. Aspekti projektovanja

### Tehnološki



## 1.4. Aspekti projektovanja



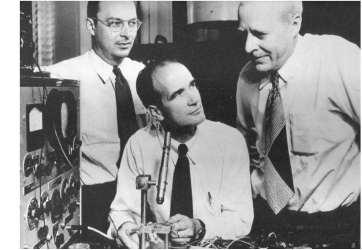
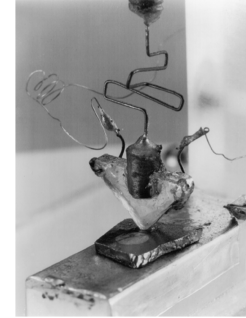
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



37

## Tehnološki aspekt projektovanja

Prvi tranzistor Bell Labs, 1948  
**Walter Houser Brattain,**  
**John Bardeen,**  
**William Bradford Shockley**



Nobelova nagrada za fiziku 1956



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



38

## Tehnološki aspekt projektovanja

The integrated circuit was first conceived by a radar scientist, **Geoffrey W.A. Dummer** (born 1909), working for the Royal Radar Establishment of the British **Ministry of Defence**, and published in **Washington, D.C.** on **May 7, 1952**. Dummer unsuccessfully attempted to build such a circuit in 1956.

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



39

## Tehnološki aspekt projektovanja

Prvo integrisano kolo Texas Instruments, 1959, February 6

**Jack Kilby**



1/2 Nobelova nagrada  
 za fiziku  
**2000.**



**1.5625 x 10.9375 mm**

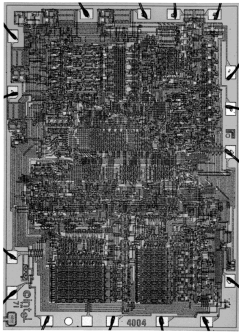
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



40

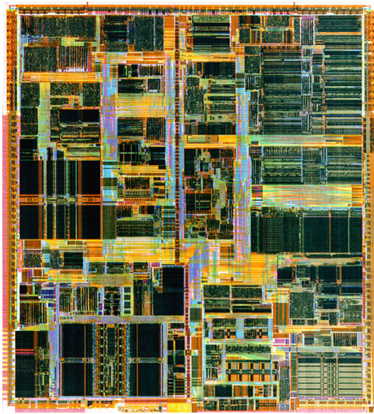
## Tehnološki aspekt projektovanja

Intel 4004  
Micro-Processor



1971  
1000 transistors  
1 MHz operation

Intel Pentium (IV) microprocessor



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.

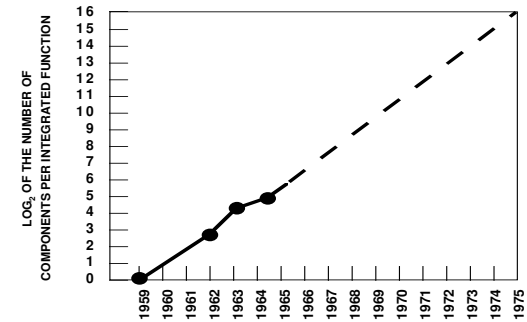


41

## Tehnološki aspekt projektovanja

Murov zakon (1965)

Broj tranzistora na čipu udvostručava se svakih 18-24 meseci



*Electronics*, April 19, 1965.

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



42

## Tehnološki aspekt projektovanja

Murov zakon primenjen na mikroprocesore

Broj tranzistora na čipu [milijun]



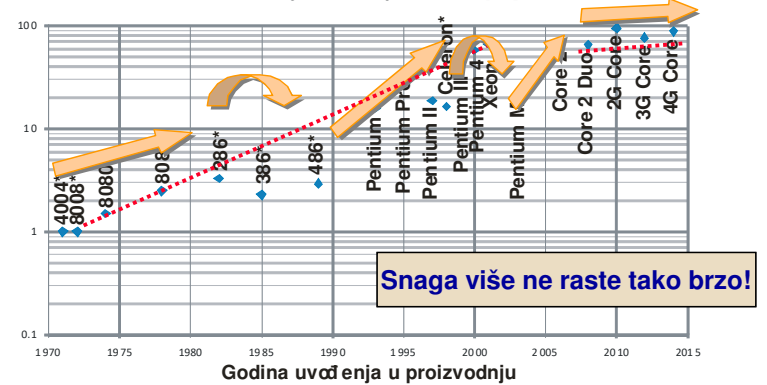
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



43

## Tehnološki aspekt projektovanja

Potrošnja Intel © procesora [W]

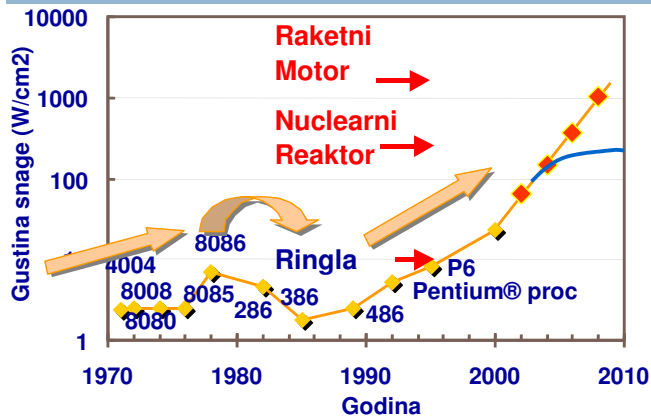


LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.



44

## Tehnološki aspekt projektovanja



Gustina snage je velika i čip se greje

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



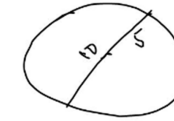
45

## Tehnološki aspekt projektovanja

Gustina snage je velika i čip se greje

Ringla

Procesor



$$A = r^2 \pi = 78.5 \text{ cm}^2$$

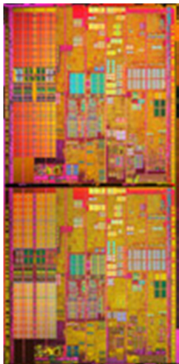
$$P = 1500 \text{ W}$$

$$\frac{P}{A} = 19.1 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$$

Procesor  
 36 100W  
 $A = 4 \text{ cm}^2$   
 $\frac{P}{A} = \frac{100 \text{ W}}{4 \text{ cm}^2} = 25 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$

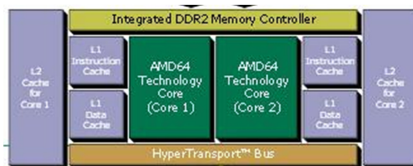
46

## Tehnološki aspekt projektovanja



Procesori sa dva jezgra  
 (od aprila 2005.)

Intel® Pentium® processor  
 Extreme Edition die  
 AMD Athlon™ 64 X2  
 Dual-Core Processor  
 for Desktop



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



47

## Sistemi aspekt projektovanja

Tehnološki aspekt projektovanja

Sistemi aspekt projektovanja

Aspekt testiranja

Ekonomski i pravni aspekt

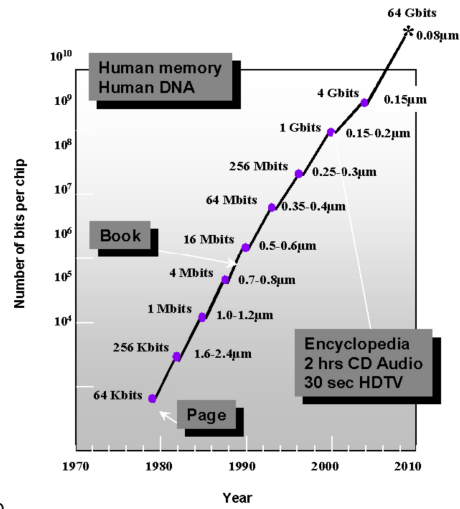
Ekološki aspekt projektovanja

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



48

## Sistemi aspekt projektovanja



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



49

## Sistemi aspekt projektovanja

### Poređenje sa razvojem avio industrije

Prvi let braća Rajt obavila su 1903.



brzina 48km/h

Prvi putnički avion na mlazni pogon 1959. ~1000km/h



Danas, posle 56 godina, avioni lete istom brzinom

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



50

## Aspekt testiranja

Tehnološki aspekt projektovanja  
 Sistemi aspekt projektovanja  
**Aspekt testiranja**  
 Ekonomski i pravni aspekt  
 Ekološki aspekt projektovanja

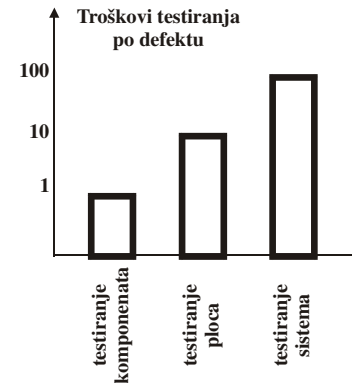
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



51

## Aspekt testiranja

Odgovor na pitanje da li su zadovoljeni projektni zahtevi - ne unosi novu vrednost ali košta



Pravilo 10x1

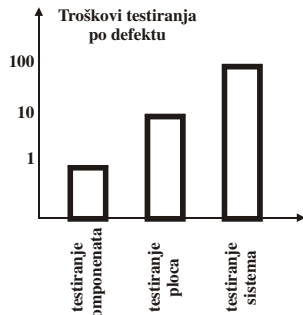
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



52

## Aspekt testiranja

**Tokom projektovanja voditi računa kako će se kolo testirati u različitim fazama proizvodnje.**



### Cilj:

- Omogućiti testiranje,
- Olakšati testiranje
- Ubrzati testiranje
- Po najmanjoj ceni

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



53

## Ekonomski aspekt

Tehnološki aspekt projektovanja  
 Sistemski aspekt projektovanja  
 Aspekt testiranja  
**Ekonomski i pravni aspekt**  
 Ekološki aspekt projektovanja

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



54

## Ekonomski aspekt

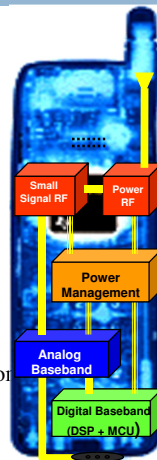
### Tržište mobilnih telefona (Broj prodatih)

Godina	1996	1997	1998	1999	2000
Količina	48M	86M	162M	260M	435M

(podaci iz Texas Instruments)

Godina	2011
Količina	1200M

<http://www.techeye.net/mobile/mobile-phone-market-makes-a-co>

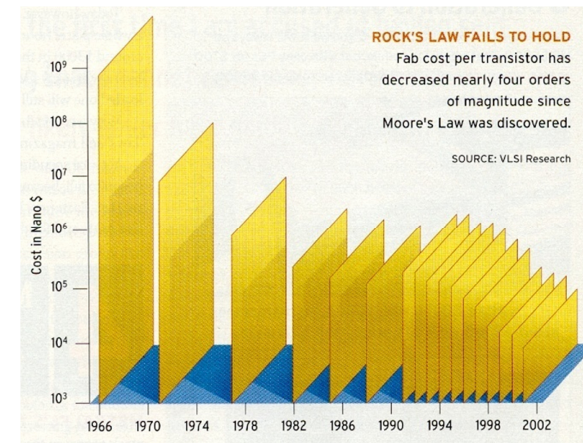


LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



55

## Ekonomski aspekt



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
 22.02.2017.



56

## Ekonomski aspekt

**Zadatak svih fabrika na svetu je da proizvode samo jedan 'artikal'**



## Ekonomski aspekt

- Fiksni troškovi
  - Vreme i cena projektovanja
  - Cena izrade maske
  - Ostali fiksni troškovi (zakupnina prostora, ...)
- Proporcionalni troškovi
  - Cena urošenog materijala (silicijuma), pakovanja (kućišta), testiranja
  - Proporcionalni veličini serije
  - Proporcionalni površini čipa

## Ekonomski aspekt

**Na porast fiksnih troškova utiče rast troškova projektovanja:**

- Projektanti su skupi i postaju skuplji
  - obrazovanje
  - uslovi rada
  - uslovi života
- Investicije u novi hardver
- Investicije u novu softver (\$100 000)

## Pravni aspekt

**IP - Intelektualna svojina  
prava vezana za IP proističu iz zaštite:**

- Patenta
- Dizajna
- Žiga
- Autorskih prava
- Topografija integrisanog kola (10 godina)
- Geografska oznaka porekla

**Kako stimulisati inventivnost?**

**Kako zaštititi IP na složeni el. sistem?**

## Pravni aspekt

### Predmet zaštite:

**Hardver** ⇔ **Patent**

**Softver** ⇔ **Autorsko pravo nad kopijom književnog dela**

**Baza podataka** ⇔ **Posebno pravo na organizaciju i**

**sadržaj baze**

**Integrirano kolo** ⇔ **Zaštita leajauta, imena,...**

## Pravni aspekt

### Standardi

Dokumenti koji sadrže usaglašena pravila, uputstva ili karakteristike koje se odnose na aktivnosti (proizvodnja i upravljanje) i njihove rezultate (gotova roba).

Uređuju i obezbeđuju kompatibilnost proizvoda različitih proizvođača.

Njihovo poštovanje predstavlja preduslov za kvalitet proizvoda.

## I. Uvod: Šta smo naučili?

Šta treba da znamo?

**Elementarno (za potpis)**

**Šta je projektovanje elektronskih kola?**

**Osnovna (za 6)**

- 1. Domeni opisa projekta**
- 2. Aspekti projektovanja**

## I. Uvod: Šta smo naučili?

Šta treba da znamo?

**Ispitna pitanja**

- Nivoi projektovanja**
- Faze projektovanja**
- Projektovanje u užem smislu**
- Tehnološki aspekt projektovanja**
- Aspekt testiranja**
- Ekonomski aspekt projektovanja**



## I. Uvod

### Sadržaj:

Sledeće nedelje

#### I. Osnovni pojmovi (nastavak)

**Standardi**

**Ekološki aspekt projektovanja**

**Stilovi projektovanja**

II. Analiza el. kola primenom računara

III. Optimizacija el. kola

IV. Logička simulacija

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation  
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>  
22.02.2017.

