

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/>
24.02.2020.



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, 2009.*

Б. Докић, П. Петковић,

*Анализа и пројектовање CMOS дигиталних
интегрисаних кола, Академска мисао, Београд,
2017.*

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



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/>
24.02.2020.



3

Projektovanje elektronskih kola

Kolokvijumi:

Spice 30% **poslednja nedelja** mart

Optimizacija 45% **druga nedelja** april

VHDL 20% **druga nedelja** maj

Prisustvo 5%

50% ocene

Projekat (Arduino):

Zadatak 18.05 Odbrana **8 Juni**

50% ocene

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



4

Projektovanje elektronskih kola

Sadržaj:

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



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 analognih kola
 - 3.1 Faze projektovanja analognih
 - 3.2 Analiza kola
 - 3.3 Optimizacija
 - 3.4 Izrada prototipa



Projektovanje elektronskih kola

4. Fizičko projektovanje

4.1 Šta su štampane ploče?

4.2 Tipovi štampanih ploča

4.3 Projektovanje štampane ploče

4.4 Izazovi fizičkog projektovanja

- Integritet signala
- Razvođenje napajanja
- Temperaturski efekti

Projektovanje elektronskih kola

5. Projektovanje digitalnih kola

5.1 Osnovi VHDL

5.2 Faze projektovanja digitalnih

5.3 Sinteza

5.4 Verifikacija

5.5 Izrada prototipa

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 dokumentacija 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/>
 24.02.2020.

EDA

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/>
 24.02.2020.

EDA

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/>
 24.02.2020.

EDA

15

1.1 Definicija

▪ **Kako se opisuje projekat?**

DOMENI opisa projekta

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

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.

EDA

16

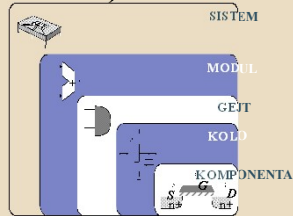
1.1 Definicija

▪ Kako se opisuje projekat?

NIVOI opisa projekta

Zavise od toga ŠTA opisujemo
Digitalni sistem (PC ili digitalno kolo)

1. Sistemski
2. Algoritamski
3. RTL
4. Logički
5. Električni



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.

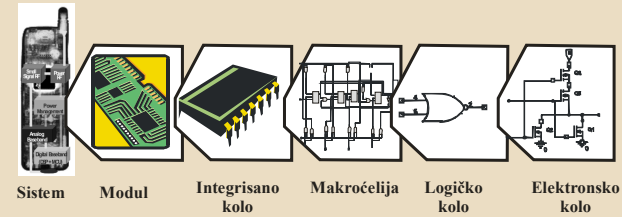


17

1.1 Definicija

▪ Kako se opisuje projekat?

NIVOI opisa projekta



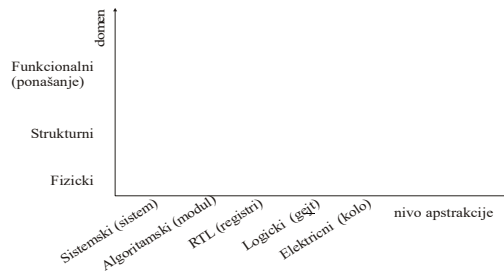
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



18

1.1 Definicija

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



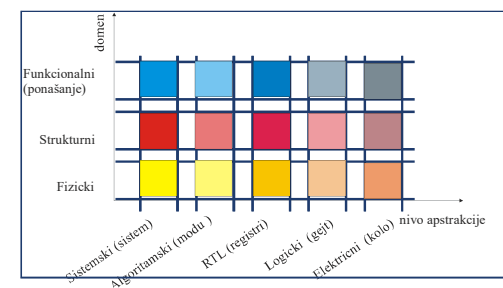
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



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/>
24.02.2020.



20

1.1 Definicija

Nivo	Sistemska (arhitekturna)	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, multiplexeri, registri	kombinaciona kola (OR, NOR, AND, NAND,...), Sekvencijalna kola (flip-flopovi)	Tranzistori i veze (električna šema)
	fizički	Kutije, kablovi, štampane ploče	Ploče, čipovi	Integrisana kola, složene ćelije	leljaut ćelija	leljaut tranzistora i veza

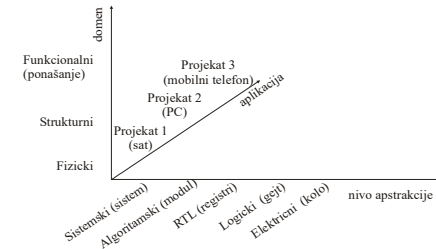
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.



21

1.1 Definicija

- Dodavanjem ose aplikacije, ravan prerasta u prostor projektovanja



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.



22

1.1 Definicija

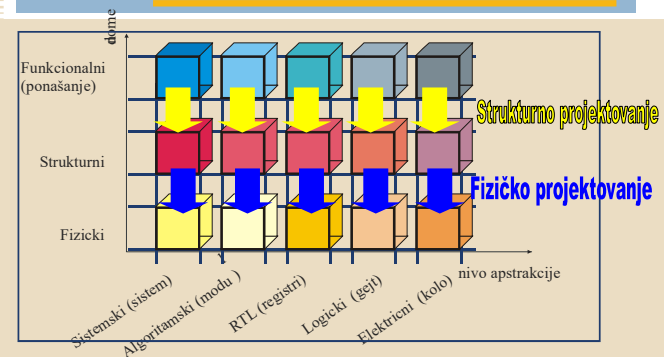
- Projektovanje predstavlja kretanje kroz projektni prostor
- Prelazak iz opisa ponašanja u strukturni opis predstavlja strukturno projektovanje
- Prelazak iz strukturnog u fizički je fizičko projektovanje

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.



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/>

EDA

25

1.1 Definicija

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.

EDA

26

1.2 Faze projektovanja

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.

EDA

27

1.3 Projektovanje u užem smislu

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.

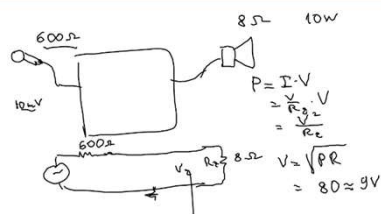
EDA

28

1.1 Definicija

Čime ćemo se mi baviti?

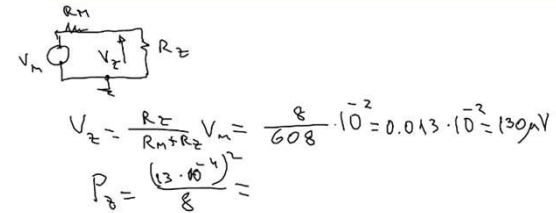
Projektovati kolo koje će omogućiti da na zvučniku 8Ω dobijemo $10W$ ako je pobuda iz mikrofona 600Ω .



1.1 Definicija

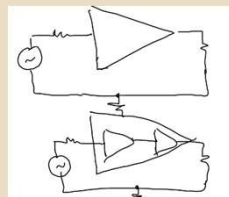
Čime ćemo se mi baviti?

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.

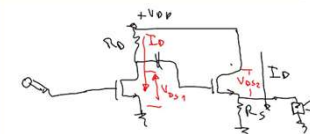


1.1 Definicija

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?



$A_v \approx \mu R_o$ $A_v \approx 1$
 $V_{o1} = V_{ob} - R_o I_o$ $V_{o2} = V_{ob} - R_s I_o$
 $V_{i1} = -R_o I_o$ $V_{i2} = R_s I_o$

1.1 Definicija

Recimo da koristimo:
 dva pojačavača napona (ZE) sa $A_o=100V/V$,
 $R_{ii}=1k$,
 $R_{iz}=5k$

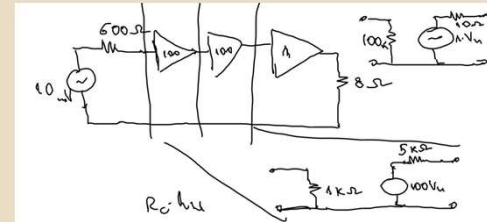


i na izlazu
 pojačavač (ZC) sa $A_o=1V/V$
 $R_{ii}=100k$,
 $R_{iz}=10\Omega$



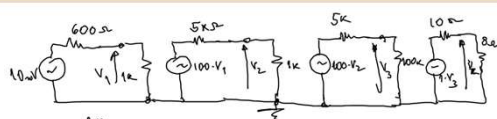
1.1 Definicija

Da li možemo da ostvarimo željene zahteve?



1.1 Definicija

Da li možemo da ostvarimo željene zahteve?



$$V_1 = \frac{1k}{1.6k} \cdot 10mV = 6.25mV$$

$$V_2 = 100 \cdot V_1 \cdot \frac{1k}{6k} = \frac{625}{6} = 104mV$$

$$V_3 = 100 \cdot V_2 \cdot \frac{100k}{105k} = 10.4 \cdot 0.95 = 9.88V$$

$$V_z = 1 \cdot V_3 \cdot \frac{8}{18} = 9.88 \cdot 0.4 = 4V < 9V!!!$$

Dakle, treba nam bolje rešenje.
 Do njega se dolazi **PROJEKTOVANJEM!** ALI nije samo to!

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.

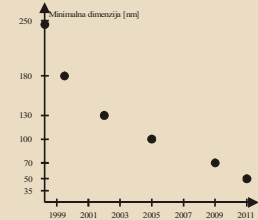
Idealno bi bilo da projektovanje ne zavisi od
tehnologije u kojoj će se kolo proizvesti.

Nije moguća potpuna nezavisnost.



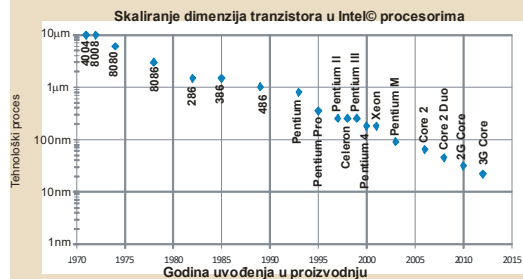
1.4. Aspekti projektovanja

Tehnološki



1.4. Aspekti projektovanja

Tehnološki



Tehnološki aspekt projektovanja

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



Nobelova nagrada za fiziku 1956



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/>
 24.02.2020.



41

Tehnološki aspekt projektovanja

Prvo integrisano kolo Texas Instruments, 1959, February 6

Jack Kilby



½ Nobelova nagrada
 za fiziku
2000.



1.5625 x 10.9375 mm

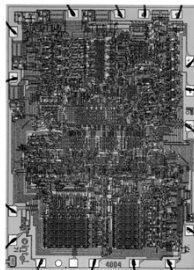
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.



42

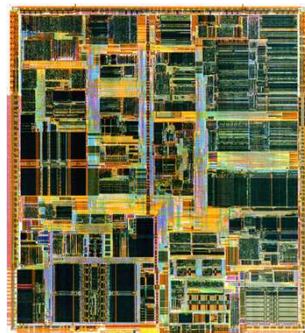
Tehnološki aspekt projektovanja

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/>
 24.02.2020.

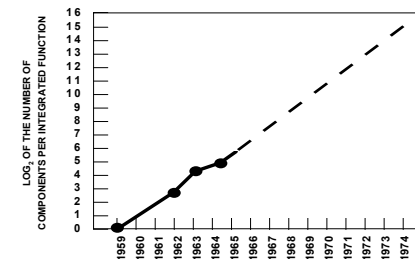


43

Tehnološki aspekt projektovanja

Murov zakon (1965)

Broj tranzistora na čipu udvostručava se svakih 18-24 meseci

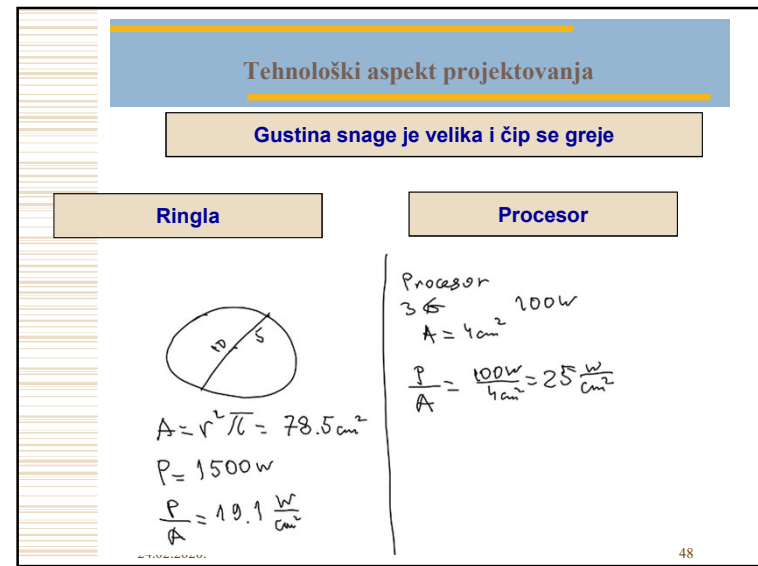
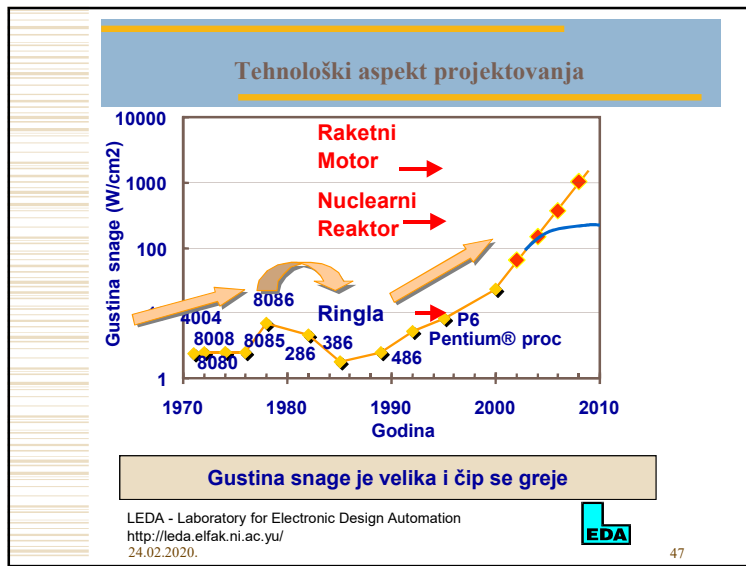
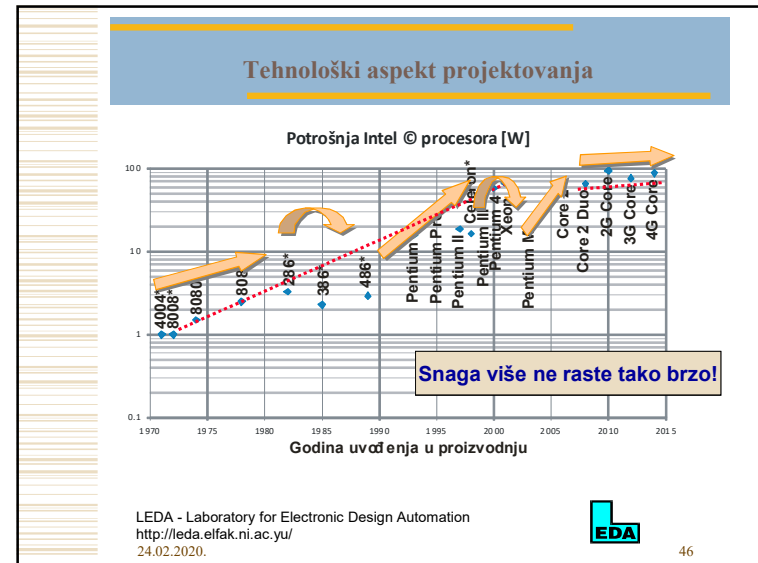
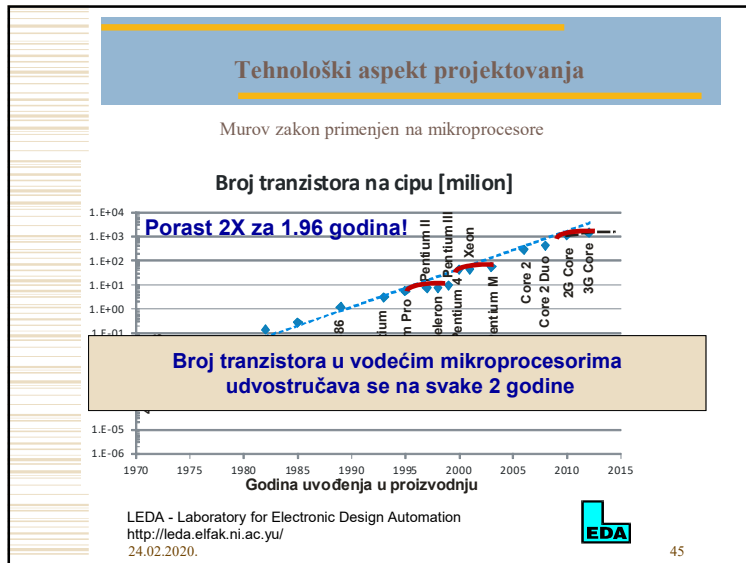


Electronics, April 19, 1965.

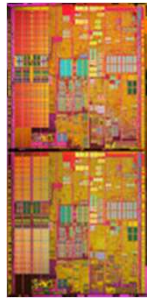
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
 24.02.2020.



44

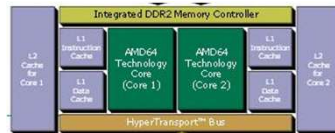


Tehnološki aspekt projektovanja



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/>
24.02.2020.



49

Sistemi aspekt projektovanja

Tehnološki aspekt projektovanja

Sistemi aspekt projektovanja

Aspekt testiranja

Ekonomski i pravni aspekt

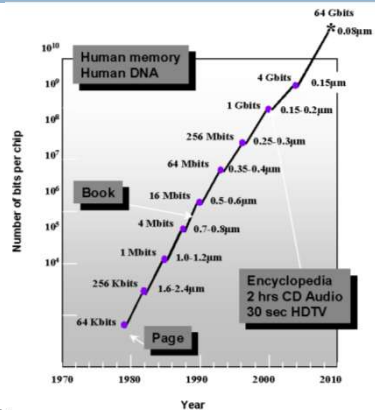
Ekološki aspekt projektovanja

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



50

Sistemi aspekt projektovanja



LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



51

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 60 godina,
avioni lete istom brzinom

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



52

Aspekt testiranja

Tehnološki aspekt projektovanja
Sistemska aspekt projektovanja
Aspekt testiranja
Ekonomski i pravni aspekt
Ekološki aspekt projektovanja

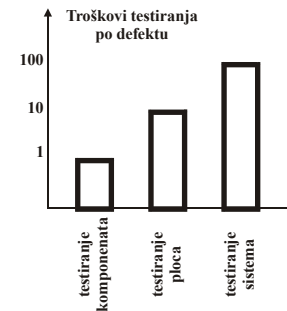
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



53

Aspekt testiranja

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



Pravilo 10x1

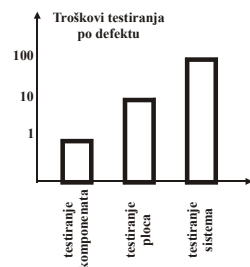
LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



54

Aspekt testiranja

Tokomm 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/>
24.02.2020.



55

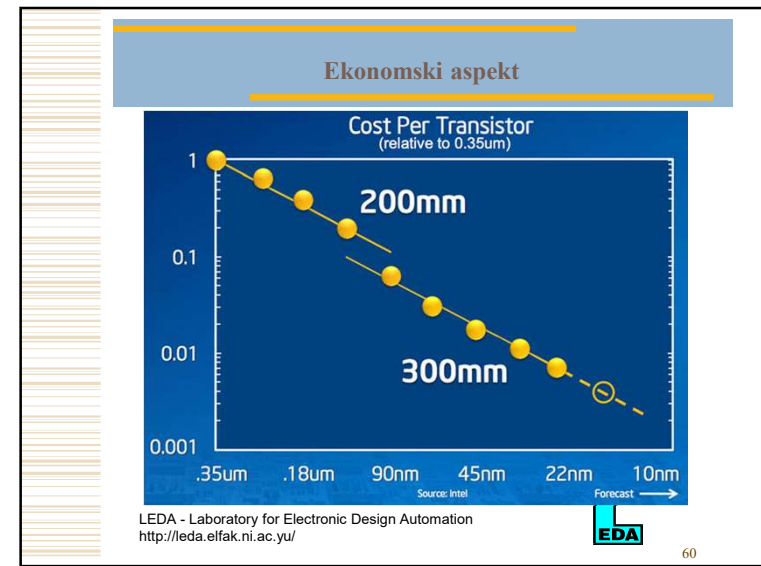
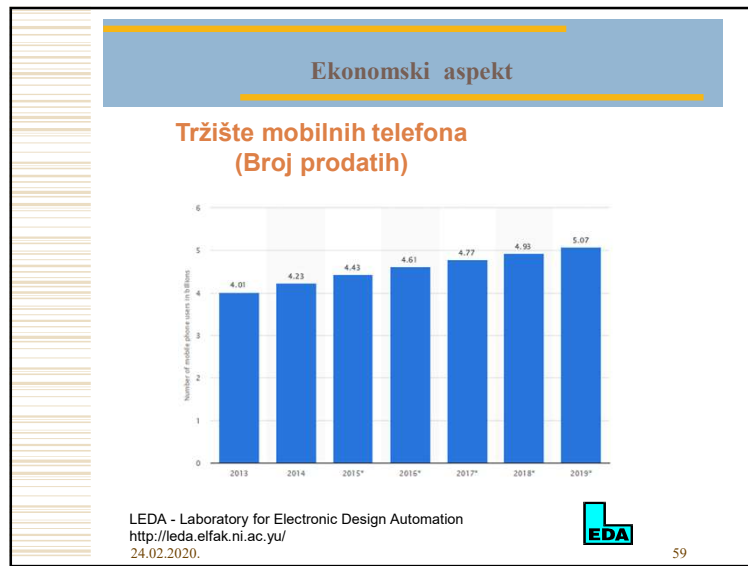
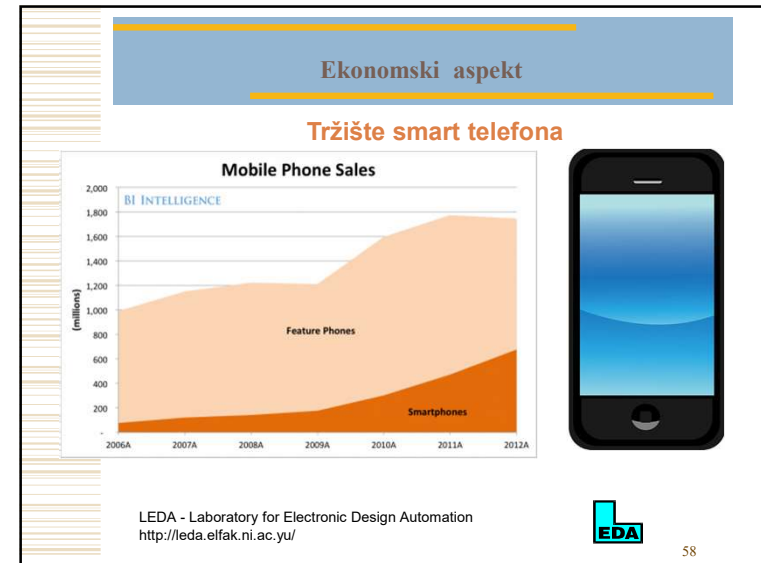
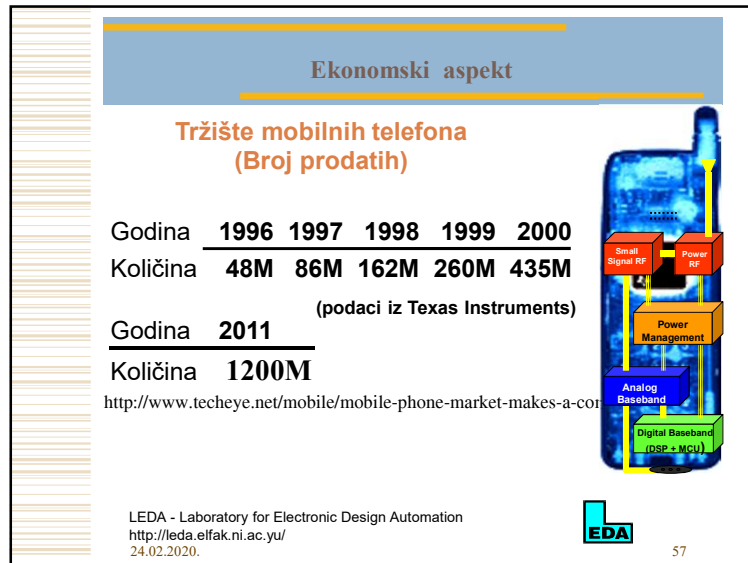
Ekonomski aspekt

Tehnološki aspekt projektovanja
Sistemska aspekt projektovanja
Aspekt testiranja
Ekonomski i pravni aspekt
Ekološki aspekt projektovanja

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
24.02.2020.



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

Integrisano kolo ⇔ Zaštita lejaute, 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.



1. 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



1. Uvod: Šta smo naučili?

Šta treba da znamo?

Ispitna pitanja

- a) Nivoi projektovanja
- b) Faze projektovanja
- c) Projektovanje u užem smislu
- d) Tehnološki aspekt projektovanja
- e) Ekonomski aspekt projektovanja

