

**Prof. dr Predrag Petković,  
dr Miljana Milić, docent**

**Katedra za elektroniku  
Elektronski fakultet Niš**

**Sadržaj:**

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

**Sadržaj:**

- I. Uvod - osnovni pojmovi
- II. Analiza el. kola primenom računara
- III. Optimizacija el. kola
- IV. Osnove fizičkog projektovanja  
(projektovanje štampanih ploča)

**Proces projektovanja PCB:**

- I. Projektovanje elektronskog kola
  - električna šema
  - parametri kola
2. Verifikacija
3. Selekcija komponenata, tehnologije
4. Raspored elemenata (*Floor planning*)
5. Povezivanje (*Automatsko-ručno*)
6. Provera pravila projektovanja
7. Izrada

Proces projektovanja: Projektovanje štampanih ploča Da se podsetimo

Resursi: Proizvođači <https://pcbshopper.com>

The screenshot shows the PCB Shopper website interface. At the top, there are navigation tabs for 'Fabrication' and 'Assembly'. Below that, a list of manufacturers is provided. The main configuration area includes:
 

- Dimensions: Input fields for width and height in mm.
- Layers: A dropdown menu with options 1, 2, 4, 6, 8, 10.
- Solder mask color: A grid of color swatches including No mask, Least expensive color, Black, Black Matte, Blue, Green, Green Matte, Purple, Red, Transparent, White, and Yellow.
- Silkscreen: Options for None, Top, Bottom, and Both.
- Surface Finish: A dropdown menu with 'Cheapest' selected.
- Board Thickness: A dropdown menu with '1.6mm/0.062"' selected.
- Copper Weight: A dropdown menu with '1 oz' selected.
- Min. Trace/Space: Input field with '0.15 mm'.
- Min. Drill: Input field with '0.40 mm'.
- Gold Fingers: Input field with '0'.
- Include Stencil: A dropdown menu with 'No' selected.
- Quality Certifications: A dropdown menu with 'Not required' selected.
- Number of Designs Separated Only by Silkscreen: Input field with '1'.
- Ship to: A dropdown menu with 'Serbia' selected.
- Boards arrive in: A dropdown menu with 'Default time' selected.

 A green 'GET PRICES' button is at the bottom left. The date '25.05.2020.' and page number '5' are at the bottom right.

Projektovanje štampanih ploča Da se podsetimo

### Proces projektovanja PCB:

1. Projektovanje elektronskog kola
  - električna šema
  - parametri kola
2. Verifikacija
3. Selekcija komponenta, tehnologije
4. Raspored elemenata (*Floor planning*)
5. Povezivanje (*Automatsko-ručno*)
6. Provera pravila projektovanja
7. Izrada

25.05.2020. 6

Projektovanje štampanih ploča Da se podsetimo

### Proces projektovanja:

#### 4. Raspored elemenata (*Floor planning*)

Podesi softver za projektovanje (alat) na *snap grid*

Postavi na radnu površinu (ploču) sve elemente

Postavi sve komponente logički u odnosu na:

- protok signala, (pravac ulaz-izlaz)
- funkciju u kolu, (analogni, digitalni, frekvencija)
- osetljivost (na temperaturu, smetnje)

25.05.2020. 7

Projektovanje štampanih ploča Da se podsetimo

### Proces projektovanja:

#### 4. Raspored elemenata (*Floor planning*)

Identifikuj kritične veze

Poredaj elemente uredno, simetrično, poravnaj - *alajniraj (aline)*

*Ako lepo izgleda, radiće lepo*

Dobar raspored je 90% posla

25.05.2020. 8

**Proces projektovanja PCB:**

1. Projektovanje elektronskog kola
  - električna šema
  - parametri kola
2. Verifikacija
3. Selekcija komponenata, tehnologije
4. Raspored elemenata (*Floor planning*)
5. Povezivanje (Automatsko-ručno)
6. Provera pravila projektovanja
7. Izrada

**Proces projektovanja:****5. Povezivanje (Automatsko-ručno)**

- Setuj *Electrical grid = snap to center*;
- sve veze na istom potencijalu nazivaju se “čvor” ili “mreža” (net)
- Svaka mreža - što kraća;
- Koristi uglove od po 45 (zbog proizvodnje);
- Koristi celu površinu ploče;
- Centriraj vezu sa stopicama;

**Proces projektovanja:**

5. Povezivanje (Automatsko-ručno)
  - Koristi veze širine 100mils kad god može;
  - Između dve stopice stavi 2 veze samo ako ne postoji drugo rešenje (obiđi);
  - Suzi vezu između stopica;
  - Za veze između dva sloja kroz koje protiče veća struja koristi (paralelno) višestruki prolaz – *via*;

**Proces projektovanja:****5. Povezivanje (Automatsko-ručno)**

- Ne postavljaj prolaze (*vije*) ispod komponenata (neće moći da im se priđe kada se postavi komponenta)
- Koristi nožicu komponente umesto *vije* kad god može (pouzdanije, kraće vreme montaže)

**Proces projektovanja:**

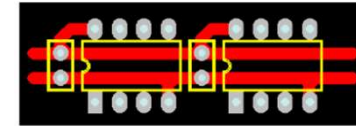
- **5. Povezivanje (Automatsko-ručno)**
  - Ukoliko su PWR, GND kritični, prvo njih trasiraj;
  - Veze PWR i GND proširi koliko može
  - PWR i GND što bliža jedna drugoj;
  - Simetriraj veze (naročito diferencijalne);
  - Ne ostavljaj nepovezan bakar (veži za GND ili ga ukloni)

25.05.2020.

13

**Proces projektovanja:**

- **5. Povezivanje (Automatsko-ručno)**
- Primeri**

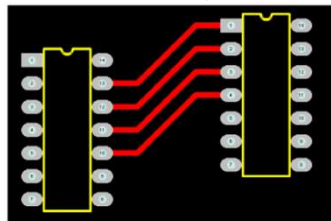
**Dobro**

25.05.2020.

14

**Proces projektovanja:**

- **5. Povezivanje (Automatsko-ručno)**
- Primeri**

**Dobro**

25.05.2020.

15

**Proces projektovanja PCB:**

1. **Projektovanje elektronskog kola**
  - električna šema
  - parametri kola
2. **Verifikacija**
3. **Selekcija komponenata, tehnologije**
4. **Raspored elemenata (*Floor planning*)**
5. **Povezivanje (Automatsko-ručno)**
6. **Provera pravila projektovanja**
7. **Izrada**

25.05.2020.

16

**Proces projektovanja:****6. Provera pravila projektovanja****Design Rule Check (DRC)****Automatska provera fizičkih dimenzija**

- širine veza
- razmaka
- povezanost mreža (kratak spoj/ prekid)
- širina otvora

**Proces projektovanja PCB:****1. Projektovanje elektronskog kola**

- električna šema
- parametri kola

**2. Verifikacija****3. Selekcija komponenata, tehnologije****4. Raspored elemenata (Floor planning)****5. Povezivanje (Automatsko-ručno)****6. Provera pravila projektovanja****7. Izrada****Proces projektovanja:****7. Izrada štampane ploče (ručna)**

- Materijali i alati za realizaciju pločice
  - Laserski štampač
  - Pegla
  - Fina šmirgla
  - Kiselina (FC),
  - Aceton
  - Alkohol
  - Voda
  - Gumene rukavice
  - Naočare
  - Papirni ubrusi
  - Plastične kutije

**Proces projektovanja:****7. Izrada štampane ploče (ručna)**

- Materijali i alati za punjenje pločice
  - Lemilica
  - Sečice
  - Hvataljke za odvođenje toplote
  - Klješta sa šiljatim vrhom
  - Vakum pumpica



Da se podsetimo

### Proces projektovanja:

#### 7. Izrada štampane ploče (punjenje ručno)

„PCB making made easy“

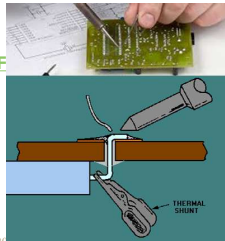
<https://www.youtube.com/watch?v=vXf7lOZbyCA&t=120s>

„DIY printed circuit board“

<https://www.youtube.com/watch?v=wKEe3otWstM&t=78s>

„How to make pcb at home“

<https://www.youtube.com/watch?v=q6iu8F>



25.05.2020.

21

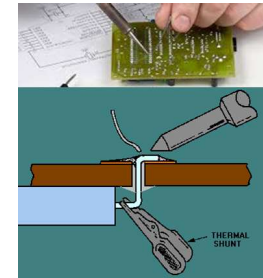
### Proces projektovanja:

#### 7. Izrada štampane ploče

#### Trough hole PCB - ručno punjenje

„How To Solder Correctly“

<https://www.youtube.com/watch?v=SFKYUi3p8zY>



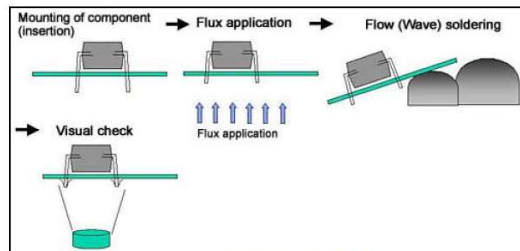
25.05.2020.

22

### Proces projektovanja:

#### 7. Izrada štampane ploče (punjenje pločice)

#### SMD PCB – automatsko punjenje



Through-hole Wave Soldering

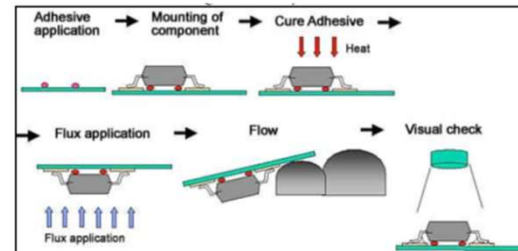
25.05.2020.

23

### Proces projektovanja:

#### 7. Izrada štampane ploče (punjenje pločice)

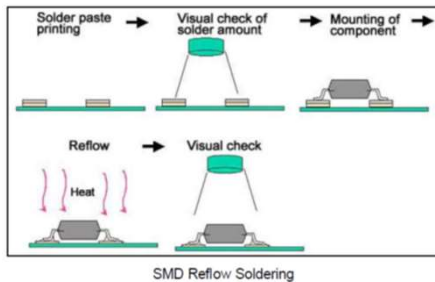
#### SMD PCB – automatsko punjenje



SMD Wave Soldering

25.05.2020.

24

**Proces projektovanja:****7. Izrada štampane ploče (punjenje pločice SMD)****SMD PCB – automatsko punjenje**

„How to Solder SMD Components using Sand“

[https://www.youtube.com/watch?v=aEn3Wb\\_zrts](https://www.youtube.com/watch?v=aEn3Wb_zrts)

25.05.2020.

25

**Izazovi fizičkog projektovanja****Razvođenje mase**

- Koristiti poseban sloj za GND, ako postoji
- Kod višeslojnih, GND što bliže gornjem sloju
- Što veća površina bakra
- Koristi višestruke vie da bi smanjio impedansu do mase

25.05.2020.

26

**Izazovi fizičkog projektovanja****Zašto je važno razvođenje napajanja?**

Pri promeni stanja u digitalnim kolima dešavaju se nagle promene struje.

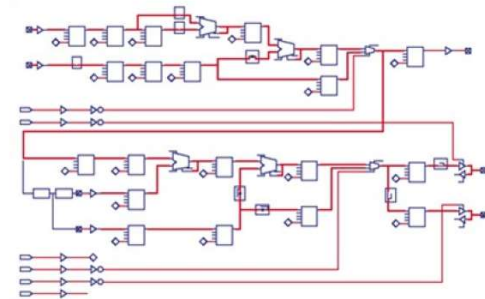
Kondenzatori se pune/prazne. Potrebnu količinu naelektrisanja obezbeđuju izvori – baterije koji **NISU IDEALNI**

Veze imaju konačnu otpornost

Menja se pad napona VDD/VSS i to neravnomerno duž ploče. Jedno kolo utiče na drugo – dolazi do interakcije preko napona napajanja.

25.05.2020.

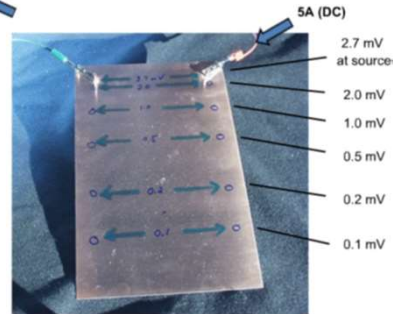
27

**Izazovi fizičkog projektovanja****Zašto je važno razvođenje napajanja?****Elektromagnetna interferencija**

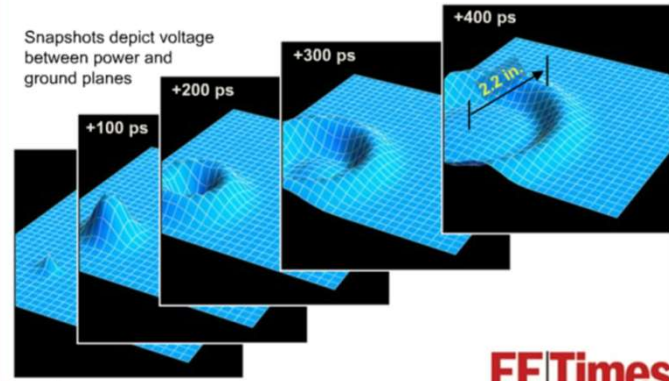
25.05.2020.

28

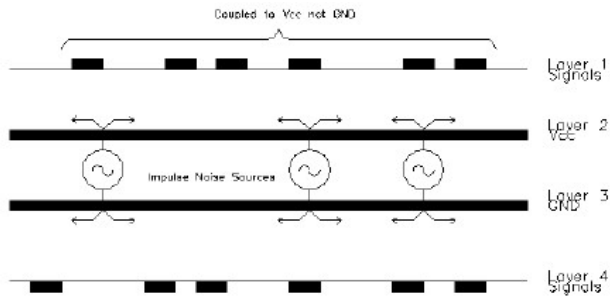
### Izazovi fizičkog projektovanja Zašto je važno razvođenje napajanja? Uticaj konačne otpornosti ploča



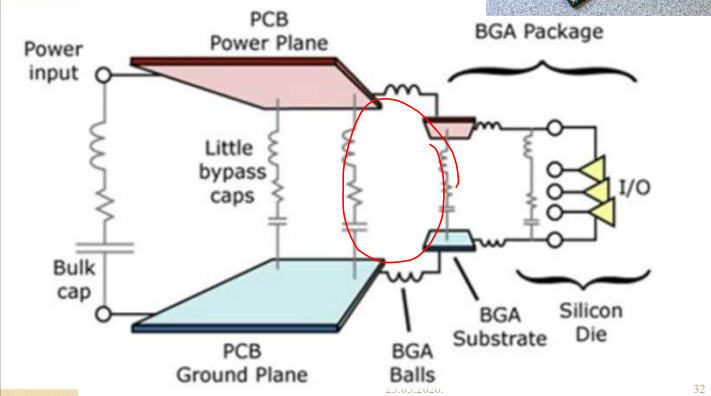
### Izazovi fizičkog projektovanja Razvođenje napajanja



### Izazovi fizičkog projektovanja Razvođenje napajanja kod višeslojne štampe



### Izazovi fizičkog projektovanja Razvođenje napajanja





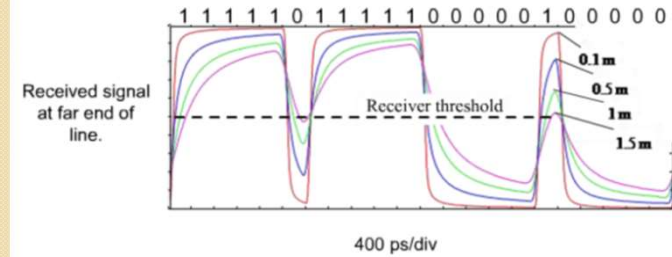
### Izazovi fizičkog projektovanja

- Kondenzatori za premoščavanje napajanja *Bypass*
  - Koristiti *bypass* kondenzatore što bliže digitalnim kolima – neposredno uz VDD/VSS pinove
  - Tipična vrednost 100nF, koriste se i 1uF, 10nF, 1nF, zavisno od frekvencije koju treba premostiti

### Izazovi fizičkog projektovanja

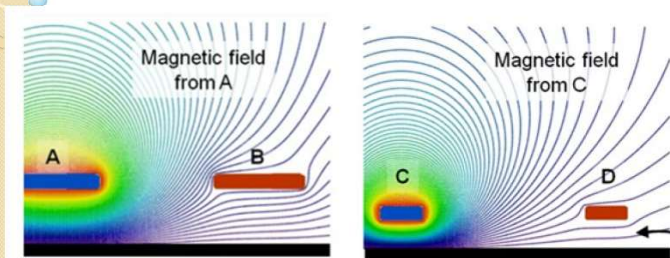
#### Integritet signala

#### Zavisnost amplitude od dužine veze



### Izazovi fizičkog projektovanja

#### Integritet signala



Preslušavanje manje ako su veze fizički bliže masi

### Izazovi fizičkog projektovanja

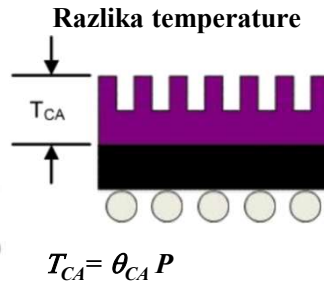
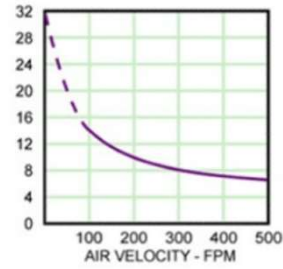
#### Temperaturski efekti

- Pouzdanost Si opada 2x pri porastu T od 10°C
- Zato treba obezbediti hlađenje



### Izazovi fizičkog projektovanja Temperaturski efekti

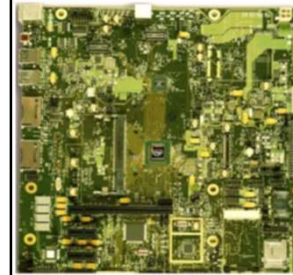
Termička otpornost  
 $\theta_{CA}$  [°C/W]



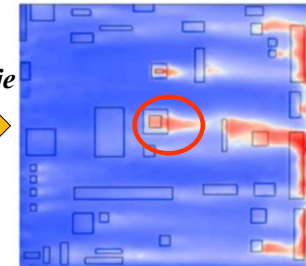
25.05.2020.

37

### Izazovi fizičkog projektovanja Temperaturski efekti Raspored komponentata na pločici



*Hlađenje*



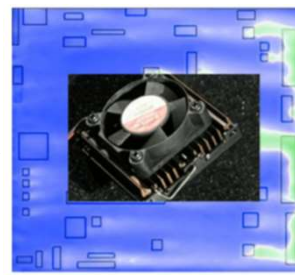
25.05.2020.

38

### Izazovi fizičkog projektovanja Temperaturski efekti



*Bolje  
Hlađenje*



25.05.2020.

39

### Izazovi fizičkog projektovanja Preporuke

- Kopiraj postojeći projekat**
- Prilagodi ga potrebama**
- Konsultuj iskusnijeg projektanta**
- Uradi sve provere (DRC) koje ti alat omogućava**
- Napravi uzorak i fizički ga testiraj**
- Ako je OK, ide u proizvodnju**

25.05.2020.

40

## Proces projektovanja:

### 7. Izrada štampane ploče

Može i ovako!

<https://www.youtube.com/watch?v=9DhPwtCZ9u4>

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=1&v=PeW1nURJ5ww](https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=PeW1nURJ5ww)

A i ovako!

<https://www.youtube.com/watch?v=KI7QcsH4O3g>

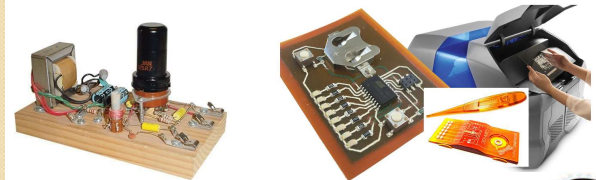


25.05.2020.

41

Uzbuđljivo je razmišljati o tome šta nas,  
a tek vas, čeka tokom karijere!

Kada pomislim na kom je stepenu naša  
struka bila na početku moje inženjerske  
karijere (1979),  
a gde je danas



ponosan sam što sam život proveo baveći se  
elektronikom!



25.05.2020.

42

Pitanja!



25.05.2020.

43

Hvala na strpljenju i srećno!



25.05.2020.

44