


Projektovanje elektronskih kola

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

**Katedra za elektroniku
Elektronski fakultet Niš**

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.yu/>
11.05.2020.




1

Projektovanje elektronskih kola

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)

LEDA - Laboratory for Electronic Design Automation
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>
11.05.2020.



2

Da se podsetimo Projektovanje štampanih ploča

**Osnove fizičkog projektovanja
Izrada prototipa**

Sadržaj:

- Metodi
- Osnovna pravila
- Električna šema v.s. fizički razmeštaj

11.05.2020.

3

Da se podsetimo Projektovanje štampanih ploča

**Osnove fizičkog projektovanja
Izrada prototipa
Metodi**

- „Matadori“ - Breadboards
- Umotavanje - Wrapping
- Raster - Stripboard
- Štampana ploča Printed Circuit Board

11.05.2020.

4

Projektovanje štampanih ploča

Da se podsetimo

Osnove fizičkog projektovanja
Izrada prototipa

Metodi

- „Matadori“ - Breadboards



<http://www.youtube.com/watch?v=oiqNaSPTI7w> 8:08
<http://www.youtube.com/watch?v=Mq9XMNsoAd8> 10:09
<http://www.youtube.com/watch?v=k9jcHB9tWko> 7:20

11.05.2020. 5

Projektovanje štampanih ploča

Da se podsetimo

Osnove fizičkog projektovanja
Izrada prototipa

Metodi

- Umotavanje - Wrapping

Zahteva poseban alat



http://www.youtube.com/watch?v=TBqHkK7z-_Y 2:44
http://www.youtube.com/watch?v=RE0Qj5Sr_TI 3:52

11.05.2020. 6

Projektovanje štampanih ploča

Da se podsetimo

Osnove fizičkog projektovanja
Izrada prototipa

Metodi

- Raster - Stripboard – Bušena ploča
- Ploča sa rupicama prekrivenim bakrom
- Zahteva lemljenje



<http://www.youtube.com/watch?v=DSk5DQhi1r0> 7:20

11.05.2020. 7

Projektovanje štampanih ploča

Da se podsetimo

Osnove fizičkog projektovanja
Izrada prototipa

Metodi

- Štampana ploča PCB
- Sloj bakra na izolatoru
- Veze se „šampaju“ u bakarnom sloju
- Uklanja se višak bakra



<http://www.youtube.com/watch?v=vXf71oZbyCA> 13:28
<http://www.youtube.com/watch?v=wKEe3otWstM> 8:33
<https://www.youtube.com/watch?v=zRdJrE80Vjk> 10:11
https://www.youtube.com/watch?v=HBIxvwZ_Oog 3:44

11.05.2020. 8

◦ **Osnove fizičkog projektovanja**
Projektovanje štampanih ploča

Sadržaj:

- Šta su štampane ploče?
- Tipovi štampanih ploča
- Proces projektovanja štampane ploče
- Izazovi fizičkog projektovanja
 - Integritet signala
 - Razvođenje napajanja
 - Temperaturski efekti

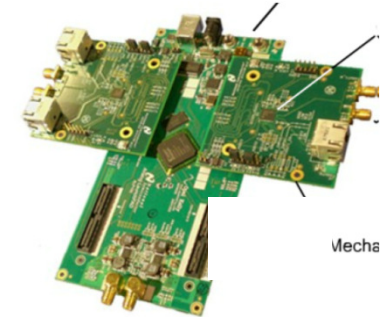
11.05.2020.

9

Šta su štampane ploče ?

Sistem provodnih veza ugrađenih na izolacionoj podlozi koja mehanički obezbeđuje električnu vezu između elektronskih komponenta:

otpornika,
kondenzatora,
integrisanih kola,
konektora,
napajanja,
kućišta uređaja.

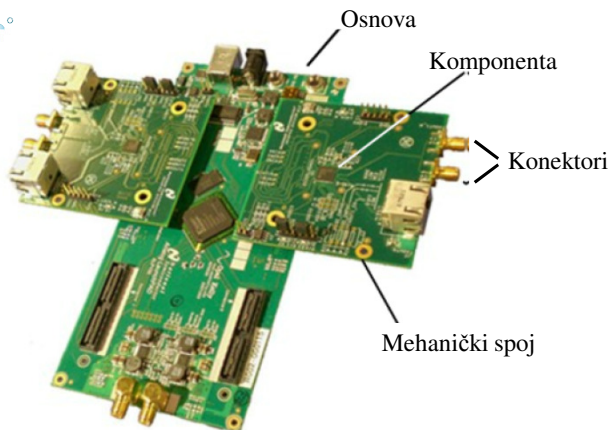


Meča

11.05.2020.

10

Šta su štampane ploče?

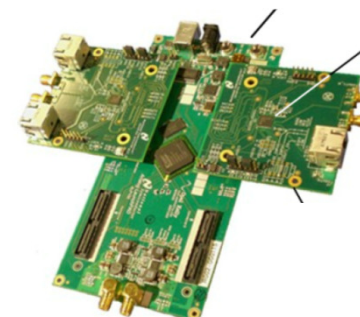


11.05.2020.

11

Šta su štampane ploče?

Štampana ploča = **Printed Circuit Board (PCB)**

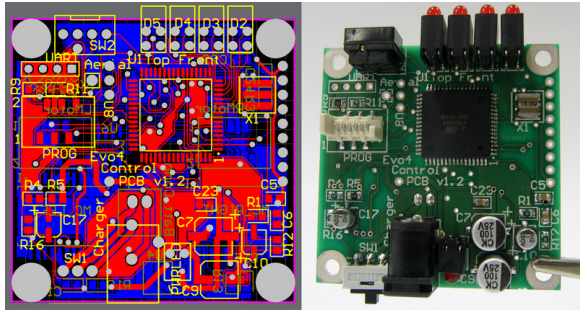


11.05.2020.

12

Šta su štampane ploče?

Štampana ploča = *Printed Circuit Board (PCB)*



Rezultat projektovanja

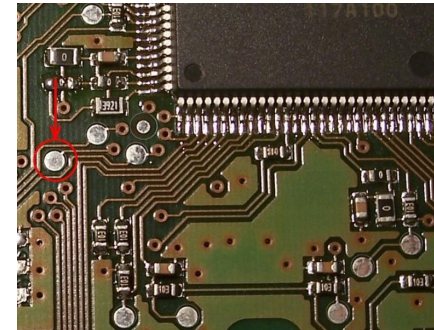
Rezultat izrade

11.05.2020.

13

Šta su štampane ploče?

Štampana ploča = *Printed Circuit Board (PCB)*

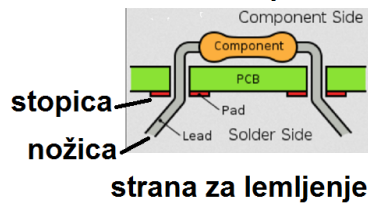


11.05.2020.

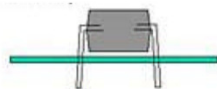
14

Tipovi ŠP - PCB

• Za montažu kroz otvore (*Through Hole*)
strana sa komponentama



strana za lemljenje



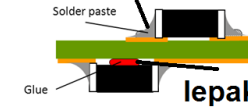
11.05.2020.

15

Tipovi ŠP - PCB

• za površinsku montažu (*Surface Mounted Devices, SMD*)

pasta za lemljenje

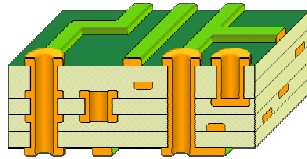


11.05.2020.

16

Tipovi ŠP - PCB

◦ **Dimenzije**
Broj provodnih slojeva
 - 1 do 50!!!



Različiti materijali

- Čvrstina
- Otpornost na temperaturu
- Savitljive / krute
- Lagane / teške

11.05.2020.

17

Izazovi fizičkog projektovanja

◦ Terminologija

- Merne jedinice
- Raster (*Grid*)
- Veza (*Track*)
- Stopica (*Pad*)
- Prolaz (*Via*)
- Poligon (*Polygone*)
- Rastojanje (*Clearance*)

11.05.2020.

18

Izazovi fizičkog projektovanja

◦ Terminologija

- Merne jedinice
Metarske (mm, μm) **ALI** uobičajeno da se koriste
Imperial Units (IU) (inč=2,54cm;
 mils=mili_inč=inč/1000=thou, *thousand*;
 1thou=25,4 μm)
 1m=39,370.0787402 thou=1,000,000 μm
raspored nožica na komponentama još uvek u IU

11.05.2020.

19

Izazovi fizičkog projektovanja

◦ Terminologija

- Raster (*Grid*)
 100, 50, 25, 20, 10, 5 mils
 - Vidljivi
 - Nevidljivi (*Snap grid*)
 - električni (centar uvodnika)

11.05.2020.

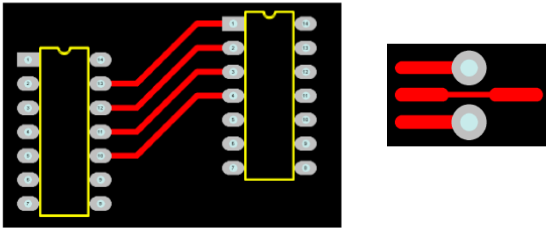
20

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

• Veza

Provodna (bakarna) traka koja električno povezuje komponente (kroz njih protiče struja).



11.05.2020.

21

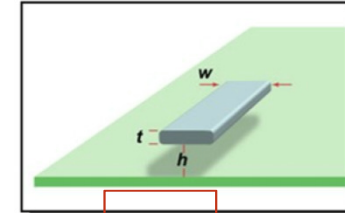
Izazovi fizičkog projektovanja

Parametri veza

w - širina

t - debljina

h - udaljenost od donjeg provodnog sloja



Veza ima 3 dimenzije!!!

Od ovih dimenzija zavisi otpornost veze (DC) karakteristična impedansa veze (VF)

11.05.2020.

22

Izazovi fizičkog projektovanja

Tipovi veza

Minimalnu širinu trake daje proizvođač:

širina/rastojanje do susedne 10/8 thou

Od čega zavisi širina veze?

- Jačine struje koju treba da propusti
- Željene otpornosti
- Tehnoloških mogućnosti
- Prostornih – geometrijskih parametara

11.05.2020.

23

Izazovi fizičkog projektovanja

Tipovi veza

Primarno širina zavisi od struje koja protiče i specifične otpornosti provodnog sloja

Preporuka za početnike **MINIMUM:**

- Signal 25 mils
- Napajanje (PWR=VDD/VCC, GND) 50 mils
- Između nožica IC 10-15 mils

ŠTO ŠIRE VEZE – jeftinije, pouzdanije

11.05.2020.

24

Izazovi fizičkog projektovanja Tipovi veza

Track Width Reference Table (for 10deg C temp rise). Track Width is in Thous (mils)

Current (Amps)	Width for 1oz	Width for 2 oz	milli Ohms/Inch
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

oz=ounce (unca), jedinica za merenje mase
koristi se za opis debljine bakra!!!

11.05.2020.

25

Izazovi fizičkog projektovanja Tipovi veza

oz=unca, jedinica za mernje mase
koristi se za opis debljine bakra

„gustina“ oz/ft ²	debljina		
	µm	in	mil
0.5	17.5	0.0007	0.7
0.75	25.5	0.001	1
1	35	0.0014	1.4
2	71	0.0028	2.8
3	105	0.0042	4.2

ft²=1 kvadratna stopa (foot)
(144 square inches),

gustina bakra je
8.96 mg/mm³ = 5.18 oz/inch³.

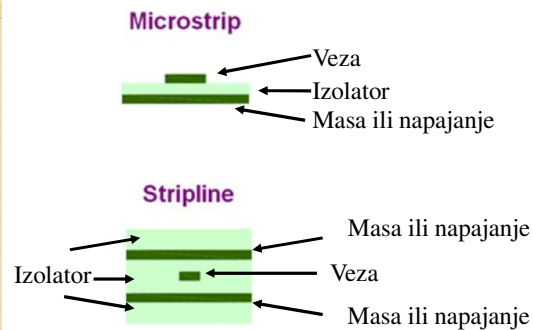
Kaže se za masu "1 unca
bakra".

Koristi se i 1/2, 2, 3, ili 4 oz.

11.05.2020.

26

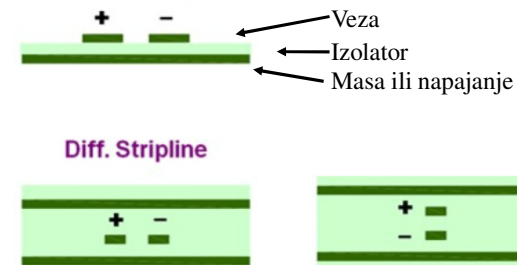
Izazovi fizičkog projektovanja Tipovi veza



11.05.2020.

27

Izazovi fizičkog projektovanja Tipovi veza Diferencijalne veze



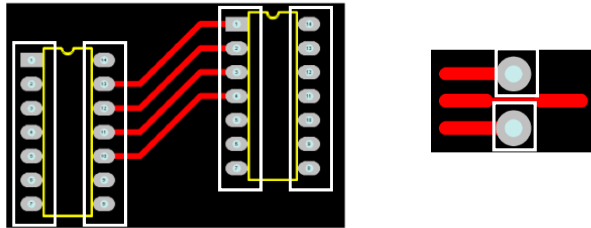
11.05.2020.

28

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

- **Stopica (Pad)**
Spoj komponente i veze



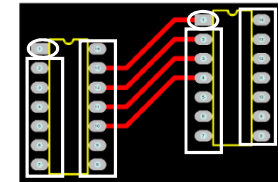
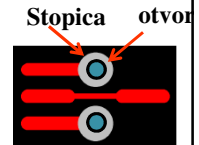
11.05.2020.

29

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

- **Stopica (Pad)**
Proizvođač daje odnos Stopica/otvor (*Pad/Hole ratio*)
Prečnik stopica najmanje 1.8 puta veći od prečnika otvora ili za najmanje 0.5mm
Stopice IC ovalne 60x90 mils – prva pravougaona (da se zna gde je prva)



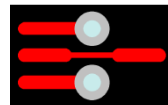
11.05.2020.

30

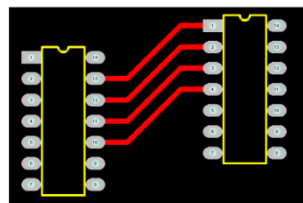
Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

- **Stopica (Pad)**
U programima za projektovanje PCB postoji biblioteka stopica.
Korisnik može da kreira sopstvene prema potrebama.
Izbegavati pravougaone stopice.



Zašto?



11.05.2020.

31

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

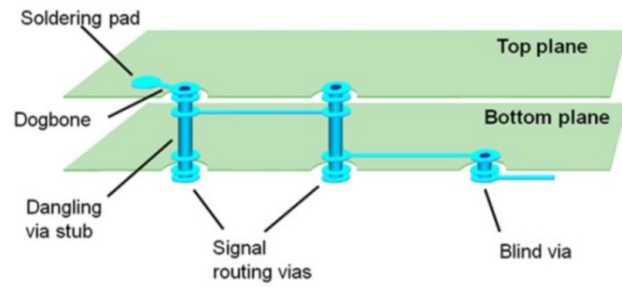
- **Prolaz (Via)**
- **Spaja veze iz različitih slojeva**

11.05.2020.

32

Izazovi fizičkog projektovanja

Tipovi via

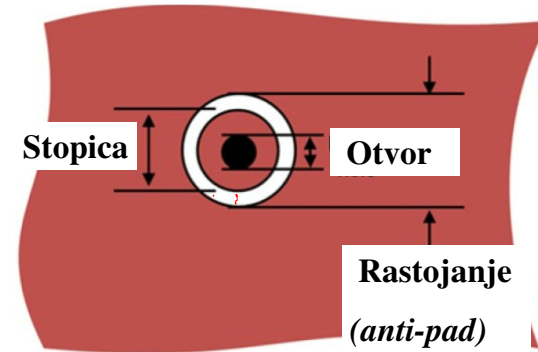


11.05.2020.

33

Izazovi fizičkog projektovanja

Specifikacija via



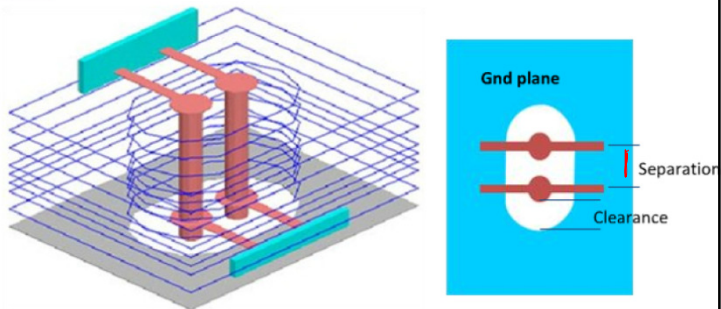
11.05.2020.

34

Izazovi fizičkog projektovanja

Via za diferencijalne signale

Zahtevaju razmak (*Separation*) i udaljenost od mase (*Clearance*)



11.05.2020.

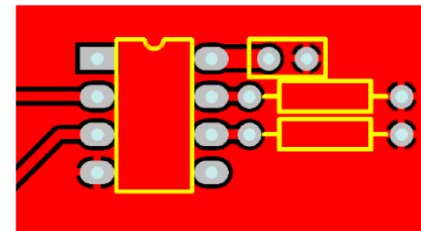
35

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

- Poligon (*Polygone*)

Automatski popunjava sve površine bakrom



11.05.2020.

36

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija

Rastojanje (*Clearance*)

Minimalni razmak između provodnih površina na različitim potencijalima (različiti čvorovi)

Preporuka: Najmanje 15mils

Za 240V najmanje 8mm (315mils)

Postoji standard koji povezuje razliku napona, vrstu sloja (unutrašnji/spoljašnji) i nadmorsku visinu!!!
(avioni, rakete, meteorološki baloni,...)

Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija: Rastojanje (*Clearance*)

Clearances for Electrical Conductors			
Voltage (DC or Peak AC)	Internal	External (<3050m)	External (>3050m)
0-15V	0.05mm	0.1mm	0.1mm
16-30V	0.05mm	0.1mm	0.1mm
31-50V	0.1mm	0.6mm	0.6mm
51-100V	0.1mm	0.6mm	1.5mm
101-150V	0.2mm	0.6mm	3.2mm
151-170V	0.2mm	1.25mm	3.2mm
171-250V	0.2mm	1.25mm	6.4mm
251-300V	0.2mm	1.25mm	12.5mm
301-500V	0.25mm	2.5mm	12.5mm

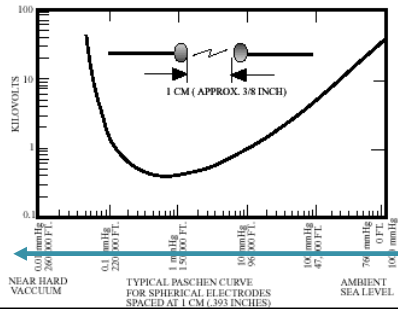
Izazovi fizičkog projektovanja

Terminologija: Rastojanje (*Clearance*)

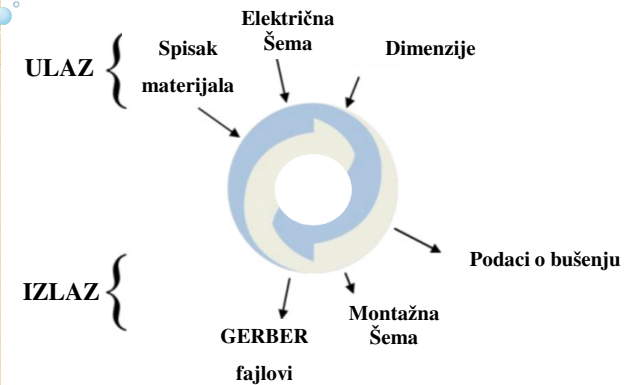
Uzrok – varničenje!

<https://electronics.stackexchange.com/questions/366636/how-is-clearance-affected-by-altitude-air-pressure>

"Clearance" has nothing to do with the conductivity of air, but rather its ability to prevent an arc from occurring. [Paschen's Law](#) provides some insight into this issue.



Proces projektovanja:



Proces projektovanja: Tri ulazna parametra

1. **Električna šema**
Kako su komponente međusobno povezane
2. **Spisak materijala (Bill of Material – BOM)**
Spisak svih komponentata po tipu i vrednostima
3. **Dimenzije (Outline)**
Ograničenje sa stanovišta dimenzija i oblika ploče

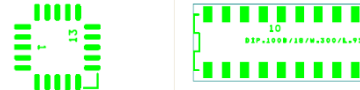
11.05.2020.

41

Proces projektovanja:

Ostali neophodni ulazni parametri

1. **Tlocrt komponentata (Part Footprints)**
 - Podaci o fizičkim dimenzijama svake komponente (veličina i rastojanje između stopica)
2. **Podaci o slojevima (Layer Stacks)**
Broj sloja, tip sloja, razmak ...
3. **Specifikacija veza i via**
 - Dimenzije svakog tipa veze u svakom sloju i via (veza između dva sloja)



11.05.2020.

42

Proces projektovanja: Na kraju projektovanja treba generisati tri tipa fajlova:

1. **GERBER fajlovi**
 - Podaci o poziciji svake veze – podaci o trasiranim vezama: oblik, veličina, položaj, sloj, ... služe za izradu svih veza u svim slojevima na štampanoj ploči
2. **Montažna šema**
 - Pozicija svake komponente tokom montaže služi za automatsko pozicioniranje komponentata
3. **Podaci za bušenje (Drill lists)**
 - Specifikacija o poziciji i veličini svih rupa na ploči služi za automatsko pozicioniranje i izbor svrdla na bušilici.

11.05.2020.

43

Proces projektovanja:

Tokom projektovanja (generalno) od projektanata se zahteva da nađe kompromisno rešenje kojim će ispuniti projektne zahteve u okviru raspoloživih resursa sa potrebnim kvalitetom.

Ukoliko su zahtevi fiksni (koje komponente i kako povezati) do većeg kvaliteta može da se dođe samo ukoliko se nađu bolji resursi.

Kvalitet:
Integritet signala,
EMI,
Odvođenje toplote

Resursi:
Bolja tehnologija
Više slojeva metala
Duže vreme projektovanja

11.05.2020.

44

Proces projektovanja: Resursi: Tip ploče

FR-2 (Phenolic cotton paper),
FR-3 (Cotton paper and epoxy),
FR-4 (Woven glass and epoxy),
FR-5 (Woven glass and epoxy),
FR-6 (Matte glass and polyester),
G-10 (Woven glass and epoxy),
CEM-1 (Cotton paper and epoxy),
CEM-2 (Cotton paper and epoxy),
CEM-3 (Woven glass and epoxy),
CEM-4 (Woven glass and epoxy),
CEM-5 (Woven glass and polyester).

11.05.2020.

45

Proces projektovanja: Resursi: Proizvođači/Tipovi ploča



Brand	Type	ϵ_r	$\tan \delta$	T_g
Park Nelco	N4000-13	3.95 @ 10 GHz	0.01 @ 1 GHz	210
Park Nelco	N6000	3.3 @ 1 GHz	0.005 @ 1 GHz	210
Arlon	25N	3.25 @ 10 GHz	0.0024 @ 10 GHz	> 225
Megtron	R5715	3.5-4.2 @ 1 MHz	0.010-0.015 @ 1 MHz	180
Allied Signal	FR 408	< 3.6 @ 50-1000 MHz	< 0.009 @ 50-1000 MHz	180
Gore	Speedboard C	2.2-2.6 @ 1 MHz	0.003 @ 1 MHz	190
Rogers	4000 series	3.38 @ 10 GHz	0.004 @ 10 GHz	> 280
Polyclad	PCL-LD-621	3.5 @ 1 GHz	0.006 @ 10 GHz	190
GIL	GML 1000	3.05 @ 10 GHz	0.003 @ 10 GHz	135
GIL	MC 5	3.26 @ 1-15 GHz	0.0015 @ 10 GHz	145
G.E.	GETEK	3.6-4.2 @ 1 MHz	0.010-0.015 @ 1 MHz	175-185
ISOLA	GIGAVER	3.5-4.0 @ 1 MHz	0.003 @ 1 MHz	210
Taconic	RF 35	3.5 @ 2 GHz	0.0018 @ 2 GHz	315

 ϵ_r -Tan θ - gubici u dielektriku T_g (°C) - temperatura pri kojoj materijal gubi mehanička svojstva.

11.05.2020.

46

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

Fabrication Assembly

Compare prices from 23 PCB manufacturers at once:

Advanced Circuits (APCB) • AISLER • ALLPCB • BasicPCB • Bay Area Circuits • Bittite (7pcb) • Breadboard Killer • Dirty PCBs • Ekrown • Eurocircuits • ExpressPCB • ITEAD Studio • JLCPCB (EasyEDA) • Lion Circuits • OSH Park • PCB Zone • PCBART • PCBPOINT • PCBWay • Seed Studio • ShenzhenZu • Smart Prototyping • Ubi (quickstamps)

Dimensions: x mm
 Layers: 1 2 4 6 8 10
 Quantity:

Solder mask color:

No mask Least expensive color Black Black Matte Blue Green
 Green Matte Purple Red Transparent White Yellow

Silkscreen: None Top Bottom Both
 Surface Finish: Cheapest
 Board Thickness: 1.6mm/0.062"

Copper Weight: 1 oz
 Min. Trace/Space: 0.15 mm
 Min. Drill: 0.40 mm
 Gold Fingers: 0

Include Stencil: No
 Quality Certifications: Not required
 Number of Designs Separated Only by Silkscreen: 1

Ship to: United Kingdom
 Boards arrive in: Default time

GET PRICES

11.05.2020.

47

Sledeće nedelje:

-Nastavak

Postupak projektovanja štampanih ploča

Raspored i povezivanje komponenata

11.05.2020.

48